

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2020

III МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

Сборник трудов

Том 6

Рязань
Book Jet
2020

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

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020 [текст]: сб. тр. III междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020; Рязань. – 238 с.,: ил.

Сборник включает труды участников III Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2020.

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, 2020
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2020

ИНФОРМАЦИЯ О III МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2020

III Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2020 состоялся 04.03.2020-06.03.2020 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2020 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«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;
- 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.

Стандартизация и управление качеством;

- Информационные системы и технологии;

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

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, 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 и гуманитарная

подготовка студентов;

- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Технологии обучения и воспитания на военной кафедре.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., ректор, д.ф.-м.н., проф. – председатель
Гусев С.И., проректор по научной работе, д.т.н., проф. – зам. председателя;
Бухенский К.В., зав. кафедрой высшей математики, 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., доцент кафедры государственного, муниципального и корпоративного управления, к.п.н., доц.;

Алпатов Б.А., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Бабаян П.В., проректор по учебной работе, зав. кафедрой автоматизации и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

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

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

Животягин Д.А. нач. кафедры связи военного учебного центра, полковник;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Кириллов С.Н., зав. кафедрой радиопередачи и связи, д.т.н., проф.;

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

Ключко В.К., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

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

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелев В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, к.т.н., доц.;

Лукиянова Г.С., доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

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

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

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

Серебряков А.Е., зам. зав. кафедрой электронных приборов, к.т.н.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Таганов А.И., зав. кафедрой космических технологий, д.т.н., проф.;

Токарь А.Д., нач. кафедры ВКС военного учебного центра, полковник;

Холомина Т.А., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., проф.;

Холопов С.И., декан ф-та автоматизации и информационных технологий в управлении, зав. кафедрой автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф..

**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. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»**

УДК 621.3.087.44: 681.772.7; ГРНТИ 90.03.03

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО МЕТОДА
РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССА ДЫХАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЕБ-КАМЕРЫ**

В.Л. Нгуен, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nguyenvietlinh010992@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается система для исследования погрешности дистанционного метода регистрации процесса дыхания с помощью веб-камеры.

Ключевые слова: регистрация процесса дыхания, веб-камера, виртуальный прибор (ВП), погрешность измерения, метод наименьших квадратов.

**RESEARCH OF ERROR OF THE REMOTE METHOD OF REGISTRATION
OF THE RESPIRATORY PROCESS USING A WEB CAMERA**

V.L. Nguyen, S.G. Gurzhin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nguyenvietlinh010992@gmail.com*

The summary. We consider a system for studying the error of the remote method of recording the breathing process using a web camera.

Keywords: registration of the breathing process, webcam, virtual device (VP), measurement error, least squares method.

В работе [1] рассматривалась система метрологических испытаний дистанционного контроля и измерения диагностических параметров процесса дыхания на базе видеокамеры. Колебания грудной клетки пациента во время дыхания имитировались перемещением светового пятна белого цвета по заданному закону на экране монитора компьютера с помощью программы – виртуального прибора (ВП), созданной в среде LabVIEW. Напротив экрана находилась на определенном расстоянии веб-камера, которая подключалась к тому же компьютеру, где с помощью второй программы ВП производился захват, анализ и регистрация изображения, выделение элементов движущегося пятна и формирование сигнала дыхания в виде осциллограммы. С помощью третьей программы ВП осуществлялась нормализация сигналов испытательного (эталонного) и зарегистрированного веб-камерой, их сравнение, оценка приведенной погрешности и коэффициента корреляции их форм. В результате проведенных экспериментов была подтверждена возможность реализации системы метрологического назначения на базе персонального компьютера и виртуальных средств измерений.

Исследования показали также, что погрешность измерений зависит от многих факторов:

- расстояние от видеокамеры до экрана монитора компьютера;
- размер пятна, отображаемого на экране монитора;
- угол между видеокамерой и экраном монитора компьютера;
- цвет пятна;
- освещенность помещения;

- размер экрана монитора компьютера;
- амплитуда колебаний пятна и др.

Для определения функциональной зависимости погрешности от ряда влияющих факторов необходимо провести серию испытаний, в которых один из факторов варьирует в заданном диапазоне возможных значений, а остальные принимаются постоянными на интервале времени каждого эксперимента (в течение 10 минут).

На данном этапе исследований производилась регистрация процесса перемещения светового пятна и оценивание погрешности при изменении расстояния между видеокамерой и экраном монитора компьютера. Этот фактор считается наиболее существенным, поскольку выбранный метод измерения дистанционный, т.е. выполняемый при отсутствии непосредственного контакта средства измерений с объектом измерений.

В экспериментах использовалась апробированная система [1], состоящая из монитора компьютера ViewSonic VG 2233-LED с размером экрана 21,5 дюймов (54,61 см) и разрешением 1920×1080 пикселей [2] и веб-камера Logitech C920 с разрешением 1920×1080 пикселей в режиме записи видео с фиксированной частотой 30 кадров в секунду [3].

В проведенном эксперименте были заданы значения следующих информативных параметров:

- пятно с радиусом 5 пикселей или примерно 1,43 мм;
- угол между видеокамерой и экраном монитора компьютера составлял 90° или их взаимное положение параллельное друг относительно друга;
- цвет пятна задается 3 цветами красным R , зеленым G и синим B , в виде значений градаций, программой виртуального прибора визуализации и перемещения пятна на экране монитора [4]. В данном эксперименте цвет пятна белый, которому соответствуют максимальные значения цветов $R = 255, G = 255$ и $B = 255$;
- освещенность помещения 400 лк [5];
- максимальная амплитуда колебаний пятна в пределах экрана монитора компьютера 150 мм.

Расстояние от видеокамеры до экрана монитора варьировалось в заданном диапазоне $x \in [x_1; x_2]$, где x_1 – минимальная дистанция съемки видеокамеры, это значение у каждой видеокамеры свое, а x_2 – максимальная установленная дистанция от видеокамеры до экрана компьютера. По технической документации веб-камера Logitech C920 имеет минимальную дистанцию съемки 10 см, т.е. $x_1 = 10$ см, а x_2 в ходе эксперимента было установлено равным 150 см. Результаты эксперимента представлены на таблице 1.

Таблица 1. Зависимость погрешности измерений y от расстояния x видеокамеры до экрана компьютера

$x(\text{см})$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
$y(\%)$	1.97	1.98	2.75	2.38	2.25	3.34	3.33	3.45	2.95	3.28	3.41	3.43	3.42	3.45
$x(\text{см})$	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$y(\%)$	3.51	3.54	3.48	3.62	3.67	3.75	3.81	4.02	4.21	4.36	4.42	4.58	4.78	4.94

В результате проведения серии измерений $n = 28$ получены точечные оценки значений погрешности y_i в зависимости от заданного расстояния x_i

$$y_1 = f(x_1); y_2 = f(x_2); y_3 = f(x_3); \dots; y_n = f(x_n).$$

Поскольку представленные результаты не позволяют установить характер функциональной зависимости y , x и отсутствует информация о поведении погрешности при всех

возможных значениях расстояния, т.е. и в промежутках между точечными значениями, то необходимо применить методы, позволяющие найти аппроксимирующую непрерывную функцию, замещающую экспериментальные данные с минимальной погрешностью.

Поиск аналитического выражения, отражающего с достаточной степенью точности искомую зависимость, может быть выполнен на основе метода наименьших квадратов (МНК) [6,7] в два этапа: 1) подбор общего вида искомой функции; 2) определение ее параметров.

Представим искомую зависимость (математическую модель) в общем виде или в виде уравнения регрессии:

$$y = f(x, d_0, d_1, d_2, \dots), \quad (1)$$

где $d_0, d_1, d_2, \dots$ – постоянные параметры или коэффициенты.

Для определения параметров уравнения регрессии требуется подобрать $d_0, d_1, d_2, \dots$ таким образом, чтобы

$$\phi = \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots)]^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

т.е. сумма квадратов разностей между значениями искомой функции и экспериментальными значениями была минимальной.

Необходимыми условиями минимума функции (2) являются:

$$\frac{\partial \phi}{\partial d_0} = 0; \quad \frac{\partial \phi}{\partial d_1} = 0; \quad \frac{\partial \phi}{\partial d_2} = 0, \quad (3)$$

или

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N 2[y_i - f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots)] \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_0} &= 0; \\ \sum_{i=1}^N 2[y_i - f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots)] \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_1} &= 0; \\ \sum_{i=1}^N 2[y_i - f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots)] \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_2} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

После преобразования получаем:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N y_i \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_0} - \sum_{i=1}^N f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots) \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_0} &= 0; \\ \sum_{i=1}^N y_i \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_1} - \sum_{i=1}^N f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots) \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_1} &= 0; \\ \sum_{i=1}^N y_i \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_2} - \sum_{i=1}^N f(x_i, d_0, d_1, d_2, \dots) \frac{\partial f(x_i)}{\partial d_2} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Для решения системы (5) необходимо задаться видом уравнения регрессии. В качестве математических моделей при обработке экспериментальных данных МНК обычно принимаются следующие зависимости:

1) линейная $y_M = ax + b$;

- 2) степенная $y_M = bx^a$;
- 3) показательная 1 $y_M = be^{ax}$;
- 4) показательная 2 $y_M = ba^x$;
- 5) логарифмическая $y_M = aLn(x) + b$;
- 6) гиперболическая $y_M = b + \frac{a}{x}$;
- 7) дробно-рациональная 1 $y_M = \frac{1}{ax + b}$;
- 8) дробно-рациональная 2 $y_M = \frac{x}{bx + a}$.

Для решения системы линейных алгебраических уравнений (5), где количество переменных равно количеству уравнений, был использован метод Крамера [7], позволяющий с помощью определителей значительно ускорить процесс нахождения единственного решения.

С целью автоматизации решения уравнений, определения искомых параметров a , b , визуализации зависимостей в одной системе координат и оценок погрешности приближения создана программа в среде LabVIEW [8].

Суммы квадратов отклонения экспериментальных и аппроксимирующих значений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценки погрешности приближения различными аналитическими выражениями

№	Уравнение	$\sum (y - y_M)^2$
1	$y_M = ax + b$	1.93663
2	$y_M = bx^a$	2.02427
3	$y_M = be^{ax}$	2.09237
4	$y_M = ba^x$	2.09237
5	$y_M = aLn(x) + b$	2.44548
6	$y_M = b + \frac{a}{x}$	388.071
7	$y_M = \frac{1}{ax + b}$	2.87356
8	$y_M = \frac{x}{bx + a}$	4.01173

Из таблицы 2 видно, что сумма квадратов отклонений экспериментальных и аппроксимирующих значений у линейной функции $y_M = ax + b$ самая низкая, которая равна 1,93663. График $y = 0,0174866x + 2,14765$ эмпирической и аппроксимирующей зависимостей в одной системе координат представлен на рисунке.

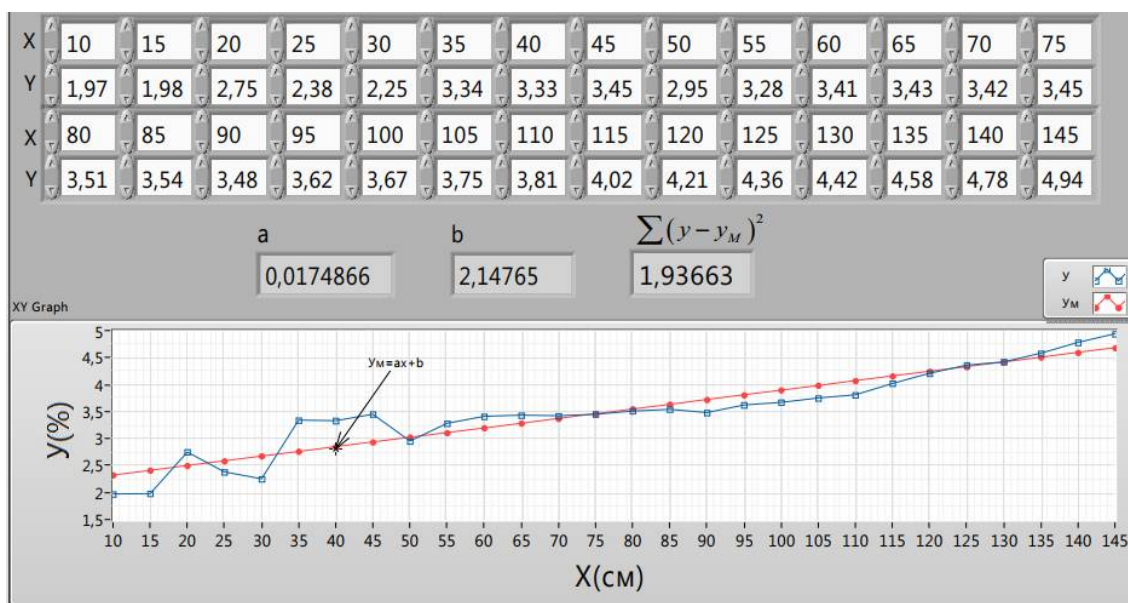


Рис. График эмпирической и аппроксимирующей зависимостей в одной системе координат

Таким образом, по экспериментальным данным и МНК определяется функция зависимости погрешности регистрации системы от расстояния видеокамеры до экрана монитора компьютера:

$$y = 0,0174866x + 2,14765,$$

где y – погрешность регистрации системы (%); x – расстояние от видеокамеры до экрана монитора (см).

Поскольку эта функция линейная, поэтому при увеличении x значение y увеличивается. Когда расстояние от видеокамеры до экрана равно минимальной дистанции съемки, то система работает с самой низкой погрешностью. Чем дальше видеокамера стоит от экрана, тем больше погрешности система имеет.

Библиографический список

1. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Реализация метрологических испытаний системы дистанционного контроля и измерения диагностических параметров процесса дыхания на базе видеокамеры // Биотехнические, медицинские, экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2019 [текст]: сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2019. – 700 с. С. 500-505.
2. Каталог товаров: Монитор ViewSonic VG2233-LED. Характеристики. URL: <https://www.viewsonic.com/ru/products/lcd/VG2233-LED.php> (дата обращения: 03.02.2020).
3. Каталог товаров: Web-камера LOGITECH HD Webcam C270. Характеристики. URL: <https://www.logitech.com/ru-ru/product/hd-pro-webcam-c920s#specification-tabular> (дата обращения: 03.02.2020).
4. Свид. 2019617933 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа виртуального прибора в среде LabVIEW для формирования эталонного испытательного сигнала в виде перемещения светового пятна на экране компьютера / С.Г. Гуржин, В.Л. Нгуен; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (RU). – №2019616711; заявл. 13.06.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 7, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
5. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
6. Мальшева Т.А. Численные методы и компьютерное моделирование. Лабораторный практикум по аппроксимации функций: Учеб. – метод. Пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 33 с.
7. Метод наименьших квадратов: метод. указания / сост.: Л.В. Коломиец, Н.Ю. Поникарова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.
8. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4 – е издание, переработанное и дополненное – М.: ДМК Пресс, 2011 – 904 с.

УДК 51-37; ГРНТИ 59.14.29

КОМПЕНСАЦИЯ ПОСТОЯННОГО СМЕЩЕНИЯ СИГНАЛА В ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ДЫХАНИЯ ПЛОВЦА

С.А. Новиков

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, noviserg96@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается метод компенсации постоянной составляющей сигнала с использованием рекурсивного цифрового фильтра первого порядка (экспоненциального сглаживания), и цифро-аналогового преобразования с дальнейшим вычитанием постоянной составляющей из сигнала получаемого с датчика.

Ключевые слова: экспоненциальное, сглаживание, фильтрация, постоянное, смещение, дифференциальный, усилитель.

COMPENSATION OF SIGNAL OFFSETS DISPLACEMENT IN THE PROGRAM-HARDWARE COMPLEX FOR ESTIMATING SWIMMER'S BREATHING PARAMETERS

S.A. Novikov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, noviserg96@gmail.com

The summary. In this work, we consider a method for compensating the constant component of a signal using a first-order recursive digital filter (exponential smoothing), and a digital-to-analog conversion with further subtraction of the constant component from the signal received from the sensor.

Keywords: exponential, smoothing, filtering, constant, bias, differential, amplifier.

Диапазон аналого-цифрового преобразования современных микроконтроллеров, составляет от 0 до V_{ref} В, если входной сигнал имеет постоянное смещение, тогда возникает проблема потери полезной части сигнала в следствии того, что уровень сигнала выходит за пределы диапазона аналого-цифрового преобразования. Данная проблема усугубляется наличием зависимости датчиков от внешних и внутренних параметров, таких как: температура, влажность, собственное смещение сигнала датчика и др.

Для решения данной проблемы предлагается использовать рекурсивный цифровой фильтр первого порядка (экспоненциальное сглаживание) для получения сглаженного сигнала. При близком к 0 переменная составляющая сигнала будет подавлена, благодаря чему мы получим постоянное смещение сигнала, изменяющееся динамически. Далее, генерируя данный сигнал на цифро-аналоговом преобразователе, мы можем вычитать его из сигнала с датчика, используя дифференциальный усилитель, тем самым, избавляясь от постоянного смещения в нашем сигнале.

Экспоненциальное сглаживание реализуется по формуле 1[1]:

$$S_n = \alpha * x_n + (1 - \alpha) * S_{n-1} . \quad (1)$$

Что бы данная система являлась системой реального времени, мы должны каждое значение, которое мы получаем с АЦП, пропускать через сглаживание перед тем, как оцифровать новое значение. Алгоритм работы микроконтроллера опишем псевдокодом:

- 1 Инициализация периферии: АЦП, ЦАП, Порты ввода-вывода
- 2 Пока (Истина)
- 3 dataADC = оцифровка значения АЦП;
- 4 dataDAC = $\alpha * \text{dataADC} + (1 - \alpha) * \text{dataDAC}$;
- 5 Регистр уровня сигнала ЦАП = dataDAC;
- 6 USBSend(dataADC); // отправка данных по USB

7 Повторить;

Аналоговая часть для компенсации смещения датчика может быть реализована на однокаскадной схеме дифференциального усилителя (рис. 1), либо на двухкаскадной схеме, в которой каждый каскад представляет собой независимый дифференциальный усилитель (рис. 2). Обе схемы позволяют решить поставленную задачу, однако в первом случае требуется выполнить обратное преобразование в микроконтроллере, чтобы получить дифференциальный сигнал дифференциальная составляющая. В связи со сложностью реализации схемы на одном каскаде, для отладки использовалась двухкаскадная схема.

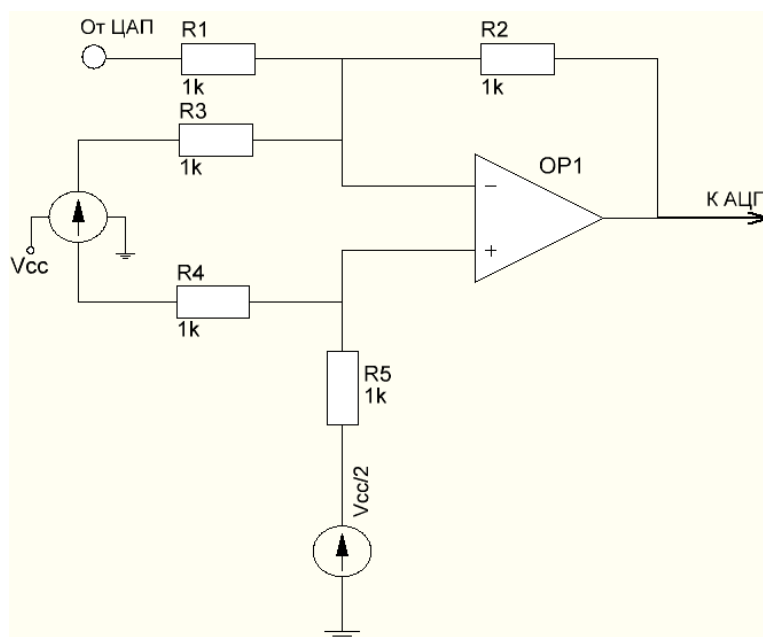


Рис. 1. Аналоговая часть для компенсации постоянного смещения сигнала датчика на одном каскаде

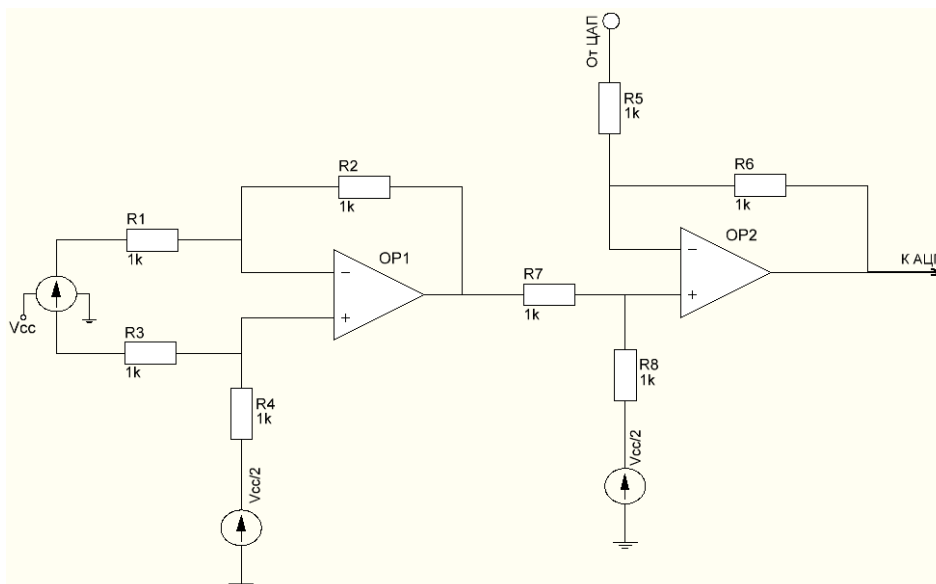


Рис. 2. Аналоговая часть для компенсации постоянного смещения сигнала датчика на двух дифференциальных каскадах

Чтобы проверить работоспособность алгоритма и схемы используем вариант схемы на рисунке 2. Для этого необходимо получить формулу, которая будет описывать зависимость

выходного сигнала, от сигнала с датчика и сигнала с ЦАП. Для получения формулы описывающей данную схему воспользуемся правилами Кирхгофа [3]. Тогда первый каскад схемы:

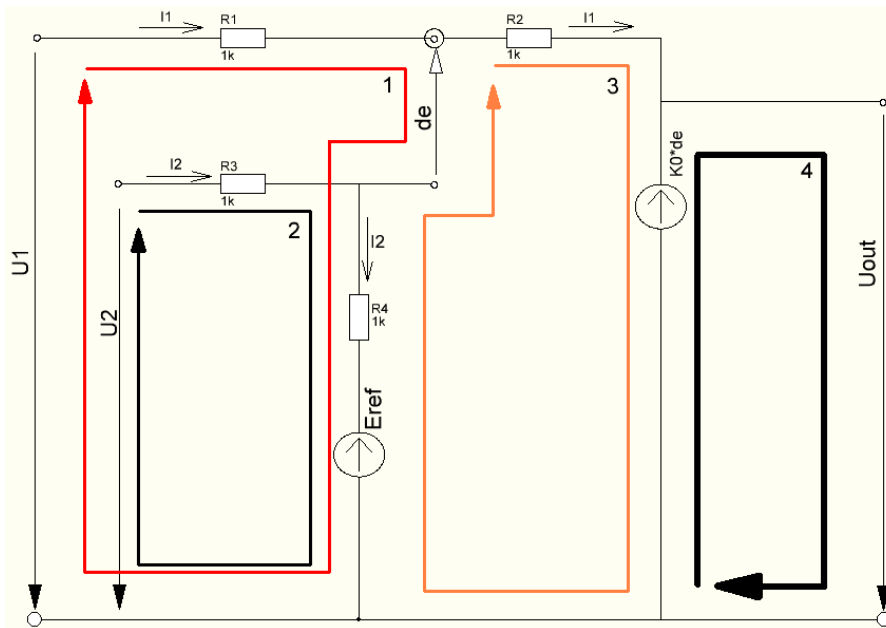


Рис. 3. Первый каскад схемы 2, расписанный по правилам Кирхгофа

Напишем систему уравнений, руководствуясь правилами Кирхгофа:

$$1: -E_{\text{ref}} = J_1 * R_1 + J_2 * R_4 - U_1 - \Delta e; \quad (2)$$

$$2: -E_{\text{ref}} = J_2 * (R_3 + R_4) - U_2; \quad (3)$$

$$3: K_0 * \Delta e + E_{\text{ref}} = J_1 * R_2 - J_2 * R_4 + \Delta e; \quad (4)$$

$$4: U_{\text{out}} = K_0 * \Delta e. \quad (5)$$

Решая данную систему уравнений, получаем, что выходное напряжение рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{out}} = U_2 \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} - U_{\text{dac}} \frac{R_2}{R_1}. \quad (6)$$

Второй каскад рассчитывается аналогично. Итоговое уравнение будет:

$$U_{\text{out}} = -U_{\text{dac}} \frac{R_5}{R_6} + \frac{R_8(R_5 + R_6)}{R_5(R_7 + R_8)} * \left(U_2 \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} - U_1 \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (7)$$

Библиографический список

1. Brown R.G., Meyer R.F. The fundamental theorem of exponential smoothing. Oper. Res. - 1961. - Vol.9. - № 5.
3. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. — М.: Финансы и статистика, 2003.
4. Рассел, Джесси Правила Кирхгофа / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2013. - 805 с.

УДК 658.5; ГРНТИ 84.13.53

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Л.Ю. Кульнева*, С.Н. Дьяков**

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,

**Российская Федерация, Рязань, le4le18@gmail.com*

***Российская Федерация, Рязань, sergy-dn@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрены основные подходы к оценке результативности и методики оценки результативности системы менеджмента качества, которые определенным образом оказывают влияние на работу предприятия.

Ключевые слова: система менеджмента качества, подходы системы менеджмента качества, оценка результативности системы менеджмента качества, методика оценки результативности.

ANALYSIS OF APPROACHES AND ASSESSMENT OF PERFORMANCE OF THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

L.U. Kulneva*, S.N. D'yakov*

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,

**Russia, Ryazan, le4le18@gmail.com*

***Russia, Ryazan, sergy-dn@yandex.ru*

Abstract. In this paper, we considered the main approaches to assessing the effectiveness and methods of evaluating the effectiveness of the quality management system.

Keywords: quality management system, quality management system approaches, evaluation of the effectiveness of the quality management system, performance evaluation methodology.

Введение

Система менеджмента качества (СМК) подробно излагается в ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Система менеджмента качества. Основные положения и словарь» [1]. Целью СМК является непрерывное (постоянное) улучшение работы (деятельности) организации именно в сфере качества, чтобы повысить удовлетворенность постоянных потребителей и привлечь новых.

Достичь данную цель способна оценка результативности СМК, которая помогает руководителю следить за динамикой показателей предприятия, т.е. фактически видеть, насколько реализована поставленная цель. На основе полученной результативности СМК (динамики) становится ясно: работа предприятия либо «результативна», либо «нерезультативна».

Оценка результативности предприятия непосредственно производится с помощью различных методик оценки результативности СМК и подходов к оценке результативности. Также оценка результативности необходима предприятию, поскольку она позволяет оценить и в дальнейшем снизить затраты и увеличить доходы, при условии, что предприятие правильно подобрало ту или иную методику и подход.

В рамках данного исследования предлагается рассмотреть подходы к оценке результативности СМК и методики оценки результативности СМК для предприятий без конкретных случаев, основываясь на ГОСТах.

Анализ подходов к оценке результативности СМК

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9000-2015 определение системы менеджмента качества понимается как часть системы менеджмента применительно к качеству [1].

Результативность (сокращ. в таблице №1 рез-ть, -ти) – степень реализации запланированной деятельности и результатов, которые достигнуты [1].

Для оценки результативности СМК используются общие подходы, представленные на рисунке, которые были сгруппированы на основе различных методик оценки

результативности СМК, и в итоге группировки получилось семь основных подходов.



Рис. Основные подходы к оценке результативности СМК

Рассмотрим подробнее подходы к оценке результативности СМК.

Оценка при подходе №1 проводится, опираясь на показатели целей в области качества и (или) всей деятельности предприятия. Устанавливается факт достижения цели с запланированным планом.

При использовании подхода №2 производится оценка показателей результативности СМК методом аддитивной или мультипликативной свертки, учитывая баллы («веса») показателей.

На основе подхода №3 предприятие (в зависимости от сферы деятельности, например) выбирает те принципы, которые нужно оценить в баллах, т.е. улучшить. Результаты оценки результативности СМК суммируются, основываясь на оценке показателей с точки зрения в области качества как: качество выпускаемой продукции, закупок, испытаний; технологическая дисциплина; удовлетворенность потребителей товарами (услугами); результаты аудитов внутри предприятия; метрологическое обеспечение; управление отчетностью.

Основываясь на подход №4, оценивается деятельность каждого структурного подразделения предприятия по тому как оно достигло поставленные цели; на сколько работа соответствует стандартам; результативность процессов; удовлетворенность потребителя на основе бальных оценок.

При использовании подхода №5 руководитель подразделения обязан следить за ходом событий и выполнения требований к реализации данного подхода. Требования оцениваются по 10-бальной шкале, где требования считаются выполненными и СМК является результативной, если набрано не менее 6 баллов.

Для подхода №6, основанном на ГОСТе (п. 8.4) [2], необходимо предоставлять информацию об: удовлетворенности потребителей; соответствии требованиям к продукции; характеристиках и тенденциях процессов и продукции; информации, относящейся к поставщикам.

Результаты внутреннего аудита (подход №7) выявляют несоответствия. Так, аудит предполагает получение оценки, которая покажет, соответствует ли нынешняя деятельность

предприятия регламентированным документам СМК в области управления документацией, функционировании бизнес-процессов, а также подразделений предприятия. Полученная оценка должна быть не менее «0,7 баллов», иначе деятельность предприятия будет считаться «нерезультативной», в идеале оценка должна выйти – «0,1 балл», тогда система без нареканий будет считаться «результативной».

Анализ методик оценки результативности СМК

Методика оценки СМК не регламентируются никакими стандартами, предприятия имеют право сами разрабатывать методики в соответствии с видом деятельностью, производимой продукцией и бизнес-процессов. Из-за этого у предприятий могут возникать сложности. Но выделяют следующие основные четыре методики оценки результативности СМК, представленные в таблице 1, где представлены общие сведения о методиках, рассмотрены минусы («-») и плюсы («+»), а также возможные случаи применения данных методик.

Таблица. Анализ методик оценки результативности СМК

Методики	Характеристика методик			
	Общие сведения	«+»	«-»	Случаи применения
1. На основе балльных оценок («Вес»)»	Эксперты выставляют баллы тому или иному процессу организации, который нужно улучшить. Сравнивают баллы за отчетный и базовый период, находят прирост результатов. Используется метод «Дельфи» и «Паттерн»	Много мнений; оценка динамики рез-ти СМК, определяет конкурентоспособность предприятия; менее трудоемкий	Корыстные цели работника; оценка рез-ти происходит после выбора оцениваемых параметров и заданных критериев оценки	Для оценки конкурентоспособности товара (услуги); эффективности рекламы и продаж
2. Подход на основе оценке рез-ти процессов	Точные расчетные значения, в которых можно отследить динамику роста показателей процесса, а именно преобразование показателей из абсолютных значений в относительные, т.е. в цепные темпы роста.	Приращение показателей	Рез-ть определяется на основе параметров, которые сложно выбрать и можно допустить ошибки	Для оценки потребителей, персонала, финансов, бизнес-процесса внутри предприятия
3. Подход самооценки рез-ти предприятия и уровня зрелости СМК	Данные предоставляются по отчетности руководителем; оценка проводится в баллах, которые суммируются и находится важность данного процесса в динамике. Используется лепестковая диаграмма.	Может быть выполнена за полдня; одним или несколькими людьми; повышает конкурентоспособность	Большинство параметров, по которым оцениваются данные, могут быть подвержены субъективной оценкой руководителя	Для выявления сильных и слабых сторон предприятия
4. Подходы к самооценке управления качеством	Проводится аудит, анализ СМК, самооценка по критериям ГОСТ Р ИСО 9004, самооценка по критериям национальных премий, самооценка по критериям международных моделей совершенства.	Оценка основывается на фактических показателях	Достаточно трудоемкий процесс	Применяется для сертификации, лицензирования.

Таким образом, видно, что подходы и методики взаимосвязаны. Например, подход №2 напрямую связан с методикой расчета результативности №2 «на основе оценке результативности процессов», т.к. они отражают переход показателей из абсолютных значений в относительные значения. Предприятие, основываясь на том, для чего ему нужен анализ, выбирает подходящую методику оценки.

Например, если предприятию необходимо получить лицензию, то целесообразно использовать методику №4, а если, например, предприятию необходимо выявить слабые и сильные стороны в какой-либо сфере, то здесь имеет место использование методики №3 и т.д., таким образом, предприятие улучшает свою деятельность.

Выводы

Таким образом, в данной работе был проведен анализ подходов к оценке результативности СМК, а также анализ методик оценки результативности СМК. Данный анализ проводился на основе ГОСТ Р ИСО 9000-2015 и ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Необходимо заметить, что данные подходы и методики являются основными методами в оценке результативности СМК.

Предприятие, исходя из своей специфики, подбирает для себя наилучший вариант подходов и (или) методик оценки результативности, чтобы улучшить свою деятельность как на внешнем, так и на внутреннем уровне, например: повысить конкурентоспособность; увеличить число потребителей; сделать акцент на персонале – провести аттестацию и переквалификацию в ходе нововведений; разработать и внедрить новые стандарты при необходимости т.д.

Сравнивая методики и подходы был сделан вывод, что, к сожалению, их нельзя противопоставить между собой и выбрать из них «наилучший вариант», т.к. они по-своему уникальны и для каждого предприятия несут свою информацию и пользу, влияя на работу предприятия.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Система менеджмента качества. Основные положения и словарь».
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Национальный стандарт Российской Федерации системы менеджмента качества. Требования».

УДК 616.12-073.7; ГРНТИ 76.13.15

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ СЕТЕВОЙ ПОМЕХИ В ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

Б.К. Гарифуллин

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань.*

Аннотация. В работе рассмотрены методы подавления сетевой помехи в электрокардиографии, а также сравнение этих методов.

Ключевые слова: сетевая помеха, фильтр, электрокардиосигнал.

METHODS OF SUPPRESSION OF NETWORK GUIDANCE IN ELECTROCARDIOGRAPHY

B.K. Garifullin

Ryazan state Radio Engineering university named after V.F. Utkina, Russia, Ryazan.

The summary. Considered methods of suppressing network guidance in electrocardiography, as well as comparing these methods.

Keywords: network jamming, filter, electrocardiosignal.

Мы живем в такое время, когда своевременная, точная диагностика и профилактика заболевания является важной составляющей здоровья человека. Достижения человечества в разных областях науки и техники позволяют этого добиться. Большое количество людей страдают, и умирают от сердечнососудистых заболеваний и именно этой области медицины уделяется большое количество времени на разработку методов лечения и диагностики. В данной работе я хочу рассказать о способах повышения точности съема электрокардиограммы с помощью подавления сетевой помехи.

При съеме электрокардиограммы с пациента всегда присутствует сетевая помеха, которую необходимо устранить. Для повышения точности диагностики электрокардиосигнала используют цифровую фильтрацию этого сигнала.

Оценка сигнала, искаженного помехой происходит обычным методом, и состоит в том, что бы прогнать сигнал и помеху через адаптивный фильтр, подавляющий помеху, оставляя относительно неизменный сам сигнал. Создание этих видов фильтров определяет область приемлемой фильтрации.

Фильтры, которые используются для решения таких задач, могут иметь неизменные параметры или быть адаптивными. Проектирование фильтров с неизменными параметрами обычно основано на априорной информации о сигнале с помехой, а у адаптивных фильтров есть способность самостоятельно изменять свои характеристики, и при их синтезе нет необходимости в априорной информации об особенностях сигнала и помехи.

Устранение помехи является видом оптимальной фильтрации, обладающий рядом преимуществ, при этом используется дополнительный сигнал, который может быть эталонным, полученный от единственного датчика или ряда датчиков, находящихся в тех точках поля помех, где сигнал слабо обнаружим. Данный сигнал помехи фильтруется и выделяется из сочетания сигнала и помехи. В итоге исходная наводка устраняется или ослабляется.

Основная схема устранения сетевой наводки представлена на рисунке 1.

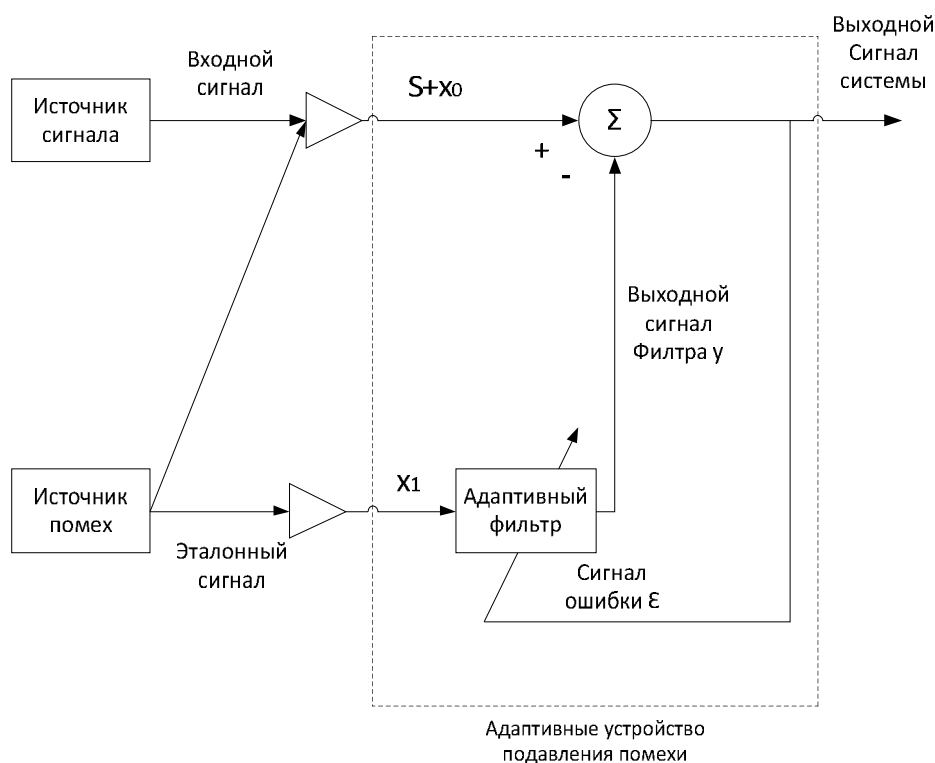


Рис. 1. Процесс адаптивного подавления помехи

Сигнал передается по каналу в устройство приема, которое принимает сочетание сигнала и помехи x_0 . Сочетание сигнала и помехи $s+x_0$ является входным сигналом устройства подавления. Другое устройство приема принимает помеху x_1 , не коррелированную с самим сигналом, но коррелированную с помехой x_0 . В нем формируется эталонный сигнал для подавляющего устройства. В результате фильтрации помехи x_1 формируется сигнал y , который похож на сигнал x_0 . Данный сигнал отнимается из входного сигнала $s+x_0$, чтобы определить выходной сигнал систем $s+x_0-y$.

В случае, если при известных параметрах каналов, по которым помеха приходит на оба устройства приема, появляется возможность создать фильтр с неизменными характеристиками, превращающий x_1 в $y=x_0$. Тогда выходной сигнал можно будет отнять из входного сигнала, тогда на выходе системы получится единственный сигнал. Но использование фильтра с неизменными характеристиками не даст гибкости, потому что обычно параметры каналов передачи могут быть не известны.

Адаптивное устройство устранения помехи на частоте 60Гц

Выделяются 3 главных вида фильтров, применяющиеся для устранения сетевой помехи:

- режекторные неадаптивные фильтры;
- фильтры нижних частот или полосовые фильтры, частотные характеристики которых имеют нуль на частоте сетевой помехи;

Фильтры первого типа, у частотных характеристик которых есть спад на частоте сетевой помехи, используемые при оперативной обработке электрокардиосигнала, используются не часто, потому что они сложно реализуемы. Использование фильтров второго вида применяются для решения сразу двух задач фильтрации и более.

- 1)Подавление постоянной составляющей
- 2)Подавление сетевой помехи
- 3)Подавление высокочастотных помех

Идея использования фильтров второго типа для устранения сразу нескольких проблем приводит к тому, что при решении одной конкретной проблемы другие усугубляются [2].

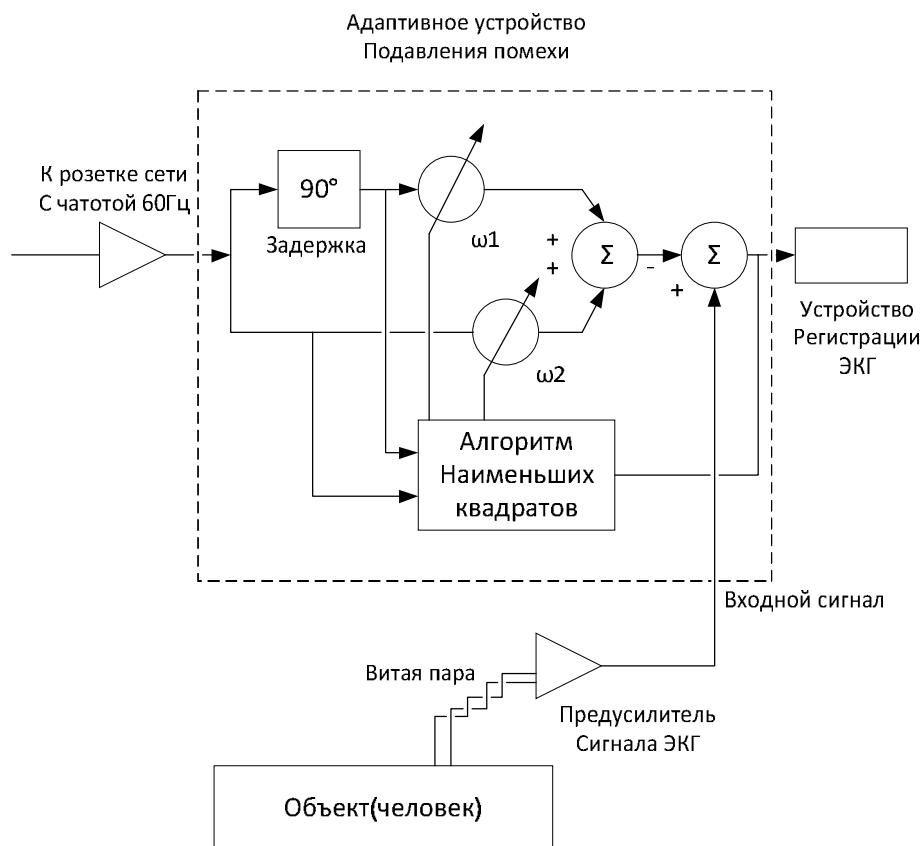


Рис. 2. Подавление сетевой помехи на частоте 60Гц в электрокардиографии

Адаптивные режекторные фильтры сетевой помехи отличаются от остальных тем, что во время работы могут адаптироваться (подстраиваться) под амплитуду и фазу помехи и выполнять ее частичную или полную компенсацию. Эти фильтры, отличаются от первых двух видов цифровых фильтров, тем, что практически не оказывают влияния на сигнал, который является полезным, в частности на его компоненты, спектр которых находится вблизи частоты сетевой помехи. Помимо этого, адаптивные цифровые фильтры могут включать в себя простую возможность реализовать высокую добротность. Их главный недостаток в том, что устойчивая фильтрация имеет место быть только в случаях, когда амплитуда и фаза наводки изменяется плавно. Но в реальных условиях оперативного анализа электрокардосигнала характеристики помехи меняются медленно. Это способствует более удобной адаптивной фильтрации.

На рисунке 2 показана схема использования в электрокардиографии фильтра подавления сетевой помехи, который носит название адаптивный. Входной сигнал поступает с усилителя ЭКГ, а эталонный сигнал с частотой 60Гц – со штепсельной розетки с некоторым ослаблением. Фильтр адаптации обладает парой весовых коэффициентов. Эти два взвешенных эталонных сигнала складываются, в результате этого формируется выходной сигнал фильтра, который вычитается из входного сигнала системы. Комбинация значений весовых коэффициентов позволяет менять эталонный сигнал по амплитуде и фазе любым способом, нужным для подавления помехи [1].

Библиографический список

1. Уидроу Б., Стириз С. Адаптивная обработка сигналов: - М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
2. А.Л. Барановский, А.П. Немирко Кардиомониторы: Аппаратура непрерывного контроля ЭКГ. Учебное пособие для вузов: Москва радио и связь, 1993.

УДК 658.5;ГРНТИ 84.13.53

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

О.В. Леонова, И.А. Сухорукова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Olga.leonova270797@yandex.ru
Российская Федерация, Рязань, sukhorukovaia@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены основные методы контроля качества продукции на предприятиях.

Ключевые слова: разрушающий контроль, неразрушающий контроль.

METHODS OF PRODUCT QUALITY CONTROL AT ENTERPRISES

O.V. Leonova, I.A. Sukhorukova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russia, Ryazan, Olga.leonova270797@yandex.ru
Russia, Ryazan, sukhorukovaia@mail.ru*

The summary. The paper considers the main methods of product quality control at enterprises.

Keywords: destructive testing, non-destructive testing.

В настоящее время любые предприятия и компании на рынке сбыта сталкиваются с жесткими требованиями к качеству, так как именно качество является основой конкурентоспособности. Потребители и поставщики отдают предпочтение качеству при выборе продукции. Одной из главных функций управления качеством является контроль над ним, осуществляющийся через определенные средства измерения. Сущность контроля качества продукции сводится к сопоставлению фактических данных с заданными параметрами.

Контроль качества – одно из основных звеньев производственного цикла изготовления продукции. Важно заметить, что научный подход к методам контроля качества привел к созданию системы управления качеством.

Методы контроля качества продукции подразделяются на разрушающие и неразрушающие в соответствии с последующим применением продукции. Например, после разрушающего контроля устройство окажется не работоспособным. Данные методы используют при проверке изделий на надежность, долговечность и безотказность [2].

Целью разрушающего контроля является количественное определение наибольшей нагрузки на изделие. К методам разрушающего контроля относятся:

– испытание на твердость. Контроль твердости проводят не только для проверки качества радиоэлектронных изделий, но и при термической обработке.

К методам испытания на твердость относятся метод Бринелля, метод Роквелла и метод Виккерса, представленные на рисунке 1.

Метод Бринелля заключается во вдавливании стального шарика диаметром D в поверхность испытуемого изделия при усилии P в течение определенного времени. Через некоторое время измеряют глубину отпечатка.

Определение твердости по Роквеллу происходит с помощью алмазного конуса или стального закаленного шарика. Испытание по Роквеллу проходит через 2 стадии: сначала подготовительная, как правило, равная 10 кгс, а затем основная стадия. Твердость измеряют на приборе Роквелла.

При испытании по Виккерсу в поверхность испытуемого изделия вдавливают алмазную четырехгранную пирамиду [3].

Данные методы представлены на рисунке 1.

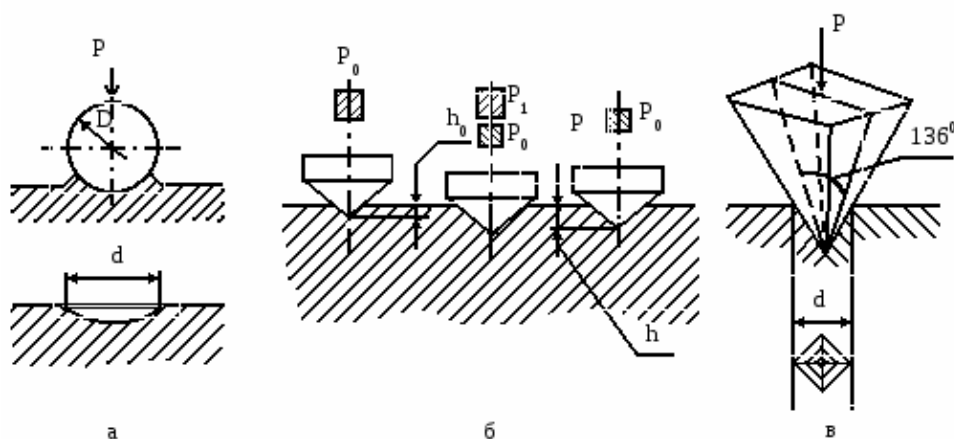


Рис. 1. Схемы определения твердости по методу Бринелля (а), по методу Роквелла (б), по методу Виккерса (в) [2]

Преимуществом метода Роквелла, по сравнению с другими методами, является то, что значение твердости фиксируется с помощью определенного прибора, при этом нет необходимости оптического измерения отпечатка, тем самым облегчая проведение контроля радиоэлектронных изделий.

- динамические испытания. При динамических испытаниях контроль проводят на изгиб, растяжение и кручение. Длительность испытаний составляет не более нескольких секунд.

- испытания на изнашивание и истирание. Они дают возможность определить свойства поверхности испытуемого образца при длительном воздействии трения. Комплексные испытания позволяют характеризовать основные конструкционные и технологические свойства материала, регламентировать максимально допустимые нагрузки для изделия.

К методам неразрушающего контроля относятся ультразвуковая дефектоскопия и толщинометрия, радиография, магнитопорошковый и капиллярный контроль, вихретоковый контроль, оптико-визуальный контроль и другие [1].

Метод ультразвуковой дефектоскопии предназначен для исследования процессов появления ультразвуковых волн с частотой 0,5-25 МГц. Разрешающая способность ультразвуковой дефектоскопии, или минимальный размер дефекта, зависит от длины волн. Для увеличения разрешающей способности, как правило, пытаются повысить частоту колебания, но при этом снижается проникающая способность ультразвука, что является существенным недостатком данного метода.

Радиография позволяет проверить наличие скрытых дефектов через рентгеновские волны. Радиографический контроль используется для обнаружения таких дефектов, как шлаковые включения, газовые поры и т. д. Этот тип контроля нашел широкое применение в промышленности и строительстве при проверке технологических трубопроводов, металлоконструкций, производственного оборудования.

Существует 2 основных метода радиографии: прямая экспозиция и перенос изображения. Наиболее распространенным методом является метод прямой экспозиции, при котором применяются источники ионизирующего излучения. Просвечивание изделий происходит через радиографическую пленку. Метод переноса изображений применяют при нейтронной радиографии и ксерорадиографии. Основным недостатком метода радиографии является громоздкость радиографического оборудования, что может затруднить проведение технического контроля продукции [1].

Метод вихретокового контроля основан на взаимодействии внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов. Главной особенностью данного вида контроля является бесконтактность. Вихретоковый метод позволяет проводить контроль продукции на высоких скоростях, которые недоступны другим методам. К недостаткам вихретокового контроля относится следующее:

- контроль можно проводить только у металлов, сплавов, полупроводников;
- небольшая глубина зоны контроля, не превышающая нескольких миллиметров.

Если сравнивать разрушающие и неразрушающие методы контроля, то можно заметить недостатки и преимущества каждого из них. Они представлены в таблице 1.

Таблица 1. Методы контроля качества

Методы контроля	Преимущества	Недостатки
Разрушающий контроль	- в испытаниях, как правило, все нагрузки измеряются количественно; - испытания направлены на измерение эксплуатационной надежности исследуемого устройства.	- испытания невозможно проводить на всем исследуемом устройстве сразу, поэтому их проводят на отдельных образцах; - испытание определяет только одно или несколько свойств, которое могут повлиять на надежность устройства в условиях эксплуатации; - испытание требует капитальных затрат на проведение.
Неразрушающий контроль	- испытания проводятся на целой детали или изделию без прекращения рабочего процесса; - испытания являются кратковременными и требуют меньших затрат человеко-часов и т.д; - во время испытаний можно проследить процесс для обнаружения дефектов.	- испытания являются качественными; - контроль часто представляет собой измерение свойств, не имеющих реального значения в рабочих условиях.

Таким образом, можно заметить, что каждый из методов контроля качества радиоэлектронной аппаратуры, а именно разрушающий и неразрушающий контроль имеет свои преимущества и недостатки.

Наиболее перспективным методом является метод неразрушающего контроля, так как он является наименее затратным, более современным и может проводиться сразу на испытуемых деталях, не останавливая рабочий процесс.

Библиографический список

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
2. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения (с Изменением N 1).
3. Васин, С.Г. Управление качеством. Всеобщий подход: Учебник для бакалавриата и магистратуры / С.Г. Васин. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 404 с.

УДК 615.847; ГРНТИ 76.13

РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНОЙ ЧАСТИ И ИНТЕРФЕЙСА ПРИБОРА ДЛЯ АКУПУНКТУРЫ

Д.Ю. Ледков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, d.ledkov2015@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описана программная часть прибора для акупунктуры, влияние тока на точку акупунктуры. Проводится рассмотрение графической части виртуальных приборов (ВП), созданных в среде графического программирования LabVIEW.

Ключевые слова: Акупунктурная точка, электрические импульсы, электропроводность, виртуальные приборы, графическое программирование.

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE PART AND INTERFACE FOR THE ACOUPUNCTURE DEVICE

D.Yu. Ledkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, d.ledkov2015@yandex.ru*

Annotation. This paper describes the software part of the device for acupuncture. The structure of virtual devices (VIs) created in the LabVIEW graphical programming environment is considered.

Keywords: Acupuncture point, electrical impulses, electrical conductivity, virtual instruments, graphic programming.

Введение

В настоящее время особое внимание уделяется методам диагностики и терапии, основанным на свойствах биологически активных точек (БАТ). 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.

Оценка и роль воздействия электрическим током на точки акупунктуры

Проводимость точки имеет 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.

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

Для реализации предлагаемого метода измерения и записи данных используются аппаратные средства в виде платы Arduino, интерфейса USB и персонального компьютера (ПК), которые представлены структурной схемой в статье [1]. Программная часть и интерфейс реализован в виде виртуальных приборов (ВП), созданных в среде графического программирования LabVIEW. Интерфейс программной части представлен на рисунке 1.

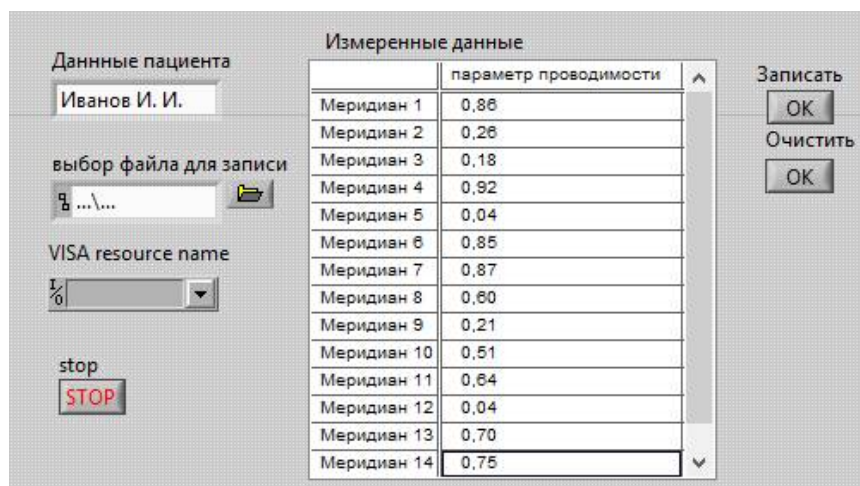


Рис. 1. Интерфейс программной части

Интерфейс информативен и прост. На нем имеется окно выбора файла для записи, таблица с результатами диагностики, окно для записи данных о пациенте и кнопки для возможности записи и очистки, а так же кнопка остановки программы. Окно VISA необходимо для выбора COM-порта для сопряжения прибора и ПК.

Данные с поступают на АЦП платы Arduino и передаются в COM-порт ПК, где в среде графического программирования LabVIEW с помощью виртуальных приборов реализовано чтение и запись файлов в таблицу точки акупунктуры по каждому меридиану, по которой потом можно определить ее состояние. Получаемый файл с таблицей выглядит следующим образом (рис. 2).

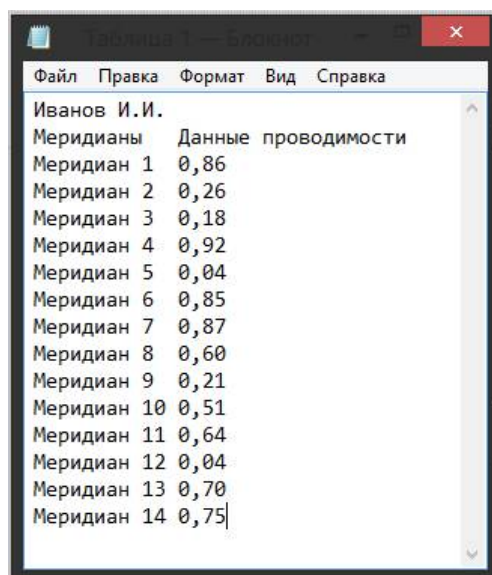


Рис. 2. Получаемый файл с данными

После диагностических данных о точке акупунктуры принимается решение о типе влияния на нее электрическими импульсами.

Заключение, основные выводы

Преимуществами данного метода является и технических свойств является получения файла данных о измеренной проводимости. Данные приходят на СОМ порт записываются и сохраняются с помощью среды LabVIEW. В дальнейшем планируется сделать вывод информации о пороговых значениях точки акупунктуры, а так же какие патологии или процессы связаны с данным уровнем проводимости. Недостатком является то что записанные в файле данные проводимости являются десятичными числами, что является неправильным. В дальнейшем это дорабатывается.

Библиографический список

1. Ледков Д.Ю., Кряков В.Г. /Электротерапевтическое воздействие на организм человека через точки акупунктуры / Материалы Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019»: сб. тр. междунар. науч.- техн. форума / под общ.ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019. – 17 с.
2. Ф. Крамер «Учебник по электроакупунктуре» том 1. 164стр. Москва 1995г.
3. LabVIEW. Стиль программирования Питер Блум «ДМК пресс» 2009 г.

УДК 531.7; ГРНТИ 90.27.28

РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ВИБРАЦИИ

И.Ю. Подчиненов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ivan.podchinenov@mail.ru*

Аннотация. В данной статье представлена разработка лазерной интерференционной системы регистрации вибрации. В настоящее время данное направления является перспективным в разных областях машиностроения и, разрабатываемая система, будет востребована на многих производствах, при создания движущихся механизмов.

Ключевые слова: интерферометр, полупрозрачные зеркала, лазерный луч, вибрация.

DEVELOPMENT OF A LASER INTERFERENCE VIBRATION REGISTRATION SYSTEM

I.Y. Podchinenov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, ivan.podchinenov@mail.ru*

The summary. This article presents the development of a laser interference system for recording vibration. Currently, this direction is promising in various fields of engineering and, the system being developed, will be in demand in many industries to create moving mechanisms.

Keywords: interferometer, translucent mirrors, laser beam, vibration.

В настоящее время современные технологии практически всех масштабов нуждаются в непосредственном контроле механических параметров производства технологического процесса. Одним из важнейших параметров любого механического движения является вибрация, представляющая собой периодические перемещения объекта измерения в пространстве. Поэтому, для измерения необходимы высокоточные системы, с помощью которых проводить измерения стало бы легче, эффективнее, быстрее и иметь при этом наименьшую по-

грешность. В связи с этим необходимо разработать лазерную интерференционную систему регистрации вибрации, которая будет удовлетворять всем выше указанным качествам.

На практике, на сегодняшний день, применяют два метода измерения вибрации контактные и бесконтактные. Первые имеют непосредственную механическую связь между датчиком и объектом измерения (датчик крепиться на область механизма, которая подвержена вибрации). Вторые способны измерять показания вибрации на некотором расстоянии от объекта. К бесконтактным методам относятся доплеровские, индукционные, вихретоковые, интерференционные и другие. Именно на основании последнего метода, основана разработка системы регистрации вибрации.

В основании данной системы стоит интерферометр, который использует принцип сложения когерентных сигналов оптического диапазона, сдвинутых по фазе. Простейший интерференционный измеритель, на основании которого можно понять принцип работы системы показан на рисунке 1.

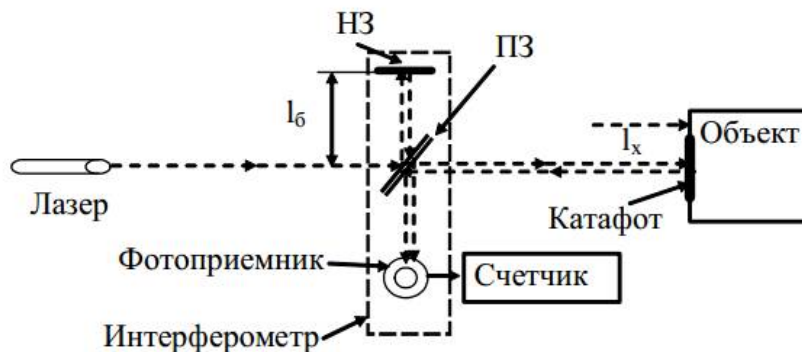


Рис. 1. Интерференционный измеритель малых перемещений

Он состоит из источника излучения (лазер), интерферометра и счетчика импульсов. Сам интерферометр в свою очередь состоит из полупрозрачного зеркала, непрозрачного зеркала и фотоприемника.

Луч лазера, попадая на полупрозрачное зеркало интерферометра, разделяется на два, один продолжает движение в сторону объекта, а второй отражается перпендикулярно к исходному лучу и направляется на непрозрачное зеркало. Затем отраженный от объекта луч возвращается обратно на полупрозрачное зеркало и, отражаясь от него, направляется на фотоэлемент (фотоприемник). В то же время луч, отраженный от непрозрачного зеркала, также направляется на фотоэлемент. Здесь оба луча складываются векторно, в зависимости от сдвига фаз между ними. Если сдвиг фаз нулевой, то суммарная интенсивность луча максимальна, а если сдвиг фаз 180 градусов, то суммарная интенсивность минимальна, вплоть до нулевой при равенстве интенсивностей обоих лучей. Поэтому перемещение объекта на половину длины волны излучения ($l_x = \frac{\lambda}{2}$) приводит к полной смене сдвига фаз от 0° через 180° до 360° (снова 0°), то есть от максимальной интенсивности через минимальную интенсивность и опять к максимальной (половина длины волны, потому что луч дважды проходит путь до объекта). Следовательно, перемещение на каждые $\frac{\lambda}{2}$ приводит к возникновению одного периода сигнала с фотоэлемента.

Но подобный измеритель не способен измерять и регистрировать показания вибрации, т.к. счетчик производит сложение импульсов как при движении объекта вперед, так и при движении объекта назад, без их разделения.

Но модернизировав измеритель, описанный выше, можно получить систему регистрирующую вибрацию, а именно добавить еще один интерферометр и логическую схему, ко-

торая будет разделять последовательность импульсов. Для того что бы проводить измерения относительно одного луча, необходимо к действующему лазеру добавить разделитель, который будет создавать два параллельных луча, идущих на интерферометры. В конечном итоге, структурная схема регистратора вибрации представляет собой следующее (рисунок 2).

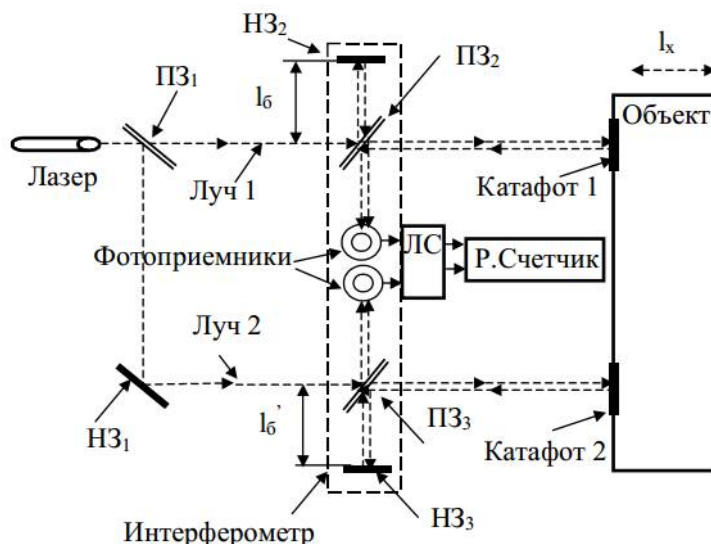


Рис. 2. Лазерная интерференционная система регистрации вибрации

Излучение с 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 отражается ровно на 90° и становится параллельным первому лучу. Далее оба луча попадают на полупрозрачные зеркала, где вновь происходит разделение лучей. При этом лучи прошедшие прямо, попадают на объект измерения и отражаясь от него по средством установленных заранее катафотов, возвращаются обратно в том же направлении в каком попали на объект. Далее посредством еще двух непрозрачных зеркал, происходит сложение лучей, создавая интерференционную картину, которая фиксируется фотоприемниками. Фотоприемники переводят свет в электрический сигнал, который попадает на логическую схему (рисунок 3), где из сигналов 1 и 2 формируются импульсы из передних фронтов, а затем выделяется их совпадение с соседним сигналом. В этой участвуют два элемента «И-НЕ» и четыре элемента «И». 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.

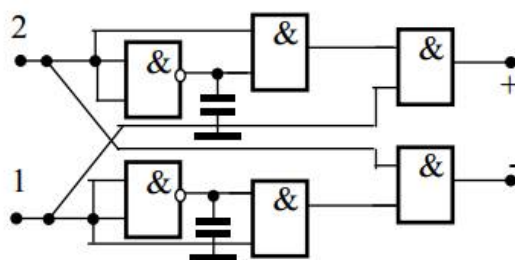


Рис. 3. Логическая схема выделения направления движения

Если в качестве источника используется лазер красного цвета (длина волны примерно равна $0,68 \text{ мкм}$), то интервал квантования становится равным $0,32 \text{ мкм}$, то есть чувстви-

ность интерференционного метода на сегодня является самой высокой из всех методов измерения перемещений.

Однако реализовать подобную чувствительность совсем не просто. Во-первых, любые колебания и вибрации интерферометра относительно объекта более чем на 0,32 мкм приводят к возникновению колебаний с фотоэлемента, которые, без сомнения, начнут подсчитываться счетчиком. Даже неаккуратность обслуживающего персонала могут серьезно сказываться на результате. Для снижения их влияния всю систему из лазера, интерферометра и объекта помещают на единое монолитное основание с мощным фундаментом. Только тогда можно провести прецизионные измерения. Во-вторых, требуются высокая когерентность и стабильность излучения источника света - лазера, ибо любая нестабильность приводит к дополнительным фазовым сдвигам, которые искажают результат измерения. Здесь для повышения устойчивости используют так называемые “цуги” колебаний лазера, то есть цепи периодов колебаний кратковременной стабильности, которые после отражений встречаются на фотоэлементе из одной пачки. Либо применяют все возможные методы по повышению, прежде всего, кратковременной стабильности, а затем уже и долговременной.

Не спадающий интерес к этому направлению остается до сих пор и объясняется это прецизионностью таких измерителей, что позволяет изготавливать высокоточное оборудование, механизмы, станки и инструменты.

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. «Вибрация роторных машин», Гольдин А.С.М.: Машиностроение, 1999. - 344 с
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.
4. 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..

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.15

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ БЕЗМАНЖЕТНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

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

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nadia.yakimenko@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается методика исследования и оценивания погрешности безманжетного метода измерения артериального давления (АД), используемого во время сеанса магнитотерапии.

Ключевые слова: мониторинг артериального давления, фотоплетизмограмма, скорость пульсовой волны, виртуальный прибор (ВП), погрешность измерения.

EVALUATION OF THE METHODOLOGICAL ERROR OF THE NON-CUFF METHOD OF MEASURING ARTERIAL PRESSURE

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

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nadia.yakimenko@yandex.ru*

The summary. The methodology of studying and estimating the error of the non-cuff method for measuring blood pressure (BP) used during a session of magnetotherapy is considered.

Keywords: blood pressure monitoring, photoplethysmogram, pulse wave velocity, virtual instrument (VP), measurement error.

В работах [1-3] рассмотрены вопросы реализации объективного, оперативного и непрерывного метода безманжетного измерения артериального давления (АД) в процессе сеанса общей хрономаннитотерапии. Поскольку определение искомой величины в изложенном методе осуществляется с помощью косвенных измерений, а на конечные результаты оказывают влияние ряд факторов, то необходимо провести исследования по выявлению существенных источников погрешности и оценке их влияния.

Для определения АД используется известная функциональная зависимость, устанавливающая связь между скоростью распространения пульсовой волны (СРПВ) и некоторыми индивидуальными физиологическими показателями пациента в виде уравнения Моенса-Кортевега [4]:

$$V = \sqrt{\frac{hE}{\rho d}}, \quad (1)$$

где V – СРПВ;

h – толщина стенки сосуда;

E – модуль упругости (модуль Юнга) стенки сосуда;

ρ – плотность крови;

d – внутренний диаметр сосуда.

Связь между упругостью сосудов и кровяным давлением определено эмпирическим соотношением [4,5]:

$$E = E_0 e^{\alpha P},$$

где E_0 – начальное давление стенки сосуда;

α – модуль эластичности сосудистой стенки;

P – кровяное давление внутри сосуда.

Тогда уравнение (1) можно записать в следующем виде

$$V = \sqrt{\frac{hE_0}{\rho d} e^{\alpha P}} = \frac{L}{\tau},$$

где L – расстояние, между точками съема пульсовых волн датчиками фотоплетизмограмм (ФПГ) [3];

τ – время распространения пульсовой волны (ВРПВ) от одной точки съема до другой.

После преобразований искомая величина АД P представляется как функция других величин и в том числе ВРПВ τ [6]:

$$P = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{L^2 \rho d}{hE_0} \right) - \frac{2}{\alpha} \ln(\tau).$$

Таким образом, в конечном варианте справедливо выражение

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

где a и b – некоторые постоянные, отражающие индивидуальные физиологические показатели пациента, которые могут быть скорректированы путем предварительной калибровки измерением АД стандартным тонометром перед сеансом магнитотерапии. Значение L также остается постоянным на время сеанса.

Из выражения следует, что изменения АД при мониторинге пациента без воздействия на него магнитным полем в основном вызваны изменениями величины τ , которая в предложенной системе [2] непрерывно измеряется прямым методом.

Чтобы учесть влияние изменений ВРПВ τ необходимо произвести анализ источников появления методической погрешности при измерении τ и ее оценку, основной вклад которой составляет погрешность определения временного положения сигналов ФПГ, регистрируемых датчиками в двух разных точках тела пациента на известном и фиксированном расстоянии L .

Поскольку реальные сигналы ФПГ всегда сопровождаются различного рода помехами, как естественного, так и искусственного происхождения, уровень которых может принимать большие значения, то возникает, прежде всего, задача надежного обнаружения сигналов на временной оси. Для этого необходимо заранее выбрать особые характерные точки на сигналах ФПГ или характерные моменты, являющиеся отличительными признаками полезных сигналов от параметров мешающих помех.

В практике регистрации и анализа измерительных сигналов известны и широко используются ряд таких признаков или функционалов положения (рис. 1):

- превышение заданного порогового уровня сравнения с сигналом $|U(t_n)| \geq U_{i\bar{i}}$;
- максимум первой производной сигнала (наибольшей крутизны сигнала)

$$\frac{dU(t_c)}{dt} = \max \left| \frac{dU(t)}{dt} \right|;$$

- глобальный экстремум сигнала (наибольший максимум) $U(t_c) = \max |U(t)|$;

– максимальное подобие форм двух сигналов (максимум их взаимно корреляционной функции, ВКФ) $K_{U_1 U_2}(\tau) = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} U_1(t) U_2(t + \tau) dt$.

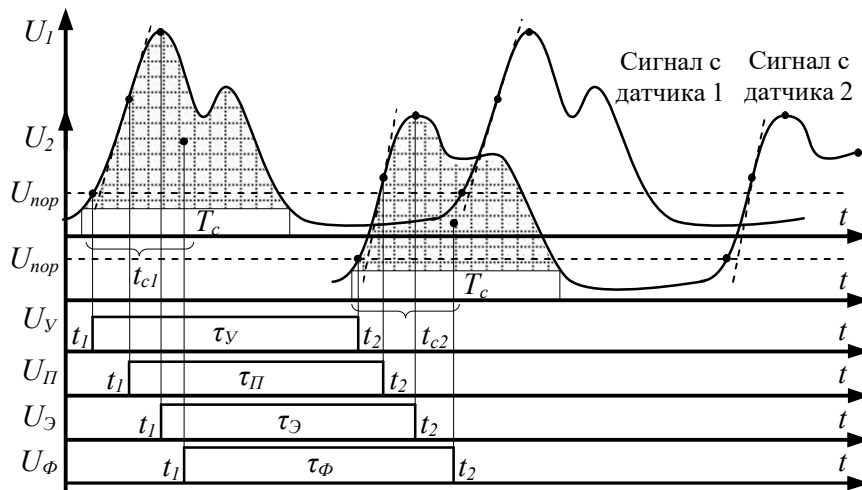


Рис. 1. Сигналы ФПГ и функционалы положения

Процесс выделения характерных точек на сигналах ФПГ помимо влияния случайных помех усложняется еще и высокой степенью изменчивости форм и параметров ФПГ, поскольку регистрируются с различных мест тела пациента, но и в зависимости от цикла к циклу каждого сигнала ФПГ.

Для детального и качественного исследования задач определения временного положения сигналов ФПГ и оценки погрешности применяемых методов разработаны аппаратно-программные средства в виде виртуальных приборов (ВП) в среде LabVIEW (рис. 2). Сред-

ства позволяют гибко моделировать режимы регистрации реальных сигналов, наложения случайных помех с заданными вероятностными характеристиками, методы выделения характерных точек и моментов сигналов. На завершающем этапе исследований производятся оперативные измерения ВРПВ и их количественные оценки погрешностей (среднеквадратических отклонений, СКО).

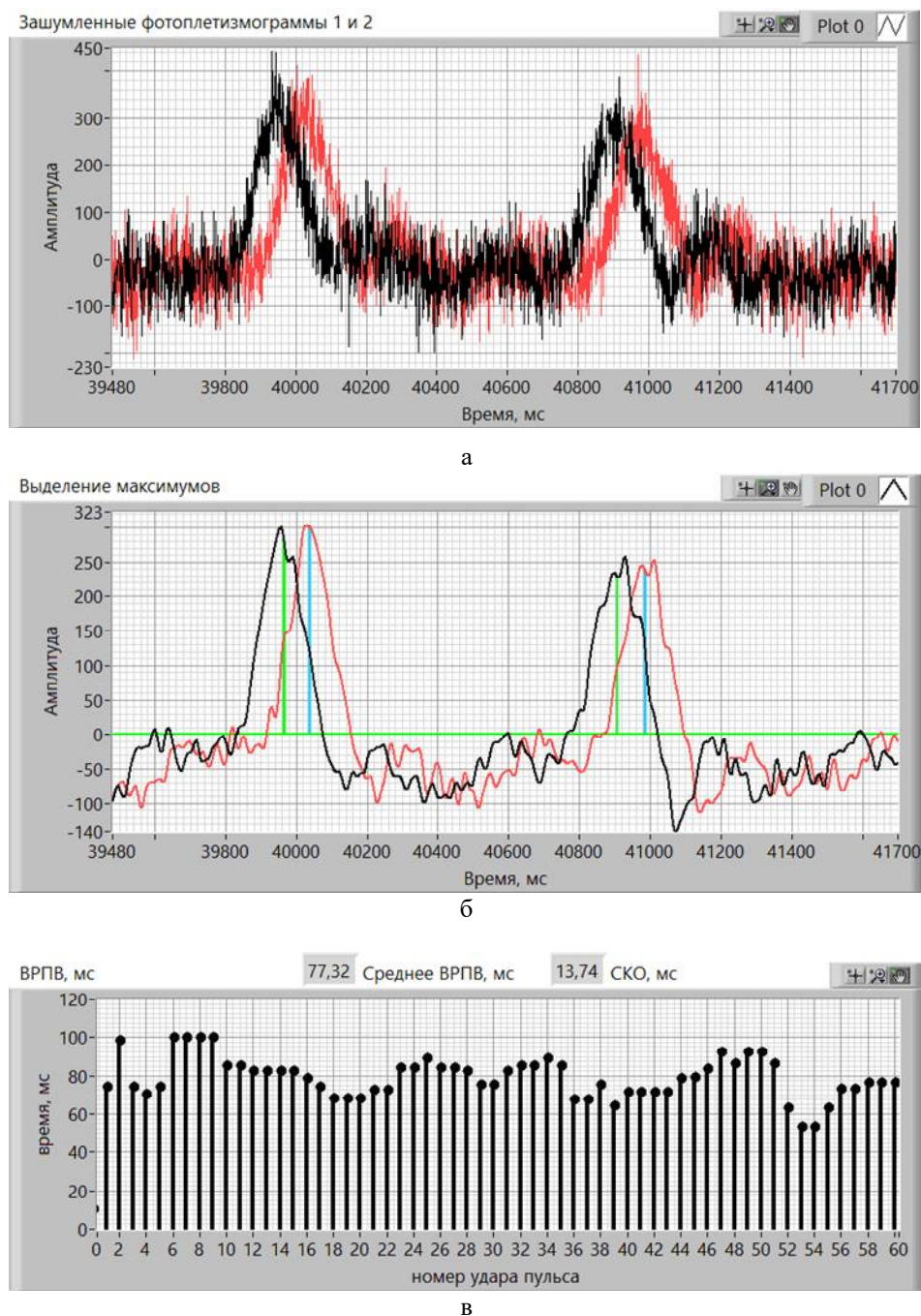


Рис. 2. Лицевые панели ВП для моделирования режимов: а – регистрации сигналов ФПГ и помех; б – предварительной фильтрации и выделения максимумов; в – измерения ВРПВ и оценки погрешности

Результаты проведенных исследований (таблица 1) убедительно показали, что метод на основе максимума ВКФ обладает наилучшими показателями, при прочих равных условиях и заранее известном ВРПВ, 80 мс.

Таблица 2. Измеренные значения ВРПВ и СКО методов

Метод определения временного положения	Среднее ВРПВ, мс	СКО, мс
Пороговым уровнем	79,51	9,51
Максимумом первой производной	80,49	14,92
Максимумом амплитудного значения	77,32	13,74
Максимумом ВКФ	79,87	0,74

Первые три точечных метода оказались очень чувствительны к действию помех, поэтому для них предварительно была еще дополнительно применена фильтрация, снижающая уровень помех до допустимых значений. При этом предложенный алгоритм на основе метода максимума ВКФ сам непосредственно и успешно сглаживает случайные помехи. Эффективность последнего метода объясняется его интегрирующими свойствами, так как в процессе сравнения участвуют не точечные мгновенные значения, а некоторые множества значений, ограниченные кривыми ФПГ на фиксированном интервале времени T_c (рис. 1).

Библиографический список

1. Якименко Н.А., Шуляков А.В., Гуржин С.Г. Непрерывный контроль артериального давления в магнито-терапии безманжетным методом // II Международный научно-технический форум «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. С. 13-17.
2. Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б., Прошин Е.М., Шуляков А.В. Средства регистрации биомедицинских сигналов и контроля функционального состояния пациента в комплексной хрономагнитотерапии // Материалы 8-ой Международной Средиземноморской конференции по встроенным вычислительным системам «МЕСО-19», г. Будва, Черногория, С. 636-639.
3. Якименко Н.А., Шуляков А.В., Гуржин С.Г. Метод и алгоритмы определения времени и скорости распространения пульсовой волны с оценкой точности и помехоустойчивости // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2019 [текст]: сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2019. – 700 с., С. 533-536.
4. Анисимов А.А., Юлдашев З.М., Бибичева Ю.Г. Безокклюзионная оценка динамики артериального давления по времени распространения пульсовой волны // Медицинская техника. № 2. 2014. С. 8-12.
5. Анисимов А.А., Сергеев Т.В. Алгоритм оценки артериального давления по времени распространения пульсовой волны / Экспериментальные исследования систем организма. № 4(40), 2015. С. 57-61.
6. Шульгин В.И. Измерение артериального давления на основе совместной обработки набора физиологических показателей / В.И. Шульгин, Али Джадуей, Д.И. Шульга, К.В. Наседкин, В.В. Федотенко // Клиническая информатика и телемедицина. 2012. № 9. С. 45-50.

УДК 004.891.3; ГРНТИ 28.23.35

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА МНОГОМЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

А.С. Гуржин

Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс» -
Особое конструкторское бюро «Спектр»,
Российская Федерация, Рязань, aleksandr.gurzhin@gmail.com

Аннотация. В работе кратко представлены основные функции системы экспертной оценки измерительной информации от объекта испытаний. Сформулированы задачи по улучшению существующих функций системы, с применением аппарата нечеткой логики, а также рассмотрена постановка задачи прогнозирования.

Ключевые слова: экспертная система, измерительная информация, теория нечетких множеств, информационная гранулированность, обработка данных, диагностика, нечеткая информация, прогнозирование.

EXPERT ASSESSMENT OF MULTIDIMENSIONAL MEASURING INFORMATION WITH USE DEVICE OF FUZZY LOGIC

A.S. Gurzhin

*Corporation «Rocket and Space Center «Progress» - Special Design Bureau «Spectr»,
Russian Federation, Ryazan, aleksandr.gurzhin@gmail.com*

Summary. In work basic functions of system of expert evaluation of measuring information from object of tests are briefly provided. Tasks of improvement of the existing functions of system, using the device of fuzzy logic are formulated, and also the forecasting problem definition is considered.

Keywords: expert system, measuring information, theory of fuzzy sets, information granulirovannost, data handling, diagnostics, fuzzy information, forecasting.

В настоящее время при проведении испытаний подвижных объектов применяются автоматизированные измерительные комплексы и системы, которые в частности контролируют параметры объектов испытаний – температура, давление, электрическое напряжение и др. Полученные в ходе многомерных измерений данные об объекте принимаются системой экспертной оценки (СЭО) информации. Данная система предназначена для автоматизации процессов:

- обработки телеметрической информации (ТМИ) объекта испытаний;
- анализа и оценки результатов испытаний и пуска изделия;
- накопления знаний об изделии (объекте испытаний).

Одной из функций системы экспертной оценки является – допусковый контроль уровней параметров для оперативной оценки работы системы измерений и исходного состояния объекта перед проведением испытаний. Допусковый контроль параметров функционирования изделия производится путем переноса абсолютных измеренных значений контролируемых параметров в область относительных допусковых оценок. По каждому параметру нарабатывается среднее значение, и подсчитываются измерения, выходящие за допуск. По окончании выборки параметров формируется отчет с результатами контроля, представленными в виде заключения: «норма» в случае, когда среднее значение контролируемого параметра попадает в заданный допусковый интервал, либо «ненорма» – в противном случае. На рисунке 1 показано как выглядит окно с отчетом.

Здесь допусковый интервал представлен в виде множества, и задается с помощью характеристической функции теории классических множеств. Данная функция определяется как:

$$\mu(X) = \begin{cases} 1, X \in A \\ 0, X \notin A \end{cases},$$

на графике (рисунок 2) это выглядит следующим образом, где множество A – допусковый интервал.

Контроль - [Отчет_2]

Qt Файл Окно Настройка Справка

Всё

Допусковый контроль исходного состояния

Параметр	Кроссировка	Значение	Ед. изм.	Допуск	Заключение
100%1	MAC1:46	249.501	%	(248..252)	НОРМА (0.2 %)
0%1	MAC1:61	5.000	%	(3..7)	НОРМА (0.1 %)
ДГОЗ	MAC1:1	6.109	%	(1..65)	НОРМА (0.3 %)
ДБОи	MAC1:3	5.701	%	(0.5..11)	НОРМА (0.3 %)
ДВГи	MAC1:4	6.894	%	(0.5..11)	НОРМА (0.3 %)
ДОВДи	MAC1:5	4.897	%	(0.5..11)	НОРМА (0.3 %)
ДГВДи	MAC1:6	4.885	%	(0.5..11)	НОРМА (0.3 %)
ДОПНи	MAC1:7	5.967	%	(3..10)	НОРМА (0.3 %)
ДГПН1и	MAC1:8	6.108	%	(3..10)	НОРМА (0.3 %)
ДГ*К1и	MAC1:11	2.852	%	(3..10)	НЕНОРМА (99.2 %)
ДГ*К2и	MAC1:12	2.851	%	(3..10)	НЕНОРМА (99.6 %)
ДГ*К3и	MAC1:13	3.294	%	(3..10)	НОРМА (0.4 %)
ДГ*К4и	MAC1:14	5.294	%	(3..10)	НОРМА (0.3 %)
ДГНи	MAC1:15	4.887	%	(3..10)	НОРМА (0.3 %)
ДАБи	MAC1:16	10.596	%	(0.5..11)	НОРМА (2.9 %)
НХИТи	MAC1:17	89.724	%	(0..12)	НЕНОРМА (100.0 %)

Подключено...

Рис. 1. Окно с отчетом о результатах допускового контроля

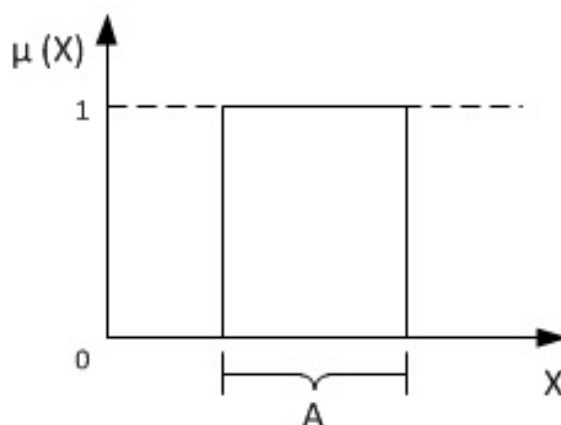


Рис. 2. Графическое представление характеристической функции допускового контроля

Допустим W – множество всех возможных значений контролируемого параметра. Из его элементов образуются другие множества, в том числе A . Тогда функция, значения которой указывают о принадлежности элемента X из W к множеству A и есть характеристическая функция множества A . Ее особенностью является бинарный характер значений.

Информацию в форме отчета (см. рисунок 1) оценивает человек-эксперт и на основании своего опыта дает рекомендации о необходимости каких-либо управляющих воздействий на объект испытаний, либо об отсутствии таковых. Пример: параметр ДБОи (давление в баке блока И) показал «ненорму» – допустим 12, при допуске (0,5...11). Эксперту сначала необходимо оценить значение данного параметра, а затем, используя свои знания дать за-

ключение о необходимости управляющего воздействия – «сравнить» давление в баке блока И. С целью повышения автоматизации диагностики объекта испытаний предлагается применить аппарат теории нечетких множеств [1] в задаче обработки данных.

О применении аппарата теории нечетких множеств можно найти много упоминаний в сферах управления и мониторинга [2, 3]. Но кроме этого, аппарат теории нечетких множеств нашел применение в задачах обработки данных, кластеризации, оптимизации, прогнозирования и др.

Состояние любой системы сопровождается неопределенностью двух видов: неопределенность классификации уровня параметров системы (задача распознавания) и неопределенность о состоянии системы в будущем (задача прогнозирования).

Возникает потребность в эффективном инструменте, который учитывает все имеющиеся в наличии данные, и отражает информацию о степени уверенности эксперта в оценке или прогнозе, для принятия управленческих решений в условиях информационной неопределенности. Формализацией теории нечетких множеств удовлетворяются данные требования. Важнейшим направлением этой теории является нечеткая логика. Данный раздел математики занимается обработкой информации, представленной в виде гранул, имеющих конечную и ненулевую ширину. Такая информация называется нечеткой. Автором этого термина является профессор Калифорнийского университета (Беркли) Лотфи А. Заде (Lotfi A. Zadeh), впервые исследовавший явление информационной гранулированности.

Тогда допусковый интервал можно представить в виде нечеткого множества $\tilde{A}$, которое задается с помощью функции принадлежности:

$$\tilde{A} = \{ \mu_A(X) / X \},$$

где $\mu_A(X)$ – функция принадлежности, а ее величина обозначает субъективную оценку степени принадлежности X множеству A . Например $\mu_A(X) = 0,8$ означает, что X на 80 % принадлежит множеству A . В этом случае график выглядит так:

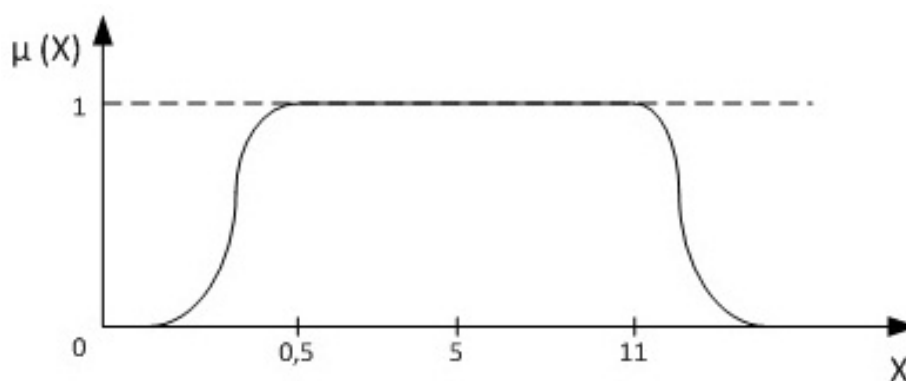


Рис. 3. Графическое представление функции принадлежности

Используя понятие информационной гранулированности, в нашем случае представим допусковый интервал в виде нескольких нечетких множеств (гранул), каждое из которых задается с помощью своей функции принадлежности. Степень гранулированности информации определяется потребностями эксперта, и зависит от контекста, в котором он ее использует. Исследования показали, что среднестатистический человек в состоянии хранить в памяти одновременно от 5 до 9 характеристик объекта. Поэтому стоит заметить, что использование 5-9 информационных гранул для описания любого параметра является вполне достаточным. Применительно к информации, обрабатываемой в СЭО, выделим следующие информационные гранулы: для значений, например, параметров давлений и температур – «ненорма сни-

зу», «критично низкое», «низкое», «нормальное», «высокое», «критично высокое» и «ненорма сверху». Вместе с этим каждое множество (гранула) должна иметь соответствующую цветовую маркировку: «ненорма снизу», «ненорма сверху» – красный цвет; «критично низкое», «критично высокое» – оранжевый цвет; «низкое», «высокое» – желтый цвет и «нормальное» – зеленый цвет. Для значений электрических напряжений достаточно ограничиться пятью гранулами – «ненорма снизу», «низкое», «нормальное», «высокое» и «ненорма сверху» (рисунок 4). Цветовая маркировка следующая: «ненорма снизу», «ненорма сверху» – красный цвет; «низкое», «высокое» – желтый цвет и «нормальное» – зеленый цвет. Тогда отчет с результатами контроля, будет представлен в форме, удобной для восприятия человеком. И эксперту, увидевшему заключение, например: «ненорма сверху» на красном фоне, на интуитивном уровне понятно, что значение данного контролируемого параметра необходимо уменьшить.

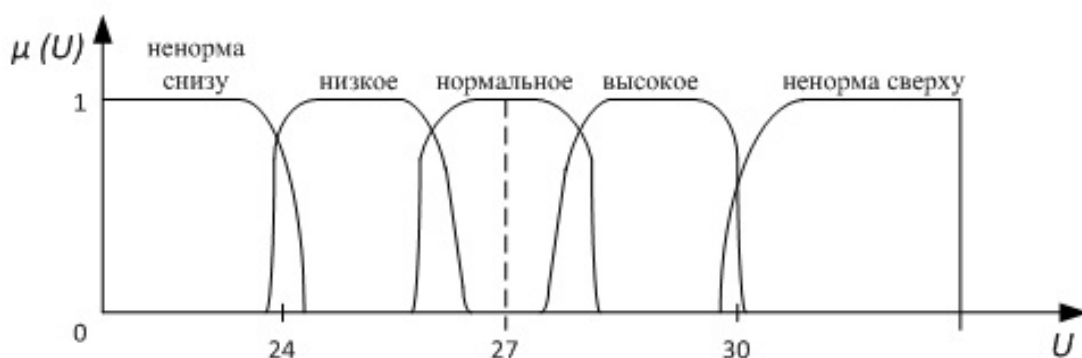


Рис. 4. Информационные гранулы для значений электрического напряжения

Нечеткая формализация критериев оценки и сравнения с оперированием показателями «низкое», «нормальное», «высокое», позволит проводить качественные экспресс-оценки входных данных и выходных результатов с оперированием не только значениями данных, но и их степенью достоверности и ее распределением. Такой подход дает ряд преимуществ: в зависимости от требований к точности диагностики, возможна подстройка уровня гранулированности информации, а с увеличением степени гранулированности могут быть сокращены объемы обрабатываемой и хранимой информации и повышено быстродействие алгоритмов. Кроме того введение нечеткой информации, в будущем позволит организовать автоматическое управление объектом испытаний, непосредственно, без участия человека-эксперта. Например, с применением регуляторов на основе нечеткой логики [4].

Рассмотрим следующую задачу. Другой функцией системы экспертной оценки является – слежение за состоянием узлов и агрегатов объекта испытаний в реальном масштабе времени. Здесь уже осуществляется мониторинг параметров во время испытаний. Несмотря на то, что задача аналогична предыдущей, существует отличительная особенность: в область относительных допусковых оценок переносят не среднее значение, наработанное по каждому параметру в процессе испытаний, а мгновенное измеренное значение. В этом случае эксперт, наблюдая, что какой-либо параметр начинает изменять свою цветовую маркировку и его значение приближается к критичному, может оперативно дать команду на управление объектом, тем самым предотвратив выход значения параметра за допустимый интервал. Отображение в табличном и графическом видах представлено на рисунке 5.

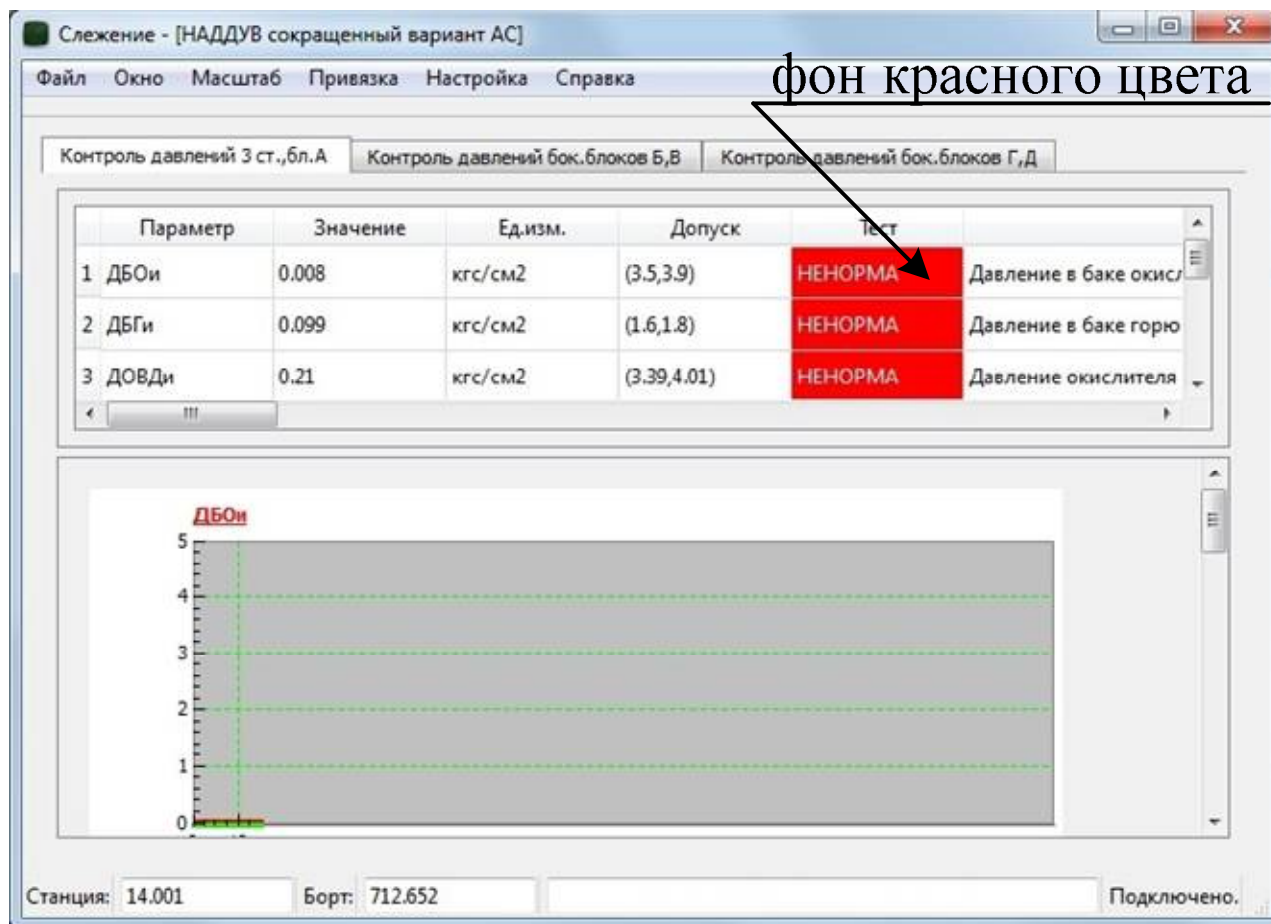


Рис. 5. Отображение в табличном и графическом видах контролируемых параметров

Третьей задачей, которую можно поставить и решить с применением теории нечетких множеств, является – прогнозирование. Так еще одной функцией СЭО является ведение базы знаний, содержащей результаты измерений контролируемых параметров, а также комментарии к результатам измерений. Используя данные из этой базы, целесообразно применить метод прогнозирования, основанный на статистической классификации (распознавание образов). Преимущество такого метода заключается в том, что прогнозирование можно осуществлять с момента проведения однократного контроля объекта диагностики. Кроме того в процессе классификации участвует вся совокупность параметров, определяющих состояние объекта. Постановка задачи прогнозирования в этом случае производится по аналогии, как показано в [5-7]. Практические примеры прогнозирования представлены в [8, 9].

В данной статье рассмотрены три задачи, для решения которых можно применить теорию нечетких множеств. Обозначены преимущества применения аппарата нечеткой логики в обработке и представлении данных. Указаны перспективы развития системы, в случае реализации и внедрения вышеупомянутых подходов к решению задач.

Библиографический список

1. Чернов В. Г. Основы теории нечетких множеств: учебное пособие / В. Г. Чернов; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 96 с. – ISBN 978-5-9984-0055-1.
2. Серебряков А. В., Крюков О. В., Васенин А. Б. Нечёткие модели и алгоритмы управления ветроэнергетическими установками // Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» / под ред. С. Н. Васильева. – М.: ИПУ РАН, 2012. – С. 467 – 469.
3. Крюков О. В., Киянов Н. В. Электрооборудование и автоматизация водооборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями: монография / О. В. Крюков, Н. В. Киянов. – Н. Новгород: НГТУ, 2007. – 260 с.

4. Демидова Г. Л., Лукичев Д. В. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 81 с.
5. Бычков Е. Д. Автоматизированные системы контроля и диагностики РЭС: Учеб. Пособие / Ю. М. Вешкурцев, Е. Д. Бычков. – Омск: ОМГТУ, 2001. – 100 с.
6. Гаскаров Д. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голикевич, А. В. Мозгалецкий; под ред. Т. А. Голикевича. – М. Сов. радио. 1974. – 224 с.
7. Гаскаров Д. В. Вопросы прогнозирования изменения состояния технических объектов / Д. В. Гаскаров. – Л.: Знание, 1968. – 108 с.
8. Крюков О. В. Виртуальный датчик нагрузки синхронных машин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 3. – с. 45 – 50.
9. Киянов Н. В., Крюков О. В., Захаров П. А., Бабичев С. А., Сыса А. Ю. Устройство лингвистического диагностирования отказов асинхронного электропривода. Патент РФ на полезную модель. – RUS № 91636. – Оpubл. 05.10.2009.

УДК 681.586; ГРНТИ 73.49

СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

М.Ю. Акамеев

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, maksim.akameev@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены существующие алгоритмы оценки относительного перемещения мобильного робота на основе данных лазерной сканирующей системы, проведен их анализ и выявлены преимущества и недостатки.

Ключевые слова: лазерный сканер, мобильная роботизированная платформа, ROS.

TYPES OF IMPLEMENTATION OF SYSTEMS FOR ASSESSING RELATIVE MOVEMENT OF A MOBILE ROBOTIZED PLATFORM BASED ON LASER SCANNING SYSTEM DATA

M.Y. Akameev

*Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Russia,
Ryazan, maksim.akameev@mail.ru*

The summary. Some existing algorithms for assessing the relative movement of a mobile robot based on data from a laser scanning system are examined, their analysis is carried out, and advantages and disadvantages are identified.

Keywords: laser scanner, mobile robotic platform, ROS.

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.

Из всех возможных направлений деятельности в данной сфере, было отдано предпочтение позиционированию передвижных платформ в пространстве, так как в настоящее время это одна из наиболее перспективных и изучаемых областей робототехники. Беспилотное управление роботами внедряется во многие сферы деятельности человека и возможно скоро полностью заменит труд людей в определенных отраслях производства и науки.

Для решения задачи беспилотного 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. Возможным решением подобной задачи является использование нави-

гационных систем, а также алгоритмов, способных обрабатывать полученные данные и управлять беспилотным транспортным средством.

Чтобы иметь представление об основных принципах работы подобных систем и алгоритмов, были рассмотрены 3 достаточно популярных алгоритма одновременной локализации и картографирования, а также проведен ряд практических испытаний с ними. Для экспериментов были выбраны: LIMO, VINS-Fusion, A-LOAM.

LIMO. Данный метод переводится как Лидарно-монокулярная зрительная одометрия.

Это алгоритм визуальной одометрии, ориентированный на простую интеграцию следующих ключевых методологий:

- Выбор ключевого кадра;
- Выбор ориентира;
- Предварительная оценка;
- Интеграция глубины от разных датчиков.

В данном алгоритме используется лидар, чтобы извлечь глубину треков для точек, полученных с помощью монокулярной камеры. Дрейф (погрешность) уменьшается с помощью настройки связей изображений на основе ключевых кадров.

Под ключевыми кадрами здесь понимаются экземпляры во времени, которые используются для настройки связки. Один ключевой кадр может включать изображения с нескольких камер одновременно. Выбор ключевых кадров позволяет уменьшить объем избыточной информации при увеличении промежутка времени, охватываемого окном оптимизации, что приводит к уменьшению дрейфа. В данном исследовании был рассмотрен алгоритм, использующий данные с двух камер и одного лазерного сканера, частота обновления кадров которых составляла 10 Гц.

VINS-Fusion. VINS-Fusion является мультисенсорным методом оценки состояния, основанным на оптимизации, которая обеспечивает точную локализацию для автономных транспортных средств (дронов, автомобилей). VINS-Fusion является расширением алгоритма VINS-Mono и поддерживает несколько типов визуально-инерционных датчиков (монокамера + IMU (Инерционное измерительное устройство), стереокамеры + IMU, только стереокамеры).

Особенности данного метода:

- Поддержка нескольких датчиков (стереокамеры / монокамеры + IMU / стереокамеры + IMU);
- Пространственная калибровка в онлайн режиме (преобразование между камерой и IMU);
- Онлайн-калибровка по времени (смещение по времени между камерой и IMU).

В данном случае алгоритм VINS-Fusion был протестирован на данных, записанных с игровой машинки, перемещающейся внутри помещения.

Был рассмотрен алгоритм, который работает на основе данных, полученных с двух камер, частота обновления кадров которых составила 20 Гц.

A-LOAM. LOAM – это метод оценки и картографирования в режиме реального времени с использованием трехмерного лидара. Программа содержит два основных алгоритма, работающих параллельно. «Одометрия» вычисляет движение лидара между двумя развертками с более высокой частотой кадров. Он также устраняет искажения в облаке точек, вызванные движением лидара. Алгоритм «Построение карты» берет неискаженное облако точек и постепенно строит карту, одновременно вычисляя положение лидара на карте с более низкой частотой кадров.

A-LOAM - это усовершенствованная реализация LOAM алгоритма (LOAM – лидарная одометрия и картографирование в режиме реального времени), которая использует библиотеки Eigen и CeresSolver. Благодаря им, код становится простым и понятным и не перегру-

жен сложными математическими формулами и операциями. Это хороший учебный материал и подспорье для тех, кто начинает познавать SLAM алгоритмы.

Простота данного алгоритма во многом определяется тем, что в нем используются данные только с одного лазерного сканера (в данном исследовании Velodyne VLP-16), частота обновления кадров которого составляет 10 Гц.

На основе проделанных исследований можно сделать определенные выводы:

- благодаря совместному использованию лидара и монокулярного зрения, алгоритм LIMO достаточно хорошо показывает себя на различных скоростях движения транспортного средства, а также его точность несильно проседает с увеличением пройденного пути, учитывая, что для моделирования данного алгоритма был взят лог файл, на котором автомобиль проехал почти 1 километр (рис. 1);

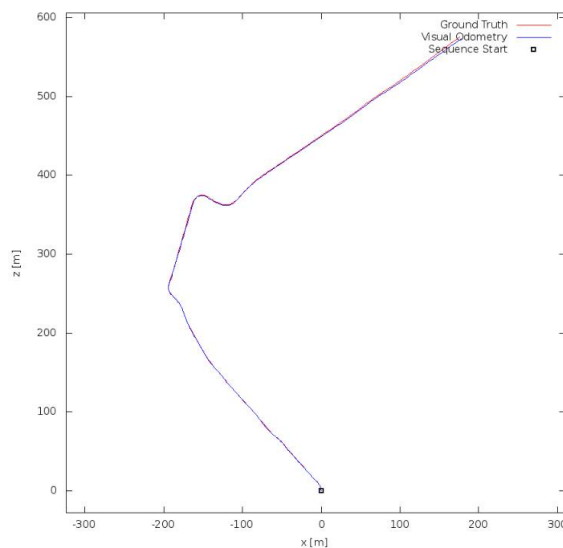


Рис. 1. Полная траектория движения транспортным средством при тестировании алгоритма LIMO

- алгоритм VINS-Fusion отлично показывает себя в помещениях. Даже при достаточно большой скорости движения транспортного средства (около 50 км/ч) ошибки в построении траектории минимальны, хотя результаты хуже, чем у алгоритма LIMO, что неудивительно, так как VINS-Fusion использует для получения данных только камеры. Пройденное расстояние беспилотного транспортного средства при тестировании данного алгоритма составило 500 метров (рис. 2);

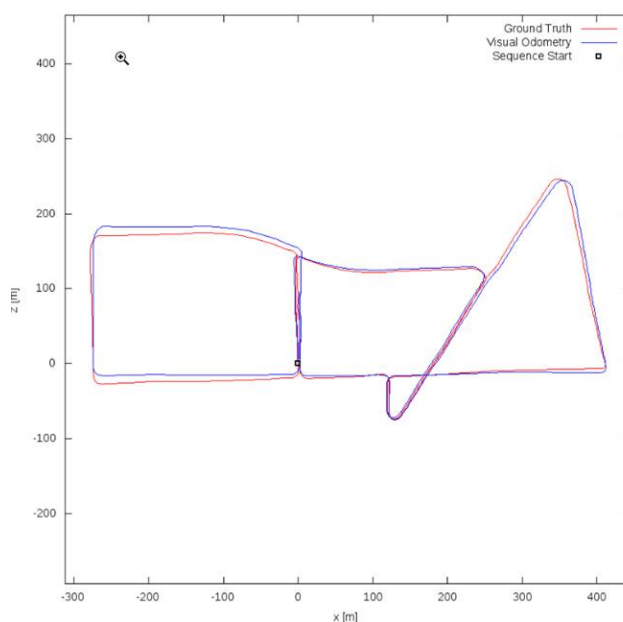


Рис. 2. Полная траектория движения транспортным средством при тестировании алгоритма VINS-Fusion

- A-LOAM является SLAM алгоритмом, использующим для локализации транспортного средства в пространстве и построения карты данные одометрии и информацию, полученную с лазерного сканера VLP-16. Он показывает неплохие результаты, однако с увеличением пройденного расстояния растет и накапливаемая ошибка в построении траектории. Это существенно сказывается на точности данного алгоритма. Пройденный путь мобильным роботом в процессе эксперимента составил около 200 метров (рис. 3).

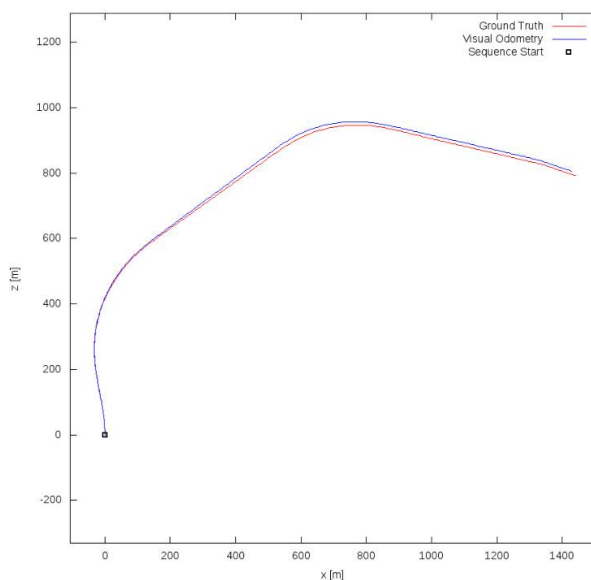


Рис. 3. Полная траектория движения транспортным средством при тестировании алгоритма A-LOAM

Библиографический список

1. MorganQuigley, EricBerger, AndrewY. Ng. STAIR: Hardware and Software Architecture. California: Stanford University. – 2007. – P. 31-37.
2. Tim Bailey, Hugh Durrant-Whyte. Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM): Part II State of the Art. – Sydney: The University of Sydney. – 2006. – P. 1-4.
3. Richard Szeliski. Computer Vision - Algorithms and Applications. – 2010.
4. Documentation – Ros Wiki. – URL: <http://wiki.ros.org/> - Accessed: 10.02.2020.

УДК 618-7:615.471; ГРНТИ 59.37.31

ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО КАНАЛА ТЕМПЕРАТУРЫ В ГИСТЕРОСКОПИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

А.Н. Муфаздалова, А.А. Порунов

*Казанский национальный исследовательский университет КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, mufazdalova98@mail.ru*

Аннотация. В данном докладе описывается возможность расширения функциональных возможностей проведения гистероскопических исследований с помощью введения в комплекс дополнительного оптического-электронного канала термометрии, структурно построенного на основе анализа градиента температурного поля сканируемой поверхности эндометрия, совершающего вращательное и возвратно-поступательное движение в полости матки.

Ключевые слова: бесплодие, эндометрий, температура, пирозлектрик.

SUBSTANTIATION OF INTEGRATION OF THE OPTICAL-ELECTRONIC CHANNEL TEMPERATURES IN HYSTEROSCOPIC EQUIPMENT

A.N. Mufazdalova, A.A. Porunov

*National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,
Russia, Kazan, mufazdalova98@mail.ru*

The summary. This report describes the possibility of expanding the functionality of hysteroscopic studies by introducing into the complex an additional optical-electronic channel of thermometry, structured based on majority logic. The possibility of using a thermal probe to determine the pathological process based on the analysis of the temperature field gradient of the scanned surface of the endometrium that performs rotational and reciprocating movement in the uterus is described.

Keywords: infertility, endometrium, temperature, piezoelectric.

На сегодняшний день демографическая ситуация в мире является одной из острейших проблем общества. Естественный прирост населения в экономически развитых странах продолжает уменьшаться, также эта проблема актуальна и для России. По исходным оценкам ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), бесплодны 5% популяции по различным причинам. В мире около 48,5 млн. бесплодных пар. Из них 19,2 млн. испытывают трудности с рождением первенца. В России вторичное бесплодие охватывает 3,2% всех женщин 20-44 лет (для сравнения: в США, Норвегии и Финляндии эта доля – 1%, то есть втрое ниже). Первичное бесплодие в России – 1,9% [1]. Государство материально стимулирует общество, вводя с 2018 года ежемесячные выплаты с рождением первенца, продлевая программу материнского капитала до 2031-го года, а также с 2020-го года материнский капитал выплачивается и за первого ребенка.

Под бесплодием понимается отсутствие на протяжении 2-ух лет и более беременности у женщины, регулярно живущей половой жизнью и не принимающей противозачаточных средств. Среди большого спектра болезней, приводящих к бесплодию, отдельной группой выделяют патологии связанные с внутренней поверхностью матки, эндометрием, так как туда прикрепляется эмбрион. То есть эндометрий – посадочный плацдарм для оплодотворенной яйцеклетки, поэтому оценка его состояния – один из важнейших параметров при оценке состояния репродуктивной системы. Алгоритм обследования эндометрия представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Алгоритмы клинико-морфологического обследования эндометрия

Самым информативным среди технических методов диагностики патологий женской половой системы, а именно тела матки и эндометрия, является гистероскопическое исследование [1]. Благодаря этому методу легко выявляются такие заболевания, как эндометриоз, полипы эндометрия, субмукозная миома матки, рак эндометрия и др. Гистероскопические установки в сравнении с другим техническим оборудованием обладают рядом преимуществ: возможность параллельно с диагностикой проводить малые оперативные манипуляции; отсутствие перфорации органов; высокая точность диагностических исследований.

Применение радиометров инфракрасного (ИК) излучения открывает возможности диагностики различных медицинских заболеваний, так как этот способ позволяет бесконтактно и точно измерять температуру в труднодоступных участках поверхностей биологических объектов. Изучение температурных изменений в тканях матки (эндометрия) может дать дополнительную информацию при диагностике женских болезней.

Основными причинами повышения локальной температуры в биологических объектах являются воспаление любого генеза, при котором происходит локальное расширение микроциркуляторного русла, и злокачественные новообразования, в которых также активируются обменные процессы [1]. Принцип термометрической диагностики заключается в сравнении температур в симметричных точках или температуры над патологическим очагом и непосредственно прилегающей здоровой ткани. В норме разница между двумя точками не превышает $0,3 - 0,4^{\circ}\text{C}$.

Одно из наиболее информативных среди технических методов диагностики патологий женской половой системы, а именно тела матки, является гистероскопическое исследование, которое позволяет с помощью оптической системы провести визуальный осмотр поверхности эндометрия.

Введение канала термометрии в гистероскопическое оборудование позволит точно определять очаги воспаления на самом раннем этапе, что в результате может позволить избежать оперативных вмешательств, так как возможно будет предложен консервативный метод лечения.

Для повышения достоверности термометрии можно использовать несколько каналов измерения: волоконно-оптический и пирометрический.

Пирометрический метод измерения основывается на использовании в качестве термодатчика материала, который обладает пирозлектрическими свойствами, так как на его поверхности будет образовываться сигнал в ответ на изменение температуры [2]. Пирометр можно представить в виде конденсатора, электрически заряжающегося во время поглощения

теплового потока. Структурная схема работы канала термометрии на основе пирометрического метода измерения температуры представлена на рис.2.

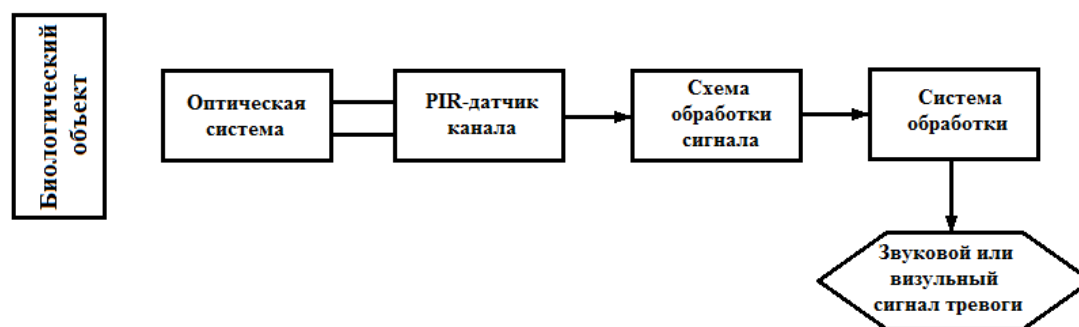


Рис. 2. Структурная схема включения пирометрического датчика в канал термометрии гистероскопического оборудования

Благодаря тому, что измерить температуру можно несколькими способами, то образуется совокупность информационных выходов. Тогда появляется возможность использовать мажоритарную логику, так как тогда с большей точностью можно будет определить, есть ли точечное повышение температуры или нет. Кворирование данных позволит выявить, сколько из каналов сработало на повышение, а блок тревожной сигнализации проинформирует специалиста о нахождении предварительно определенного патологического очага. После данной процедуры, врач сможет осмотреть нужную область прецизионно с помощью видеокамеры.

Основываясь на статистических данных из работы [3] необходимый диапазон температур, который должен воспринимать пирометрический датчик – 35-38°C. Необходимо также учитывать, когда именно проводится исследование, потому что базальная температура зависит также от дня цикла женщины. Это связано с различным гормональным фоном во время, до и после менструаций. При рассмотрении спектрального состава ИК излучения, испускаемого человека при температуре тела 36.4°C [4]. Отчетливый максимум виден в области длин волн 10мкм.

Таким образом, добавление температурного канала в гистероскопическое оборудование позволит выявить различные заболевания на ранних этапах, что позволит предотвратить возможное бесплодие в перспективе. Кворирование данных даст возможность повысить достоверность измерения температурного поля внутренней поверхности матки.

Библиографический список

1. Соболевская О.В. Бесплодие – тенденции мировые и российские [Электронный ресурс] // URL: <https://iq.hse.ru/news/177669397.html>.
2. Анисимова Н.В. Термометрия как метод функциональной диагностики/ Известия ПГПУ. – 2007. - № 5. – С. 36-38.
3. Казолова О.А. Тепловидение в оценке эффективности восстановительных мероприятий в ревматологии//Вестник новых медицинских технологий. -2013.- № 1. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/teplovidenie-v-otsenke-effektivnosti-vosstanovitelnyh-meropriyatiy-v-revmatologii-nauchnyy-obzor-literatury>
4. Ураков А.Л., Уракова Н.А., Касаткин А.А., Дементьев В.Б., Сойхер М.Г., Сойхер Е.М. Цифровая инфракрасная термография как метод лучевой диагностики будущего. Фундаментальные и прикладные науки сегодня. – 2013. С.31-34.

УДК 681.2; ГРНТИ 90.03

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ООО «МГК «СВЕТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В.В. Ядвиго, А.В. Губарев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vera.yadvigo@yandex.ru*

Аннотация. В работе вопросы организации метрологического обеспечения на предприятии. Предлагаются мероприятия по совершенствованию метрологического обеспечения.

Ключевые слова: измерительное оборудование, испытания, качество, метрологическое обеспечение, поверка.

ANALYSIS OF THE ACTIVITY OF LLC "MGK "LIGHT TECHNOLOGIES" IN THE FIELD OF METROLOGICAL SUPPORT

V.V. Jadvigo, A.V. Gubarev

*Ryazan state radio engineering University named After V. F. Utkin,
Ryazan, Russian Federation, vera.yadvigo@yandex.ru*

The summary. The paper deals with the organization of metrological support at the enterprise. Measures are proposed to improve metrological support.

Keywords: instrumentation, testing, quality, measurement assurance, calibration services.

Проблема качества является довольно сложной и многоаспектной. Она подлежит решению на всех стадиях жизненного цикла продукции. Важную роль в ее решении играет метрологическое обеспечение. В тоже время, для результативного функционирования, предприятие должно управлять каждым процессом в отдельности, а также взаимосвязанными и взаимодействующими процессами в целом.

Для обеспечения и дальнейшего улучшения качества продукции необходимо чтобы предприятие обладало всей необходимой документацией и оборудованием, отвечающими последним веяниям времени. При этом документацию нужно периодически совершенствовать и дополнять. Это существенно улучшит качество производимой продукции и увеличит конкурентоспособность выпускаемой продукции в глазах покупателей.

В настоящее время компания «Световые Технологии» – крупнейший производитель и поставщик светотехнических решений. Основная сфера деятельности – разработка и производство светильников общего и специального назначения для внутреннего и наружного освещения. На сегодняшний день под торговой маркой «Световые Технологии» на собственном производстве выпускается более 9000 модификаций световых приборов для различных областей применения - от административных и офисных зданий до промышленных объектов и стадионов.

Производство компании «Световые технологии» имеет сертификат, подтверждающий соответствие системы менеджмента качества международному стандарту ISO 9001:2015. Сертификационный аудит осуществлялся аудиторами Санкт-Петербургского филиала классификационного и сертификационного общества «Det Norske Veritas» (Норвегия). Общество «DNV» основано 1864 году, является одной из крупнейших международных сертификационных организаций и имеет в настоящее время представительства в более чем ста государствах мира [1].

С того времени компания не раз подтверждала соответствие СМК и тем самым обеспечила себе статус конкурентоспособного предприятия не только региона, но и страны.

Анализ деятельности компании «Световые технологии» в области метрологического обеспечения показал, что в целях содействия своевременному проведению поверки инструментов и измерительных приборов, используемых на производстве, назначается ответственное лицо, которое также следит за их состоянием и отвечает за соответствие метрологическим правилам и нормам. Этот сотрудник ведет учет оборудования, которое задействовано в технологическом процессе, вносит информацию о нем в сводный реестр с указанием сроков

поверки. Из данного реестра видны сроки проведения следующей поверки всего измерительного оборудования предприятия. Ответственный передает инструменты и делает оповещение исполнителю о необходимости выполнения данной процедуры. Услуги в сфере обеспечения единства измерений (проведение поверки, калибровки средств измерений, эталонов единиц величин, аттестации испытательного оборудования, ремонта) оказываются специальной организацией на основании договора.

После проведения поверки предприятие получает соответствующие документы на приборы, если они прошли необходимые испытания, либо же они могут быть признаны не годными, в таком случае их ремонтируют, либо списывают и утилизируют.

Каждый новый прибор, введенный в эксплуатацию на предприятии, также заносится в реестр с указанием сроков поверки.

Также, хотелось бы отметить, что на предприятии имеется два блока с оборудованием, это производственные площади и испытательные лаборатории, в каждом из которых ведется свой реестр.

На предприятии используется рабочая инструкция RU-Z-R №08 RI-10-05.19 (учет, хранение и выдача мерительного инструмента). Она описывает порядок учёта, хранения и выдачи мерительного инструмента в ООО «МГК «Световые Технологии» [2]. Также есть Правила RU-Z-R №08 PR-16-05.8 (хранения и использования оснастки, приспособлений и инструмента). В них устанавливается порядок и ответственность служб предприятия при хранении и использовании в производстве пресс-форм, штампов, приспособлений, оснастки как отечественных, так и импортных производителей в Рязанском филиале ООО «МГК «Световые Технологии» [3].

В период разработки светодиодных осветительных приборов их подвергают различным испытаниям по ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011 (Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний). Проверку работоспособности оборудования осуществляют с помощью Регламента RU-Z-R №08 R-66-05.5. После того, как светильники созданы, их передают в независимую аккредитованную лабораторию для проведения сертификации и оценки соответствия требованиям.

Сами светильники выпускают на основе ТУ, на каждую группу светильников технические условия свои. Например, для централизованных систем аварийного освещения используют ТУ 3416-17-44919750-13 [4].

На этапе производства светильников также проводятся испытания, в том числе приемосдаточные. Они включают в себя выходной контроль и инструментальные испытания. Светильники подвергают проверке на работоспособность, непрерывность цепи заземления и пробой изоляции.

На предприятии также имеется тестовая станция. Это специальная установка для подтверждения соответствия. Для нее разработана рабочая инструкция (RU-Z-R №08 RI-14-05 по работе с тестовой станцией GPT-79804). В документе приведен общий вид установки, а также пошаговое описание различных тестирований с наглядными фотографиями [5].

Также для подтверждения соответствия светильников осуществляются замеры световой температуры, коэффициента пульсации и напряжения. По результатам делают соответствующие выводы.

Таким образом, для оптимизации деятельности предприятия в области управления средствами мониторинга и измерений можно предложить ввести автоматическое оповещение о ближайшем наступлении сроков поверки оборудования, занесенного в реестр. Автоматизация данного процесса приведет к сокращению затрат времени сотрудника, ответственного за это, а также освободит от возможных упущений и случайных ошибок.

Еще одним фактором, повышающим качество выпускаемой продукции и оптимизирующим деятельность предприятия, являются испытания, связанные с замерами световой температуры, коэффициента пульсации и напряжения. Они, в отличие от испытаний на работоспособность, не являются обязательными, но уже доказано временем, что их проведение значительно сокращает количество рекламаций от потребителей.

Также для оптимизации деятельности на предприятии создан каталог несоответствий, который постоянно дополняют и актуализируют с появлением нового оборудования, технологий и конфигураций светильников. Помимо перечня несоответствий с их наглядной иллюстрацией в каталоге указаны правила списания продукции, в том числе допустимый уровень несоответствий, в целях упрощения работы персонала. По результатам внедрения каталога был проведен анализ, который выявил положительные тенденции в работе предприятия. Благодаря приведению документации к виду, соответствующему каталогу несоответствий, были выявлены основные причины брака продукции и разработаны проекты мероприятий по их устранению. Внедрение данных проектов уже дало положительный эффект в виде сокращения брака и улучшения значений целевых показателей предприятия.

Проводя различные испытания на подтверждение соответствия, оптимизируя процессы на предприятии, вводя новые технологии, автоматизацию, каталог несоответствий, несомненно, можно добиться обеспечения качества продукции и повышения конкурентоспособности.

Библиографический список

1. <http://www.ltcompany.com>.
2. RU-Z-R №08 RI-10-05.19 Рабочая инструкция. Учет, хранение и выдача мерительного инструмента Рязанский филиал ООО «МГК «Световые Технологии», Рязань, 2017.
3. RU-Z-R №08 PR-16-05.8 Правила хранения и использования оснастки, приспособлений и инструмента ООО «МГК «Световые Технологии», Рязань, 2017.
4. ТУ 3416-17-44919750-13 Централизованные системы аварийного освещения ООО «Завод «Световые Технологии», Рязань, 2013.
5. RU-Z-R №08 RI-14-05 Рабочая инструкция по работе с тестовой станцией GPT-79804 Рязанский филиал ООО «МГК «Световые Технологии», Рязань, 2016.

УДК 312.6-056.22; ГРНТИ 76.13.15

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ОКСИМЕТРИИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ НАСЫЩЕНИЯ КИСЛОРОДОМ

А.А. Платон

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, allenschweik@gmail.com*

Аннотация. Рассмотрен способ измерения SpO_2 с помощью пальцевых, лобных и ушных зондов, а затем сравнивали со стандартным значением насыщения артериальной крови кислородом (SaO_2).

Ключевые слова: артериальная кровь, оксиметрия.

PULSE OXYMETRY ACCURACY MEASUREMENT IN DETERMINING OXYGEN SATURATION

A.A. Platon

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, allenschweik@gmail.com*

The summary. A method for measuring SpO_2 using finger, frontal and ear probes was considered, and then compared with the standard value of arterial blood oxygen saturation (SaO_2).

Keywords: arterial blood, oximetry.

Пульсоксиметрия - это простой и неинвазивный метод, используемый для изучения насыщения кислородом (SpO_2) в различных частях тела. Использование пульсоксиметрии эффективно для ускорения отлучения от искусственной вентиляции легких и экстубации и снижает частоту кровотечений для анализа газов артериальной крови (ABG), потому что для

пациентов, которые просто нуждаются в проверке на насыщение кислородом, пульсовая оксиметрия может быть подходящей альтернативой. Удобное использование, скорость и высокая точность выявления гипоксии и постоянного наблюдения за пациентами - другие особенности пульсоксиметрии. Это устройство определяет количество оксигемоглобина и деоксигенированного гемоглобина в артериальной крови и показывает его как насыщение оксигемоглобином (SpO_2), что является косвенной оценкой насыщения артериальной крови кислородом (SaO_2). Нормальное количество SpO_2 у здоровых людей составляет от 97% до 99%, которые обычно определяют по калибровочной кривой пульсоксиметра изображенной на рисунке 1.

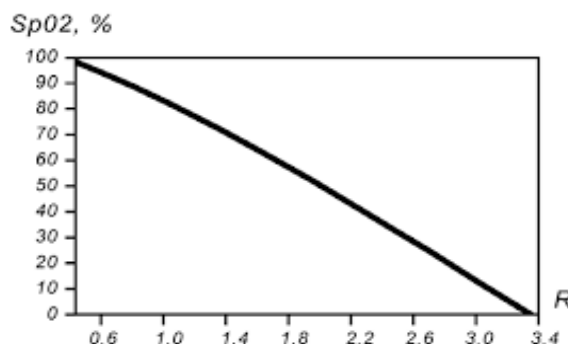


Рис. 1. Калибровочная кривая пульсоксиметра

Если SaO_2 составляет от 70% до 100%, количество SpO_2 имеет высокую точность и на 2% отличается от количества SaO_2 , полученного из анализа ABG. Тем не менее, у более тяжело больных пациентов количество ошибок пульсоксиметрии составляет 7,2%. На точность устройства могут влиять различные факторы, в том числе физиологические, экологические, технологические сбои и ошибки человека.

Методика пульсовой оксиметрии основана на использовании принципов фотоплетизмографии, позволяющих выделить артериальную составляющую абсорбции света для определения оксигенации артериальной крови. Измерение этой составляющей дает возможность использовать спектрофотометрию для неинвазивного мониторинга сатурации (насыщения) артериальной крови кислородом. В соответствии с методикой фотоплетизмографии участок тканей, в котором исследуется кровоток, располагается на пути луча света между источником излучения и фотоприемником датчика, изображенном на рисунке 2.

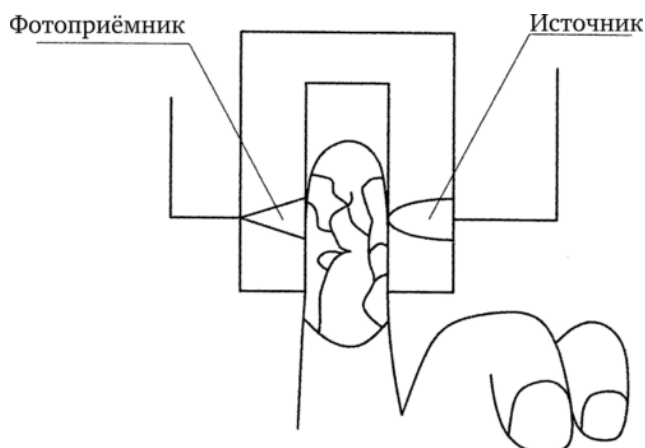


Рис. 2. Датчик фотоплетизмограммы при исследовании кровотока в пальце руки

Для неинвазивного определения оксигенации крови в рабочую область фотоплетизмографического датчика помещается участок тканей, содержащий артериальные сосуды. В

этом случае сигнал с выхода датчика, пропорциональный абсорбции света, проходящего через ткани, включает две составляющие: пульсирующую компоненту, обусловленную изменением объема артериальной крови при каждом сердечном сокращении, и постоянную “базовую” составляющую, определяемую оптическими свойствами кожи, венозной и капиллярной крови и других тканей исследуемого участка, показанном на рисунке 3.

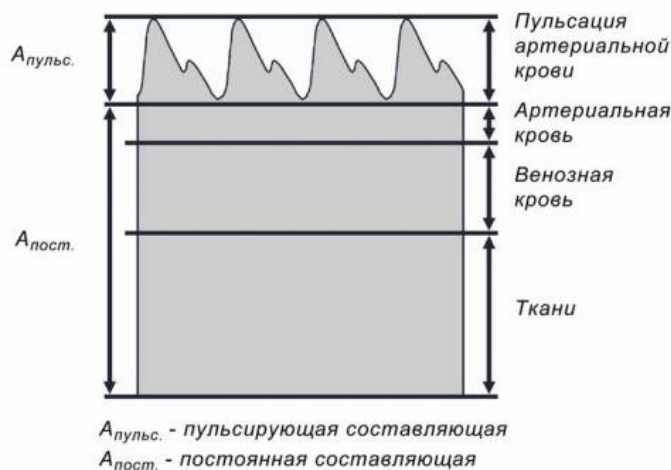


Рис. 3. Распределение абсорбции света в тканях

В этом исследовании зонды мочки уха имели самое высокое клиническое согласие с SaO_2 и более высокую точность из-за меньшей средней разницы и ограниченного доверительного интервала, следующего за зондами пальцев, пальцев ног и лба. Результаты исследования указали, что пульсовая оксиметрия зонда ушной раковины имела более высокую точность по сравнению с пульсовой оксиметрией зондов пальцев рук и ног при выявлении гипоксемии у детей и младенцев. Кроме того, было показано, что пульсовая оксиметрия зонда пальца имеет наименьшее согласие с SaO_2 . Однако при сравнении ушных и лобных зондов у пациентов, перенесших коронарную хирургию, имеют более высокое клиническое согласие по сравнению с ушным зондом, чем лобный зонд. Также есть исследования на точность пульсоксиметра у пациентов, получающих лекарства, влияющие на диаметр сосудов, и ушной зонд пациентов, получающих лекарства, влияющие на диаметр сосуда, не был надежным для мониторинга SaO_2 . По этому измерение насыщения кислородом с помощью пульсового оксиметра может зависеть от состояния пациента. Зонд мочки уха это подходящий метод у пациентов под наркозом из-за высокой скорости обнаружения SaO_2 . Также зонд мочки уха был более правильным методом по сравнению с зондом пальца из-за большей чувствительности к периферической гипоксии при обнаружении SaO_2 у пациентов с апноэ или гипотермией.

Тем не менее, другие исследования имеют разные результаты, основанные на состоянии пациентов. В исследовании, посвященном сравнению методов, оценивали соответствие между значениями SpO_2 с помощью пульсоксиметров на основе цифровых и лобных импульсов у пациентов с низким сердечным индексом, они предложили использовать зонд лба у этих пациентов, поскольку периферический кровоток и температура тела снижаются. У пациентов в критическом состоянии, перенесших хирургическое вмешательство или с травмой, подверженной риску периферической гипоперфузии, соотношение SpO_2 с помощью зонда на лбу было более точным, чем на пальце. Однако не существует подходящего метода для установки датчика пульсоксиметра у детей с цианотической болезнью сердца из-за их специфического состояния, чтобы показать точное значение SpO_2 . Тем не менее, датчик ноги может быть более подходящим в этом отношении. Изучение влияния размещения на точность и надежность датчика пульсового оксиметра у детей с цианотической болезнью сердца помогло обнаружить, что если $SaO_2 \leq 90\%$, датчик стопы имеет худшую точность и надеж-

ность. Кроме того, независимо от количества SaO_2 , не было различий между датчиками пальцев рук и ног с точки зрения точности и надежности.

Хотя точность пульсовой оксиметрии снижается у пациентов с тяжелой и быстрой десатурацией O_2 , низким кровяным давлением, температурой тела, дисгемоглобинемией и сниженными условиями перфузии крови, пульсовая оксиметрия мочки уха более точна и надежна в отношении этих изменений. Зонд мочки уха можно рассматривать как правильный метод пульсовой оксиметрии, поскольку в зонде мочки уха движение тела ограничено, а риск снижения перфузии тканей повышен. Таким образом, относительно важности постоянного мониторинга и поддержания гемодинамической стабильности у пациентов, перенесших операции на сердце и, учитывая результаты исследования, зонд мочки уха можно использовать в качестве правильного метода для изучения насыщения кислородом у пациентов, перенесших операции на сердце.

Результаты исследования показали, что зонд мочки уха имел более высокую точность в показателе SpO_2 среди пациентов, поступивших в отделение интенсивной терапии для кардиохирургии по сравнению с пальцем, ноги и лбом зондов и полученным SpO_2 значения мочки зонда приближены к SaO_2 , полученной из теста ABG. Таким образом, зонд мочки уха можно использовать в отделениях интенсивной терапии для измерения насыщения периферической крови кислородом.

Библиографический список

1. Энциклопедия клинических лабораторных тестов под ред. Н. Тица, М., Лабинформ, 1997 г.
2. Медицинские лабораторные технологии и диагностика, под ред. А.И. Карпищенко. Справочник, т 1, С. Петербург, 1998 г.
3. Микрокомпьютерные медицинские системы: Проектирование и применение. / Под ред. Томпкинса У., Уэбстера Дж. Пер. с англ. - М.: Мир, 1983
4. Пульсоксиметрия: физические принципы и применение в медицине, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, 2008 г.

УДК 53.082; ГРНТИ 620.17.08

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОНУСА МЫШЦ НА ОСНОВЕ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА

Н.А. Шилин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nikita-red96@mail.ru*

Аннотация. В данной статье представлена разработка системы, предназначенной для измерения тонуса мышц. В настоящее время данное направления является перспективным в разных областях приборостроения, разрабатываемая система, востребована в медицине для диагностики состояния пациента.

Ключевые слова: тензодатчик, тонус мышц, миотонограф.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING TONUS OF MUSCLES BASED ON A TENSOR RESISTANCE SENSOR

N.A. Shilin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nikita-red96@mail.ru*

The summary. This article presents the development of a system designed to measure muscle tone. Currently, this direction is promising in various areas of instrumentation, the system being developed, which is in demand in medicine for diagnosing the patient's condition.

Keywords: strain gauge, muscle tone, myotonograph.

За последние несколько десятилетий человеческое общество все больше и больше переходит на малоподвижный образ жизни, это связано с технологическим прогрессом. Большинство людей проводят большую часть своего дня, не выполняя упражнения, заставляющие мышцы тела работать в полном объеме. Именно различные физические нагрузки позволяют организму сжигать большое количество калорий и поддерживать мышцы в тонусе. В связи с этим измерение тонуса мышц у современного человека является одним из важнейших показателей его здоровья. Для суставов человека и их защиты от резких или неестественных движений и биомеханической нагрузки важен хороший тонус мышц. Также поддержание хорошего тонуса мышц необходимо для повышения уровня силы и улучшение состояния дыхательной и сердечнососудистой систем. Именно для определения тонуса мышц и необходим разрабатываемый прибор, в основу которого и входит тензорезистивный датчик.

В своей работе тензодатчики используют люди различных профессий: медики, химики, проектировщики, инженеры, биологи, продавцы, строители, конструктора и многие другие.

Каждое тензометрическое оборудование или прибор обязательно должен включать в свой состав тензодатчик (один или несколько). В зависимости от назначения тензометрического прибора определяется его тип. Наибольшее распространение тензодатчики имеют в весовом оборудовании. Существует несколько тензодатчиков следующих типов:

- балочный тип;
- тип "Single point";
- S образные тензодатчики (датчики растяжения-сжатия);
- мембранного типа (датчики сжатия);
- типа колонна (датчики сжатия) и другие.

В ходе разработки системы измерения тонуса мышц было решено использовать тензорезистивные датчики балочного типа. В качестве упругого элемента тензодатчики данного типа имеют балку равного сечения. Применяемость датчик балочного типа состоит в том, что один край балки закрепляется жестко, а к противоположному краю прикладывается некоторое усилие. Датчики балочного типа обладают свойством нечувствительности к смещению линии действия силы и отличаются улучшенной линейностью и повторяемостью.

Работа тензорезистивного датчика балочного типа основана на преобразовании механической деформации сдвига (или изгиба) в пропорциональный электрический сигнал.

Схема датчика силы с упругим элементом балочного типа с постоянным сечением показана на рисунке 1.

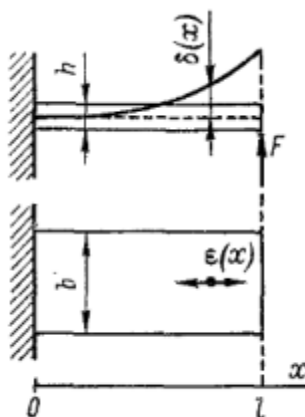


Рис. 1. Схема датчика силы с упругим элементом балочного типа с постоянным сечением

Стоит отметить, что значение относительного удлинения датчика балочного типа не должно превышать 0,1%. Данное ограничение вводится в связи с тем, что упругий элемент

датчика обладает гистерезисом, ползучестью, а также стоит отметить, что на датчик балочного типа действуют факторы окружающей среды.

Материала для упругого элемента тензодатчика прекрасно подходит пружинно-рессорная сталь. Одним из плюсов такой стали является то, что при небольших пластических деформациях она обеспечивает высокое сопротивление. Такое свойство пружинно-рессорной стали позволяет повысить точность, надёжность и долговечность в работе упругого элемента датчика.

Для того, чтобы провести расчеты конструкции упругого элемента датчика балочного типа необходимо знать значение модуля Юнга (E). Модуль Юнга описывает свойства материалов при упругой деформации противостоять растяжению или сжатию.

Для разработки прибора, предназначенного для измерения тонуса мышц, были предложены следующие условия:

- упругий элемент длиной $L = 90$ мм;
- максимальное значение измерений $m = 20$ кг;
- относительное удлинение $0,1\%$
- упругий элемент шириной $B = 20$ мм

Значение силы, приложенной к упругому элементу вычисляется по второму закону Ньютона : $F = mg$, где m - масса допустимой нагрузки датчика ($m = 20$ кг), g - ускорение свободного падения на поверхность Земли ($g = 9,80665$). Значение механической деформации консольной балки датчика определяется следующим выражением:

$$\varepsilon(x) = \frac{(6 * F * L) * \left(1 - \frac{X}{L}\right)}{E * B * H^2},$$

где L - это длина упругого элемента;

B - ширина упругого элемента;

X - расстояние на консольной балке до тензорезистивного датчика;

H - высота упругого элемента.

Так как все перечисленные выше параметры известны, можно вычислить высоту упругого элемента H :

$$\begin{aligned} 10^{-3} &= \frac{6 * 200 * 0,09}{2,15 * 10^{11} * 0,02 * H^2}; \\ 10^{-3} &= \frac{108}{4300 * 10^6 * H^2}; \\ 0,25 * 10^3 &= \frac{1}{H^2}; \\ H^2 &= 0,4 * 10^{-4}; \\ H &= 0,63 * 10^{-2}; \\ H &= 6,3 * 10^{-3} \text{ м.} \end{aligned}$$

Далее необходимо определить деформацию растяжения упругого элемента датчика постоянного сечения для того, чтобы определить место крепления тензодатчика, наклеив на него четыре тензорезистора.

На рисунке 2 схематично представлена упругая консольная балка постоянного сечения с наклеенными на нее тензорезистивными датчиками. Также на данном рисунке показано нахождение тензорезистивных датчиков относительно места закрепления упругой консольной балки.

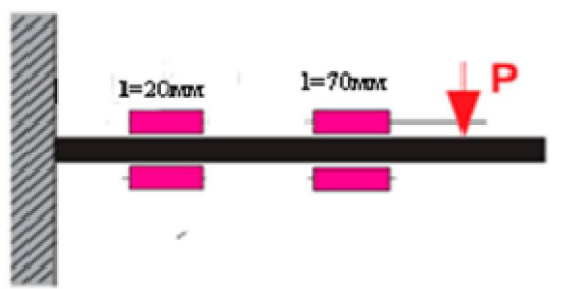


Рис. 2. Схематичное представление упругой консольной балки постоянного сечения с нанесенными на нее тензорезистивными датчиками

Деформация растяжения упругого элемента консольной балки постоянного сечения в местах крепления тензорезисторов определяется следующим образом:

При $L = 20$ мм:

$$\begin{aligned}\varepsilon(x) &= \frac{6 * 200 * 0,78}{2,15 * 10^{11} * 20 * 10^{-3} * (6,3 * 10^{-3})^2}; \\ \varepsilon(x) &= \frac{0,936 * 10^3}{43 * 10^8 * 6,3 * 10^{-6}}; \\ \varepsilon(x) &= \frac{0,936 * 10^3}{270,9 * 10^2}; \\ \varepsilon(x) &= 3,5 * 10^{-4}.\end{aligned}$$

При $L = 70$ мм;

$$\begin{aligned}\varepsilon(x) &= \frac{6 * 200 * 0,23}{43 * 10^8 * (6,3 * 10^{-3})^2}; \\ \varepsilon(x) &= \frac{0,276 * 10^3}{270,9 * 10^2}; \\ \varepsilon(x) &= 1,02 * 10^{-4}.\end{aligned}$$

Также стоит отметить, что деформация сжатия имеет такое же значение по модулю, как и деформация растяжения. Но деформация сжатия имеет отрицательное значение.

Таким образом, рассчитав и проанализировав получившиеся значения механической деформации упругого элемента датчика постоянного сечения, необходимо сделать следующий вывод, что наибольшее относительное удлинение происходит в том месте, где упругий элемент крепится к опоре, а чем ближе к концу упругого элемента, тем меньше степень гибкой деформации.

Библиографический список

1. Цифровые измерительные устройства: учеб. пособие / Е.М. Прошин; Рязанский государственный радио-технический университет. – Рязань: 2011, 224с. ISBN 978-5-7722-0292-0
2. Л. Ф. Васильева «Прикладная кинезиология. Восстановление тонуса и функций скелетных мышц» / Л. Ф. Васильева. – Москва: Эксмо – 2018 - 304с
3. Ф. Шарифуллин учебное пособие «Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы» / Ф. Шарифуллин, И.Абдуллин, Е.Панкова – Казань: БИБКМ 2011. – 106 стр.

УДК 611.89; ГРНТИ76.13.33:59.37.31

ТЕРМОКАРТИРОВАНИЕ КОЖИ ГОЛОВЫ С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ЭПИЛЕПТИЧЕСКОГО ПРИПАДКА

С. Нориега, А.Н. Муфаздалова, М.М. Тюрина

*Казанский национальный исследовательский университет КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, haroldnorieg4@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются причины возникновения эпилептических припадков. Приводится анализ возможных предикторов. Показана возможность термокартирования для диагностики эпилептических припадков. Приведены результаты структурного построения измерительного канала.

Ключевые слова: эпилепсия, предикторы, энцефалограмма, термокартирование, терморезистор, комбинированные электроды.

THERMAL MAPPING OF THE SCALP IN ORDER TO DETECT THE ORIGIN OF AN EPILEPTIC SEIZURE

С. Нориега, А.Н. Муфаздалова, М.М. Тюрина

*Kazan National Research University KNITU - KAI named after A.N. Tupolev,
Russia, kazan, haroldnorieg4@gmail.com*

The summary. This work discusses the causes of epileptic seizures. The analysis of possible predictors is given. The possibility of thermal mapping for the diagnosis of epileptic seizures is shown. The results of the structural construction of the measuring channel are presented.

Keywords: epilepsy, predictors, encephalogram, thermal mapping, thermistor, combined electrodes.

Эпилепсия является одним из наиболее распространенных заболеваний нервной системы человека, снижающих качество жизни людей, от которой страдает около 50 миллионов человек во всем мире [1]. Эпилептический припадок сопровождается потерей сознания, судорогами, тряской, выделением пены изо рта, а при особо тяжелых приступах может возникать тошнота, онемение конечностей, нарушение сердечного ритма и дыхания. Все вышеперечисленное приводит к инвалидизации человека, снижению качества его жизни. Достаточно часто несчастные случаи во время эпилептиформной активности (ЭФА) приводят к смерти. По разным источникам от 5 до 11% смертей происходят в результате эпилептических приступов. Риск травматизации, не приводящей к летальному исходу также велик. При опросе 344 пациентов, имевших хотя бы один приступ за год, предшествующий исследованию, выяснено, что 29% обследованных перенесли за этот период какую-либо травму, связанную с приступом.

В связи с этим актуальна разработка медицинского оборудования, которое позволит диагностировать момент начала ЭФА, во время которой происходит избыточная активация глубоких отделов мозга из-за неправильной работы нейронов. Точная причина патологической активности нейронов до сих пор не ясна, но можно точно сказать, что в какой-то момент времени “обычный” электрический импульс, который пришел к бешеному нейрону, возбуждает его больше, чем здоровый нейрон при прочих равных условиях. Это возбуждение передается дальнейшей сети нейронов и вызывает припадок.

Исходя из этого, важным направлением в изучении эпилепсии является экспресс-нахождение локализации бешеных нейронов для дальнейшего воздействия на них. На рис.1. показан вариант локализации эпилептического очага в головном мозге человека.

Результаты электроэнцефалографических исследований показывают работу генерируемых в головном мозге электрических импульсов посредством снятия биопотенциалов с поверхности кожного покрова головы. Для определения расположения эпилептогенного очага используют методы магнитно-резонансной и компьютерной томографии. К сожалению,

использование КТ и МРТ не всегда своевременно, так как аппараты в больницах работают “круглосуточно” и пациентам приходится долго ждать своей очереди.

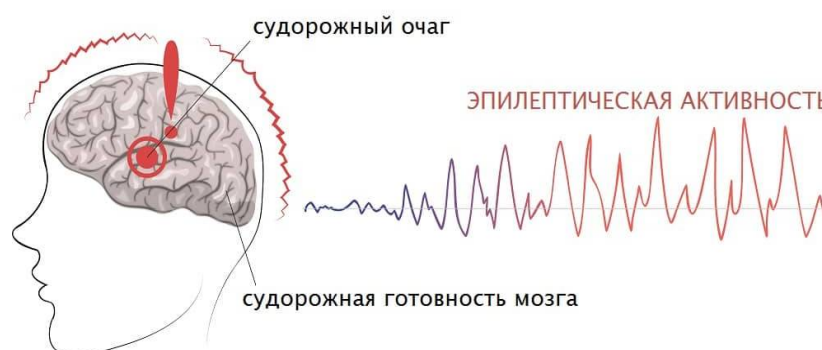


Рис.1. Вариант локализации эпилептического очага в височной доле головного мозга

Мозг человека относится к метаболическим органам, характеризующимся интенсивным тепловыделением, а также высокой чувствительностью к колебаниям температуры в отношении его функциональной активности и энергоэффективности. Поэтому температура является довольно информативным параметром оценки работы мозга, так как она в значительной степени зависит от суммарных эффектов: метаболизма мозга, мозгового кровотока, объема и температуры крови. Зарождение фокального припадка вызывает увеличение местного церебрального обмена и кровотока. Последние данные указывают на то, что небольшие температурные градиенты, генерируемые в аксонных окончаниях при активации белков, разобщающих мозг, могут напрямую модулировать пресинаптические и постсинаптические события, поскольку диффузия и конвекция нейротрансмиттеров зависят от температуры [2].

Основываясь на вышеизложенном, перспективным направлением в прогнозировании оценки возникновения эпилептических припадков является снятие температурного поля с поверхности головы [3].

При определении теплового поля головного мозга с целью обнаружения эпилептиформной активности необходимо разработать канал комбинированной электродной схемы, способный измерять градиент температуры. Среди всего многообразия существующих методов и средств измерения параметров температурного поля можно выделить: термодатчики; терморезисторы; Z-преобразователи.

В работе для измерения градиента температуры предложено использовать терморезистивные датчики с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), поскольку они обладают рядом преимуществ перед другими термодатчиками, среди которых можно назвать следующие [4]:

- большой температурный коэффициент сопротивления;
- широкий диапазон значений сопротивления;
- широкий выбор форм и размеров, обеспечивающий удобство монтажа в различных механических конструкциях;
- способность выдерживать электрические и механические перегрузки.

На рисунке 2 представлена функциональная схема разрабатываемого канала определения теплового поля системы. Самым первым элементом, необходимым для получения аналогового сигнала, является сам чувствительный элемент канала, функция которого заключается в преобразовании температуры в изменение электрического сопротивления. Далее при помощи мостовой схемы изменение сопротивления преобразуется в напряжение, то есть

в электрический сигнал. Так как этот образовавшийся электрический сигнал очень маленький для аналого-цифрового преобразователя его необходимо усилить, для этого используется неинвертирующий усилитель. После усиления сигнал поступает на фильтр нижних частот, эффективно пропускающий частотный спектр сигнала ниже частоты среза и подавляющий частоты сигнала выше этой частоты.

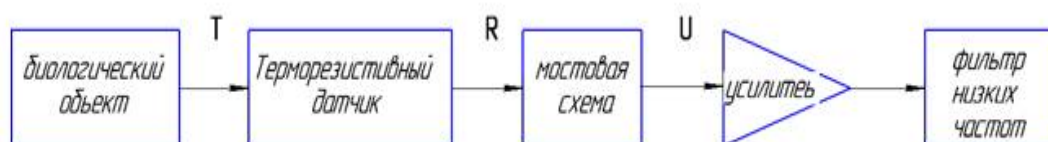


Рис. 2. Функциональная схема канала определения теплового поля головного мозга: Т - условный сигнал температуры; U - сигнал преобразованного напряжения; R - сигнал изменения сопротивления

При снятии биопотенциалов головного мозга используется стандартный шлем, электроды в котором расположены по схеме «10-20». Так как в планах разработка биканальной системы, то конструкция электрода и его корпуса для измерения температуры также должны подходить для размещения в шлеме, используемом для ЭЭГ. Стандартная схема расположения «10-20» оптимальна для проведения термокартирования, так как полученные данные можно будет сравнить с результатами ЭЭГ в этих же точках. Более того эта схема удобна, так как охватывает все области головного мозга.

Таким образом, в работе обоснована необходимость разработки устройства диагностики эпилептических припадков, определены предикторы контроль за которыми позволит своевременно диагностировать и подавлять приступы, представлены результаты системотехнической разработки канала определения теплового поля головного мозга.

Библиографический список

1. KirbyS, SadlerRM. Injury and death as a result of seizures. *Epilepsia* 1995; 36:25-8.
2. Horvath T. L., Warden C. H., Hajos M., Lombardi A., Goglia F., Diano S. (1999). Brain uncoupling protein 2: uncoupled neuronal mitochondria predict thermal synapses in homeostatic centers. *J. Neurosci.* 19. – Pp. 10417–10427.
3. С. Нориега Термокартирование поверхности кожи головы как предиктор эпилептической активности // Сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2019», 4-6 декабря 2019 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2019. – С. 609-611.
4. Мэклин Э.Д. Терморезисторы: пер. с англ./Под общей редакцией К. И. Мартюшова. М.: Радио и связь, 1983. – 208с

УДК 618.5-07; ГРНТИ 76.13.33

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ АКУШЕРСКОГО МОНИТОРА

А.Р. Гизамова, А.А. Порунов

*Казанский национальный исследовательский технический университет им А.Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, qwerty171198@mail.ru*

Аннотация. В данной работе исследовалась разработка программно-алгоритмического обеспечения работы системы идентификации опасных ситуаций (ИОС), реализованная на концепции распознавания момента приближения слабости родовой деятельности на основе метода «эталонной модели».

Ключевые слова: акушерство, родовспоможение, акушерский монитор.

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN THE CONCEPT OF CONSTRUCTION OF A REFERENCE MODEL OBSTETRIC MONITOR

Gizamova A.R., Porunov A.A.

*Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev,
Russian Federation, Kazan, qwerty171198@mail.ru*

The summary. In this work, we studied the development of software and algorithmic support for the work of the system for identifying dangerous situations (ios), implemented on the concept of recognizing the moment of approaching the weakness of labor activity based on the "reference model" method.

Keywords: obstetrics, obstetric care, obstetric monitor.

Материнская и перинатальная смертность является одной из наиболее важных критериев оценки социально-экономических, политических и экологических факторов, воздействующих на состояние здоровья населения. Анализ демографической ситуации в нашей стране за последние 10-15 лет показывает непрерывное возрастание роли фетального мониторинга в снижении не только материнской и перинатальной смертности, но и более успешном сохранении здоровья матери и ее будущего ребенка. Одним из главных факторов, определяющих течение и исход родов, является сократительная деятельность матки (СДМ). Важность и сложность проблемы определяется высокой частотой возникновения аномалий СДМ, а также многообразием последствий их неблагоприятных влияний на организм матери и плода. Нарушения СДМ представляют собой самое частое осложнение родового акта, они регистрируются в среднем в 16-20% случаев, причем в последние годы этот показатель имеет тенденцию к росту. Поэтому необходимо исследование возможности совершенствования устройства для контроля и прогнозирования состояния системы «мать-плод» за счет введения блока тревожной сигнализации, а, следовательно, и снижение риска необратимых явлений в процессе родовспоможения.

Проблемным моментом в процессе родов в большинстве случаев является возникновение слабости родовой деятельности (дистоции). Для решения данной проблемы в структуру устройства для контроля и прогнозирования состояния системы «мать-плод» в процессе родовспоможения вводится канал контроля сократительной деятельности матки. В работах [1-3] показано, что контроль параметров электрогистерографического канала, позволяющего определить момент наступления дистоции, базируется на использовании блока тревожной сигнализации интегрального типа, построенного на принципах комплексной обработки потока первичных сигналов о состоянии физиологических систем роженицы. Также в процессе родовспоможения необходимо учитывать конкретные особенности каждой пациентки. Перспективным направлением при разработке программно-алгоритмического обеспечения работы системы идентификации опасных ситуаций (ИОС) является реализация концепции распо-

знания момента приближения слабости родовой деятельности (дистоции) на основе метода «эталонной модели». Он заключается в текущем контроле отклонения параметров состояния системы "мать-плод" от математической модели этой системы, полученной на основе предварительных диагностических исследований во время последнего триместра.

В разработке программно-алгоритмического комплекса системы ИОС особое значение уделяется реализации концепции идентификации момента приближения дистоции на основе метода «эталонной модели» [4-5], суть которого состоит в текущем контроле отклонения параметров состояния СМП от математической модели этой системы (по результатам оценки сократительной деятельности матки), полученной на основе предварительных диагностических исследований, проведенных во время последнего триместра. Структурная схема взаимодействия системы СМП с информационными каналами цифровой обработки в рамках предложенной концепции построения акушерского монитора представлена на рис.1.

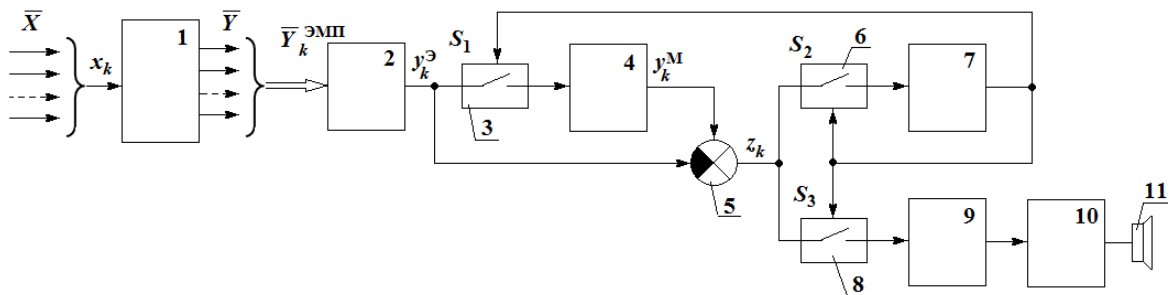


Рис. 1. Структура канала распознавания опасных ситуаций на основе метода эталонной модели:

$\bar{X}$ – массив входных сигналов (параметры окружающей среды),

$\bar{Y}$ – массив параметров состояния СМП [3]; 1 – СПМ;

2 – блок датчиков и цифровой обработки сигналов о параметрах состояния СМП;

3, 6, 8 – ключи S_1 , S_2 , S_3 ; 4 – эталонная модель;

5 – элемент сравнения, формирующий оценку отклонения z_k параметров эталонной модели y_k^M от текущих параметров состояния СМП – $y_k^Э$;

7 – анализатор оценки порогового уровня отклонения z_k (компаратор, управляющий состоянием ключей S_1 , S_2 , S_3 ;

9 – вычислитель критерия ошибки $I(a, b)$; 10 – монитор;

11 – звуковой сигнализатор превышения порогового значения $I(a, b)$.

Идентификация параметров системы «мать-плод» (СМП), которую можно отнести к динамическим объектам [4-5], осуществляют по результатам входных и выходных сигналов, которые соответствуют параметрам состояния физиологических систем роженицы. Связь между этими сигналами может быть представлена в виде эталонной модели. Для выбора нужной нам модели, необходимо провести сравнительный анализ известных моделей. В нашем случае это параметрические модели, к которым принято относить математическое описание на основе внутренней структуры или состояния СМП. Выбор такой модели является одним из наиболее ответственных этапов, в значительной степени определяющий эффективность решаемой задачи, например, выявление момента приближения дистоции.

Схема структурного построения математической модели идентификации процессов, протекающих в СМП при родовспоможении, приведена на рисунке 1.

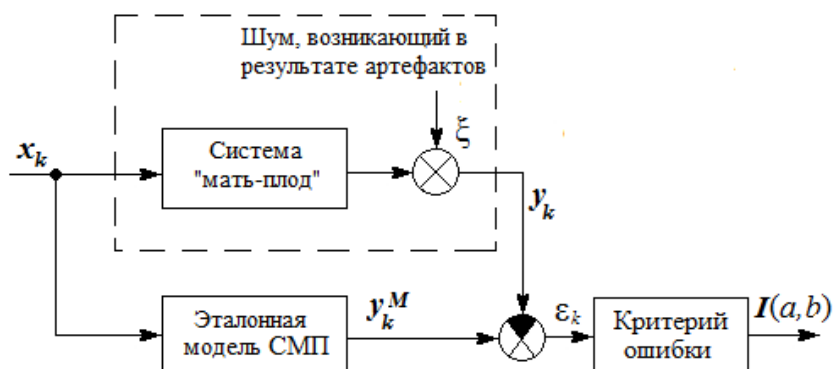


Рис. 1. Структура математической модели канала идентификации:

y_k^M – выходной сигнал модели, отражающий, например, процессы, протекающие при сократительной деятельности матки; x_k, y_k – входные и выходные сигналы объекта идентификации отклонений в сократительной родовой деятельности, проходящей в СМП; ϵ_k – ошибка идентификации; $I(a, b)$ – выбранный критерий.

Алгоритм работы канала системы идентификации момента возникновения слабости родовой деятельности [6]:

$$\begin{cases} R_y[k] = \sum_{j=k}^M b_j R_{xy}[k-j] - \sum_{i=k}^N a_i R_y[k-i], & k=1,2,\dots,N; \\ R_{xy}[-k] = \sum_{j=k}^M b_j R_x[k-j] - \sum_{i=k}^k a_i R_{xy}[-k-i], & k=0,1,\dots,M, \end{cases} \quad (1)$$

где $R_x[k]$ – автокорреляционная функция дискретных отсчетов x_i входного сигнала;
 $R_y[k]$ – автокорреляционная функция дискретных отсчетов y_i выходного сигнала;
 $R_{xy}[k]$ – взаимокорреляционная функция отсчетов входного и выходного сигнала.

Эти функции отражают влияние дестабилизирующих климатических факторов на функционировании системы «мать-плод» и реакцию этой системы.

Таким образом, представленный алгоритм работы канала системы выявления дистонии позволит проводить оперативный автоматизированный расчет параметров системы «мать-плод». А также разработанная структурная схема эталонной модели системы «мать-плод» позволяет решать задачу идентификации момента приближения слабости родовой деятельности по результатам оценки отклонений параметров сократительной деятельности матки от параметров эталонной модели, и тем самым позволяет снизить риск летальных исходов.

Библиографический список

1. Пушкова А.С., Порунов А.А., Тюрина М.М. Разработка принципов и схем построения отечественного акушерского монитора нового поколения. // Труды Международной НПК «Научные аспекты современных исследований». – Уфа, 2015. – С.46-51.
2. Пушкова А.С., Порунов А.А., Тюрина М.М. Аналитическое обоснование состава и структуры многоканальной системы автоматизированного мониторинга процессов родовспоможения. // Sciences of Europe (Прага), Vol 2. – №6, 2016. – С.42-44.

3. Патент на изобретение РФ № 2568254 20.11.2015 (по заявке 2014106016/14 от 18.02.2014). «Устройство контроля и прогнозирования состояния системы «мать-плод» в процессе родовспоможения»/Авт. Порунов А.А., Тюрина М.М., Пушкова А.С. Опубл. в бюл. № 32, 2015.
4. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80с.
5. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. М.: Энергия, 1979. – 240с.
6. В.П. Шкодырев корреляционный метод идентификации на основе параметрических моделей. // // Сб. науч. трудов "Датчики систем измерения, контроля и управления", Пенза, 1988. – С. 68-72.

УДК 615.47; ГРНТИ 76.13.19

КАНАЛ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОСТИНСУЛЬТНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

А.Р. Габдрахманова, М.М. Тюрина

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, alsu-g15@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются методы реабилитации в период реабилитации больных в постинсультный период, показана перспективность применения магнитного поля для ускорения регенерационных процессов. Рассмотрены особенности проведения магнитотерапии. Обоснована необходимость введения в систему дополнительного канала контроля величины магнитной индукции, реализованного на датчике Холла, предложен вариант построения канала.

Ключевые слова: инсульт, реабилитация, измеритель величины магнитной индукции, датчик Холла.

MAGNETIC INDUCTION SIZE CHANNEL OF THE SYSTEM FOR POST-STRESS REHABILITATION

A.R.Gabdrakhmanova, M.M. Tyurina

National Research Technical University named after A. N. Tupolev,
Russia, Kazan, alsu-g15@mail.ru

The summary. The paper discusses methods of rehabilitation during the rehabilitation of patients in the post-stroke period, shows the prospects of using a magnetic field to accelerate regenerative processes. The features of magnetotherapy are considered. The necessity of introducing into the system an additional channel for monitoring the magnitude of the magnetic induction implemented on the Hall sensor is justified; a channel construction option is proposed.

Keywords: stroke, rehabilitation, magnetic induction meter, Hall sensor.

В рейтинге причин смертности населения лидируют сердечно-сосудистые заболевания. По оценкам Всемирной организации здравоохранения в 2016 году от болезней сердца умерло 17,9 миллионов человек. Причина 85% всех этих смертей – инфаркты и инсульты. Наиболее частым заболеванием является острый ишемический инсульт. Причиной этого внезапного состояния является острая недостаточность или полное прекращение кровоснабжения какой-либо области головного мозга. Это происходит вследствие сильного сужения просвета сосуда, пораженного атеросклеротическими бляшками, закупорке артерии тромбом или холестериновым отложением. В России эта проблема особенно актуальна. Смертность от инсульта – 175 случаев на 100000 населения в год [1]. Национальная Ассоциация по борьбе с инсультом приводит следующие данные: 31% пациентов, перенесших инсульт, нуждаются в специальном уходе, 20% не могут самостоятельно ходить и всего 8% могут вернуться к прежней полноценной жизни. После перенесенного инсульта пациенты очень часто нуждаются в основательной и длительной реабилитации.

В современной медицине используют различные методы реабилитации после инсульта: физические и механические методы реабилитации, массаж, нетрадиционные методы лечения, психотерапия, логопедическая помощь, лечебная физкультура, реконструктивная хи-

рургия, протезно-ортопедическая помощь, санаторно-курортное лечение, технические средства реабилитации [2]. В последние годы в отечественной клинической практике все чаще применяют физиотерапию, и, в частности, магнитотерапию [3]. Это связано тем, что медикаментозное лечебное воздействие часто приводит к побочным эффектам и аллергическим реакциям. Использование низкочастотного магнитного поля обладает противовоспалительными, гипотензивными, вазоактивными, противоотечными, трофическими, гипокоагулирующими и нейротропными лечебными эффектами. Магнитотерапия ускоряет регенерационные процессы, усиливает местный кровоток, улучшает кровоснабжение внутренних органов. В периферических сосудах из-за расслабления гладких мышц низкочастотные поля обладают также гипотензивным действием. Эти поля играют важную роль в снижении свертывающей активности крови, в улучшении ее реологических свойств, в повышении сосудистой и эпителиальной проницаемости. При проведении низкочастотной магнитотерапии курсом в крови увеличивается плотность эритроцитов и содержание гемоглобина, а следовательно, костный мозг увеличивает свою деятельность. Как правило, при низкочастотной магнитотерапии отмечают усиление фагоцитарной активности лейкоцитов [4]. Магнитное поле воздействует преимущественно на периферическую нервную систему. Действие полей влияет на скорость проведения импульсов по нервным волокнам, а именно увеличивает ее, что приводит к повышению их возбудимости и уменьшению периневрального отека тканей.

Эффективность транскраниального метода (ТкМТ) при проведении реабилитации зависит от типа инсульта и локализации очага поражения: у больных с ишемическим инсультом при локализации в полушарии достоверное клиническое улучшение, подтвержденное нейрофизиологически, происходит при последовательном применении низкочастотной магнитотерапии и дециметроволновой (ДМВ) терапии. У больных с ишемическим инсультом при локализации в стволе положительное влияние на психомоторное восстановление оказывает магнитотерапия, ДМВ-терапия при транскраниальном применении не влияет на восстановление таких больных. Импульсное магнитное поле обладает регенерирующим действием в отношении нервной ткани, а также максимальной проникающей способностью, и поэтому непосредственно влияет на ткани мозга [5].

Вышеуказанные свойства ТкМТ подтверждают необходимость разработки и оптимизации аппаратов для реабилитации после перенесенного инсульта методом магнитотерапии. Транскраниальная методика в постинсультный период подразумевает воздействие на ткани головного мозга, поэтому очень важно правильно выбрать параметры магнитного поля и дозировку воздействия. Даже очень малое отклонение от этих параметров может привести к нежелательным последствиям и ухудшению состояния пациента. При этом возникает задача разработки системы для постинсультной реабилитации с возможностью контроля терапевтического воздействия магнитного поля (его параметров и режимов работы).

Анализ существующих аналогов показал, что в качестве чувствительного элемента восприятия величины магнитного поля, можно использовать датчик Холла [6]. При протекании тока через датчик Холла и при воздействии на него магнитного поля, перпендикулярного плоскости датчика, возникает напряжение Холла, перпендикулярное протекающему току и пропорциональное магнитному потоку. Датчик Холла используется как готовый модуль, в который входят: полупроводниковой прямоугольной пластинки, к которой присоединены четыре электрических вывода. Чувствительный элемент датчика Холла схематически показан на рисунке 1.

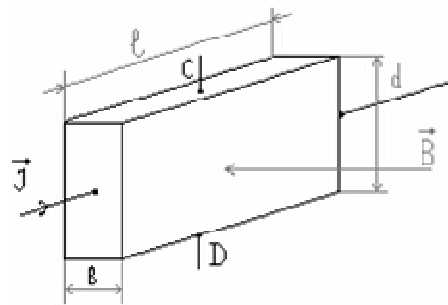


Рис. 1. Чувствительный элемент датчика Холла

Рассмотрим эффект Холла подробнее. Чувствительный элемент имеет форму прямоугольной пластинки длиной l , шириной d , толщиной b (рис. 1). Если вдоль образца пропустить электрический ток I , а перпендикулярно плоскости пластинки создать магнитное поле B , то на боковых плоскостях пластинки в направлении CD возникнет электрическое поле, которое называют полем Холла. Поле Холла характеризуют разностью потенциалов, которую измеряют между симметричными точками C и D на боковой поверхности образца. Эта разность потенциалов называется Холловской разностью потенциалов $U_{\text{хол}}$ или ЭДС Холла $\varepsilon_{\text{хол}}$ [2].

Одной из основных характеристик датчика Холла является чувствительность:

$$\gamma = \frac{\Delta U_{\text{хол}}}{\Delta B},$$

где $\Delta U_{\text{хол}}$ – изменение ЭДС Холла;

ΔB – изменение величины магнитной индукции.

Чувствительность датчика Холла указывается в паспортных данных, она может быть использована для определения величины индукции измеренного магнитного поля:

$$B = \frac{U_{\text{хол}}}{\gamma},$$

где $U_{\text{хол}}$ – Холловская разность потенциалов;

γ – чувствительность датчика Холла.

Таким образом, датчик меняет свое выходное напряжение в зависимости от величины проходящего через него магнитного поля. Так как образовавшийся сигнал очень маленький для дальнейшей обработки, его необходимо усилить. Для этого используется операционный усилитель. После усиления аналоговый сигнал поступает на микроконтроллер, преобразуется в цифровой и далее отображается на жидкокристаллическом индикаторе. Преобразование информативного сигнала канала контроля параметров магнитного поля можно представить в виде структурной схемы, представленной на рисунке 2.



Рис. 2. Функциональная схема канала контроля параметров магнитного поля

На основе структурной схемы разработана принципиальная электрическая схема канала контроля параметров магнитного поля. Схема имеет следующие особенности построения: содержит цепь постоянного источника напряжения, непосредственно сам датчик Холла – линейный датчик SS496A компании Honeywell, цепь преобразования сигнала, построенную на основе операционного усилителя на микросхеме KP1435УД4. В качестве стабильного источника напряжения используется линейный стабилизатор напряжения на микросхемах UA7805 для положительного напряжения и UA7905 для отрицательного напряжения. Данные микросхемы строятся на основе полевых или биполярных транзисторов, непрерывно работающих в активном режиме. Кроме регулирующего транзистора, на кристалле микросхемы линейного стабилизатора установлена схема управления им. Стабилизированный сигнал с линейного регулятора передается на питание датчика Холла. Датчик Холла используется как готовый модуль. С выхода датчика Холла сигнал передается на цепь преобразования сигнала. Сигнал необходимо преобразовать, так как значение сигнала на выходе датчика не соответствует сигналу, который может принять в дальнейшем аналогово-цифровой преобразователь.

Таким образом, в докладе представлены результаты разработки канала контроля параметров магнитного поля, введение которого в структуру системы реабилитации больных в постинсультный период позволит контролировать величину магнитной индукции при воздействии магнитным полем на ткани головного мозга и позволит своевременно корректировать процесс реабилитации.

Библиографический список

1. Сердечно-сосудистые заболевания: сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](http://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). – Дата доступа: 10.11.2019.
2. Габдрахманова А.Р., Смирнова С.В. Некоторые особенности применения электростимуляции в период реабилитации больных после инсульта // Медицинские приборы и технологии: международный сборник научных статей / под общ. ред. А.З. Гусейнова, Н.Л. Коржука, А.В. Прохорцова. Вып. 8. – СПб.; Тула: Изд-во РГПУ им. А.И.Герцена, 2019.- С. 118-120.
3. Беркутов А.М., Жулев В.И., Кураев Г.А. Системы комплексной электромагнитотерапии – М.: Лаборатория базовых знаний. БИНОМ, 2000. – С. 289-293.
4. Пономаренко Г. Н., Турковский И. И. Биофизические основы физиотерапии – М.: Медицина, 2006. – С. 122-125.
5. Пономаренко Г.Н., Болотова Н.В., Райгородский Ю.М. Транскраниальная магнитотерапия. СПб.: Человек, 2016. –С. 152.
6. Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М. Особенности применения магнитотерапии при реабилитации после инсульта // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2019 [текст]: сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2019 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (BookJet), 2019. –С. 134-136.

УДК574.24:537.226/31, ГРНТИ 68.85.15

К ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ БИООБЪЕКТОВ

В.Г. Ляпин¹, М.В. Самохвалов²

¹*Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,
Российская Федерация, Москва, Lei130@ngs.ru;*

²*Новосибирский государственный аграрный университет,
Российская Федерация, Новосибирск, maxsamokhvalov@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрено аналитическое, численное и экспериментальное обеспечение исследований электрических параметров растительных и почвенных объектов при электротехнологическом воздействии. В качестве исходных данных выбираются результаты измерения на разных частотах, напряжениях смещения модуля и фазы комплексного сопротивления двухполюсника при схеме замещения в виде параллельно или последовательно соединенных электрической емкости и активного сопротивления. В работе рассматриваются особенности идентификации параметров схемы замещения конденсаторной структуры.

Ключевые слова: электротехнологические установки, электрическое повреждение, электроды, растительные и почвенные объекты, напряжение, ток, сопротивление.

TO IDENTIFY ELECTRICAL PARAMETERS WHEN BIOOBJECTS ARE DAMAGED

V.G. Lyapin¹, M.V. Samokhvalov²

¹*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Russian Federation, Moscow, Lei130@ngs.ru;*

²*Novosibirsk state agrarian University,
Russian Federation, Novosibirsk, maxsamokhvalov@mail.ru*

The summary. Analytical, numerical and experimental support of studies of electrical parameters of plant and soil objects under electrotechnological influence is considered. As the source data, the measurement results are selected modulus and phase of complex impedance at different frequencies, bias voltages of the two-pole device with the equivalent circuit in the form of parallel or series-connected electrical capacitance and active resistance. The paper discusses the features of identification of the equivalent circuit parameters of a capacitor structure.

Keywords: electrotechnological installations, electric damage, electrodes, plant and soil objects, potential difference, juice, impedance.

Современный уровень развития методов генерации электромагнитных (ЭМ) полей и способов их формирования определил возможность разработок широкого класса электротехнических и электронных систем и устройств для решения практических задач в технике, медицине, биологии, геологии, электрохимии и др. приложениях. С учетом существующих тенденций развития фундаментальных и поисковых исследований в области разработок таких ЭМ систем и средств воздействия на человека, животных, почву, растительность и др. биологические объекты (БО), а также информационно-измерительных систем (ИИС) диагностики объектов исследования в мехатронике, робототехнике, биомедицине, точного земледелия и т.д. в настоящее время известны: ЭМ средства повреждающего действия, средства генерации большой мощности для электротехнических и электронных силовых систем, ЭМ средства управляющего (неповреждающего) действия, средства направленного ЭМ воздействия на БО, почвенные и др. среды. После проведения гармонизации методов диагностики, прогнозирования, идентификации электрических параметров БО при их повреждении в системе «ЭМ источник-БО» выделяются инструментальные, расчетные и расчетно-экспериментальные методы.

В настоящее время наблюдается рост исследований разнообразных биологически значимых эффектов действия ЭМ полей и излучений на структурно-функциональные системы БО. В исследованиях механизмов воздействия ЭМ полей на БО выделяют энергетические и информационные процессы. Полная физическая картина в БО является достаточно сложной и для ее объяснения прогнозируется рост числа исследований в направлении изучения системы «ЭМ источник-БО». Направления исследований в области создания ЭМ средств и систем управляющего действия на БО, ИИС диагно-

стики БО можно рассматривать как перспективное, но требующее решения целого ряда биологических и электрофизических проблем. Для прояснения биологических и электрофизических понятий об изменениях в структурах и функциях БО требуется изучение многих вопросов в решении проблемы получения информации об электрических параметрах исследуемых объектов, таких как электрическое сопротивление, проводимость. Поэтому цель прогнозируемых исследовательских работ - развить научно-обоснованную методологию и разработать совокупность технических решений получения информации об электрических параметрах БО, повышающих достоверность получаемых данных, синтезировать и исследовать структуры соответствующих ИИС.

Касаясь растительных объектов (РО)[1-10], ответные их реакции могут иметь различные проявления, которые зависят от фазы развития, условий обитания, вида раздражителя и его интенсивности. Из этого вытекает необходимость многопараметричности измерений ответной реакции РО в сочетании с высокой скоростью и минимальным влиянием на исследуемый объект. Существующие методические подходы в диагностике РО позволяют регистрировать отдельные биологические показатели: биохимические, физиологические, морфологические и т.п. Полную информацию о жизнедеятельности РО представляет анализ их структурно-функционального состояния, включающий оценку микроструктурной организации ткани, фотосинтетических процессов и метаболической активности. Для этого используют разнообразные способы и устройства, что делает измерения длительными, трудоёмкими, дорогостоящими и разрушающими РО, а в качестве информационных сигналов - колебания электрического потенциала между электродами (Э) или зонами на ткани и сопротивлению, измеренные в режиме заданного переменного электрического тока, протекающего через РО.

В системе «ЭМ источник-БО» структуры "Э-БО-Э" являются предметом интенсивных исследований, поскольку продолжается поиск перспективных ЭМ средств и систем управляющего действия на БО, ИИС диагностики БО и, как следствие, синтез новых электродных систем (ЭС) для совершенствования элементной базы электротехнологических установок (ЭТУ) и ИИС. В таких системах и структурах наблюдается резонансная зависимость модуля комплексного сопротивления от частоты возбуждающего напряжения. Для системы «ЭМ источник-БО» и структуры "Э-БО-Э" общепринятой является электрическая эквивалентная схема, состоящая из статической геометрической электрической емкости C_0 , динамической индуктивности L , динамической электрической емкости C_m и активного сопротивления потерь R_m , сопротивления утечки R_{mk} .

В общем случае мобильная ЭТУ представляет собой комплекс устройств и приборов (в электротехнической терминологии комплекс систем, схем и элементов), предназначенных для преобразования энергии ЭМ поля в РО с целью получения электротехнологического эффекта $\kappa_{эм}$. В учебно-методической и научно-технической литературе мобильная ЭТУ представляется в виде трехуровневой иерархической системы (рис. 1): источники электропитания, электропреобразователи и ЭС с нагрузкой в виде РО, почвенной и воздушной сред. Рабочим органом ЭТУ для электрического повреждения, к примеру, нежелательных РО является ЭС. Электротехнологический процесс (ЭТП) и определение электрических параметров РО, степени повреждения структурных элементов БО осуществляется при действии на почву и растительные ткани технологического напряжения u_r . При определении электрических параметров РО, анализе работы и проектировании электротехнических и электронных систем ЭТУ необходимо знать обобщенные параметры отдельных устройств или фрагментов сложных систем относительно каких-либо двух выводов (полюсов). В этих случаях устройство или фрагмент с двумя выделенными выводами (полюсами) представляют двухполюсником. БО, как пассивный двухполюсник не содержит источников энергии и в цепях синусоидального тока ЭТУ полностью характеризуется своим комплексным входным сопротивлением $Z_{вх}$ или входной проводимостью $Y_{вх}$ (рис. 2).

$$\underline{Z}_{BX} = \frac{\underline{U}_{BX}}{\underline{I}_{BX}} = R + jX; \underline{Y}_{BX} = \frac{1}{\underline{Z}_{BX}} = \frac{\underline{I}_{BX}}{\underline{U}_{BX}} = G - jB.$$

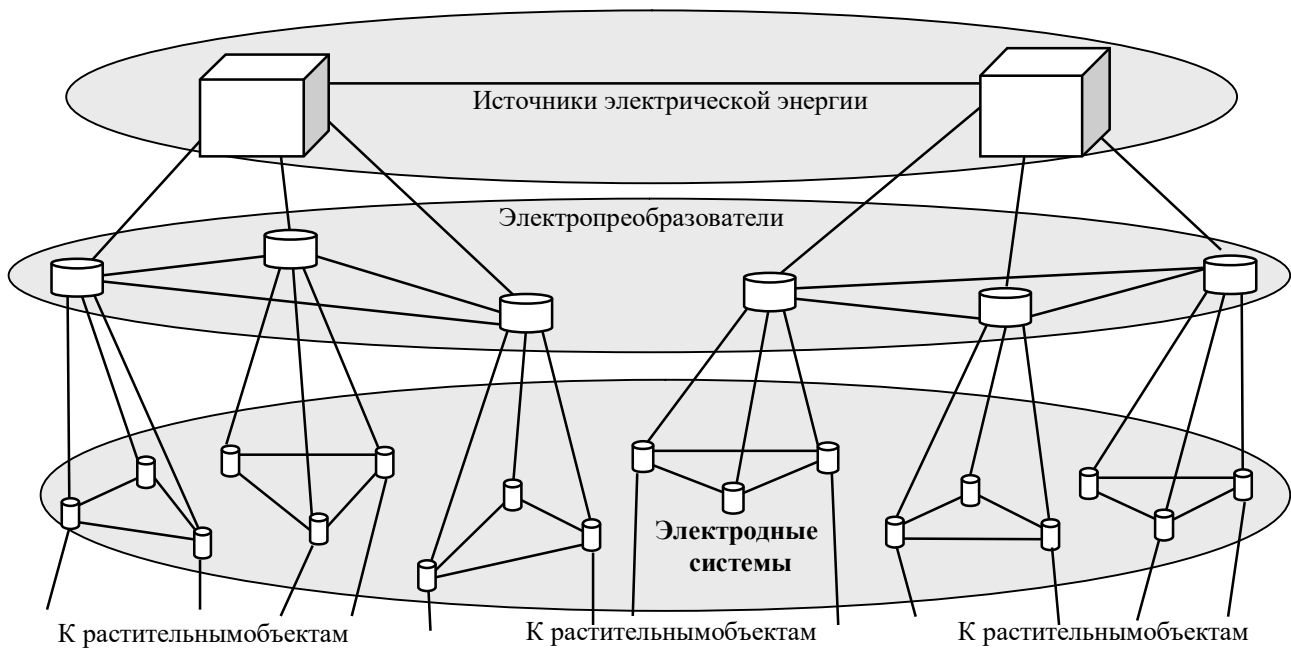


Рис. 1. Иерархическое представление электрической сети мобильной ЭТУ

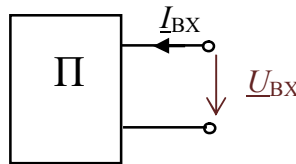


Рис. 2. РО как пассивный двухполюсник

БО как любой пассивный двухполюсник [12] может быть представлен эквивалентной схемой из двух элементов - активного и реактивного, соединенных последовательно (рис. 3а) или параллельно (рис. 3б). Последовательно-параллельный резонансный контур имеет две резонансные частоты, которые необходимо контролировать: частоту последовательного резонанса $f_{\text{посл}}$ и параллельного резонанса $f_{\text{пар}}$. Эти частоты и добротность контура определяются четырьмя элементами эквивалентной схемы.



Рис. 3. Эквивалентные схемы БО как пассивных двухполюсников

Для системы «ЭМ источник-БО» с схемой двухполюсника с элементами RL комплексное входное сопротивление

$$\underline{Z}_{BX} = R_{BX} + j\omega L = Z_{BX} e^{j\varphi}, \text{ где } Z_{BX} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \varphi = \arctg \frac{X_L}{R}.$$

Комплексная входная проводимость этого же двухполюсника

$$\underline{Y}_{BX} = \frac{1}{\underline{Z}_{BX}} = \frac{1}{Z_{BX} e^{j\varphi}} = Y_{BX} e^{-j\varphi} = Y_{BX} \cos(-\varphi) + jY_{BX} \sin(-\varphi) = G - jB_L.$$

Для структуры "Э–БО–Э" с схемой двухполюсника с элементами RC

$$\underline{Z}_{BX} = R - jX_C = Z_{BX} e^{j\varphi}, \text{ где } Z_{BX} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \varphi = \arctg \frac{-X_C}{R};$$

$$\underline{Y}_{BX} = \frac{1}{\underline{Z}_{BX}} = \frac{1}{Z_{BX} e^{j\varphi}} = Y_{BX} e^{-j\varphi} = Y_{BX} \cos\varphi + jY_{BX} \sin\varphi = G + jB_C,$$

где $G = Y \cos\varphi$, $B_C = Y \sin\varphi$, $Y = \sqrt{G^2 + B_C^2}$.

Проводимости G , B и сопротивления R , X связаны соотношениями:

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2}, B = \frac{X}{R^2 + X^2}; R = \frac{G}{G^2 + B^2}, X = \frac{B}{G^2 + B^2}.$$

Измерение электрических параметров сложных, нелинейных БО является одной из важных задач, стоящих перед ИИС, а методы и средства их измерения могут быть использованы для определения параметров широкого круга объектов исследования, представляемых электрическими эквивалентными схемами. Из-за особенностей БО электрический контакт с ними, в большинстве случаев, возможен только в двух точках, поэтому в простейшем случае, электрическая схема таких объектов как «ЭМ источник-БО» представляет собой двухполюсное многоэлементное сочетание RLC. Таким образом, решение задачи идентификации сложных, нелинейных БО требует развития методов измерения параметров и характеристик двухполюсных объектов, в электрических схемах которых имеются нелинейные активные и емкостные сопротивления.

Измерения резонансных частот и добротности системы «ЭМ источник-БО» на практике может представлять определенные трудности. В настоящее время выпускаются прецизионные измерители RLC, позволяющие автоматизировать процесс измерения иммитанса на разных частотах. В данных измерителях используется по выбору пользователя двухэлементная схема замещения в виде параллельно или последовательно соединенных RC и RL. Выходными параметрами выбирается модуль $|\underline{Z}|$ и фаза φ комплексного сопротивления двухполюсника. В экспериментах определение R_{mx} , Z_{mx} , Y_{mx} и других электрических составляющих тканей, растений и почвы связано с техническими трудностями обеспечения токоподвода, т.е. контакта почвенного образца и биологической ткани с Э и подбора материалов Э. Измерители RLC имеют два способа подключения тестируемых компонентов - с помощью выносного щупа, либо через тестовую площадку. Для реализации режимов измерения электрических свойств РО и почвы использовали разнотипную электродную технику, включая электрически изолированные друг от друга и закрепленные на расстоянии $a=10$ мм серебряные и стальные иглы диаметром 0,1-0,5 мм (рис. 4). Для удобства работы приборы имеют компенсацию начальной емкости измерительных проводов в четырехпроводной схеме и с постоянным смещением, а также интерфейс RS-232 с оптической развязкой, что позволяет построить и эксплуатировать систему импедансного контроля РО и почвы на базе компьютера с использованием среды LabVIEW в лабораторных и полевых условиях.

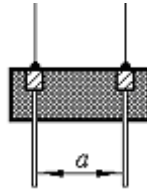


Рис. 4. Конструкция измерительных игл-электродов: a - расстояние между иглами

Известное отношение $\bar{U}_{Zmx}/\bar{I}_{Zmx}$ определяет импеданс цепи - комплексное сопротивление растительной ткани, представленное последовательным соединением сопротивлений: активного R_S и реактивного $\pm jX_S$, т.е. $Z_{mx} = \bar{U}_{Zmx}/\bar{I}_{Zmx} = R_S \pm jX_S$, причем при индуктивном характере цепи реактивное сопротивление $+jX_S$, емкостном $-jX_S$.

Модуль комплексного сопротивления Z_{mx} и его составляющие определяются:

$$Z_{mx} = U_{Zmx}/I_{Zmx}, R_S = Z_{mx} \cos \varphi, X_S = Z_{mx} \sin \varphi.$$

При последовательном соединении R_S и jX_S :

$$L_S = X_S / 2\pi f, C_S = 1 / 2\pi f X_S, \operatorname{tg} \varphi = Q = X_S / R_S = 2\pi f L_S / R_S = 1 / 2\pi f C_S R_S, \operatorname{tg} \delta = D = R_S / X_S = R_S / 2\pi f L_S = 2\pi f C_S R_S.$$

Параметры Q и D называются соответственно добротностью и тангенсом угла потерь, по которым косвенно можно судить об активных потерях в цепи. В современных измерителях Е7-хх тест-сигнал формируется с помощью технологии прямого цифрового синтеза, что дает широкую сетку частот, а Z_{mx} вычисляется через значения тока и напряжения на измеряемом объекте с помощью цифровой обработки.

Отношение $\bar{I}_{Ymx}/\bar{U}_{Ymx}$ определяет иммитанс цепи - полную проводимость ткани, представленную параллельным соединением проводимостей: активной G_P и реактивной $\pm jB_P$, т.е. $Y_{mx} = \bar{I}_{Ymx}/\bar{U}_{Ymx} = G_P \pm jB_P$. При индуктивном характере цепи реактивное сопротивление $-jB_P$, емкостном $+jB_P$. Модуль комплексной проводимости Y_{mx} , её составляющие определяются:

$$Y_{mx} = I_{Ymx}/U_{Ymx}, G_P = Y_{mx} \cos \varphi, B_P = Y_{mx} \sin \varphi.$$

При параллельном соединении R_P и jX_P :

$$L_P = 1 / 2\pi f B_P, C_P = B_P / 2\pi f, \operatorname{tg} \varphi = Q = B_P / G_P = 1 / 2\pi f L_P R_P = 2\pi f C_P R_P,$$

$$\operatorname{tg} \delta = D = G_P / B_P = 2\pi f L_P / R_P = 1 / 2\pi f C_P R_P.$$

Соотношения между параметрами для последовательной и параллельной схем замещения определяются: при индуктивном и емкостном характерах сопротивления $R_S = R_P / (1 + Q^2)$; индуктивном - $L_S = L_P / (1 + 1/Q^2)$; емкостном - $C_S = C_P (1 + 1/Q^2)$.

Оценку параметров БО в электрических схемах с несколькими элементами (рис. 5, 6), доступ к которым отсутствует, приходится проводить при исследованиях электрических закономерностей в биофизике, биомедицине, электротехнологиях, электрохимии, в т.ч. при изучении контактных явлений на границе раздела твердого Э и жидкости. Вопросы идентификации параметров элементов у БО со сложными схемами, которые с электрической точки зрения являются многоэлементными двухполюсниками, возникают при оценке состояния БО при повреждении, в т.ч. электрическом. Участок схемы, параметры которого измеряются с помощью двух Э, имеет электрическую схему многоэлементного нелинейного двухполюсника, а контакт Э с БО характеризуется также многоэлементной электрической схемой. В рассматриваемых ЭС, как и в контактных устройствах для контроля изделий микроэлектроники, Э (контактные элементы ХА, рис. 7) многократно механически соприкасаются и электрически подключаются к меняющимся контактным зонам контролируемых или обрабатываемых БО, в результате которых изменяются электрические и конструктивные параметры ЭС и её элементов.

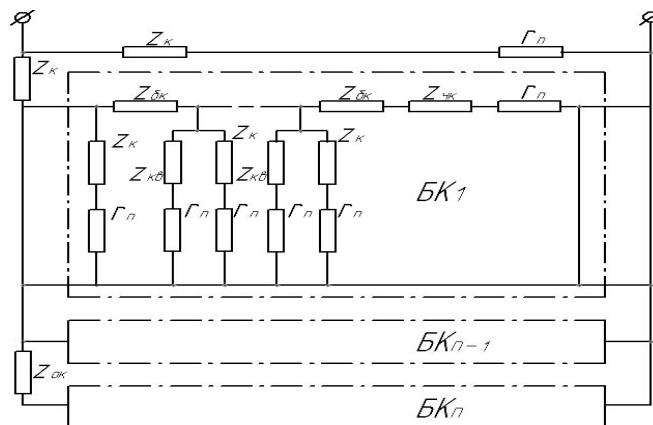


Рис. 5. Каскадная схема замещения корневой системы растения:

$Z_{ок}$ и $Z_{бк}$ - сопротивления внутренних тканей основных и боковых корней;
 $Z_к$, $Z_{кб}$ и $Z_{чк}$ - переходные сопротивления между внутренними тканями корней и почвой через кору, корневые волоски и чехлики; r_n - сопротивления участков почвы; $БК_1 \dots БК_n$ - ответвления боковых корней

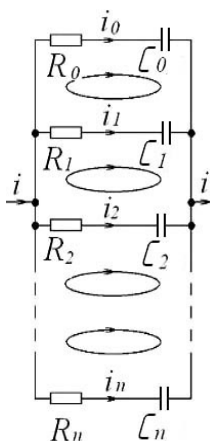


Рис. 6. Каскадная схема замещения ткани растения в ЭМ поле:

$R_0 \dots R_n$ и $C_0 \dots C_n$ - активные и ёмкостные составляющие;
 $i_0 \dots i_n$ - токи участков при разбиении ткани на локальные зоны;
 i - ток, протекающий через ткань; $\cup$ - направление ёмкостных токов в локальных зонах

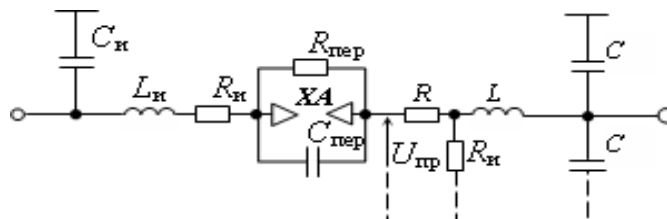


Рис. 7. Эквивалентная схема электрода, контролируемого (обрабатываемого) БО и межконтактной связи

Расчёт комплексного сопротивления производится с учетом глубины проникновения тока в каждый элементарный проводник и их формы (для тканей стебля, корневой системы и листа, соответственно, как для проводников круглого и прямоугольного сечения). Разработанные модели (рис. 5, 6) и полученные результаты показывают, что наибольший вклад в активное сопротивление растения и его динамическое изменение вносит сопротивление наружных тканей. С ростом частоты импеданс РО снижается, благодаря ёмкостной составляющей клеточных мембран. Результаты расчётов позволяют сделать вывод, что изменение полного сопротивления, как показателя повреждения клеток и тканей выражает изменение ёмкостных свойств не только поверхностных цитоплазматических, но и внутренних мембран эндоплазматической сети и клеточных органоидов, которые исполняют роль конденсаторов,

а содержимое клеток – роль раствора, содержащего коллоиды и кристаллоиды. Каскадные схемы позволяют объяснить, что резкие и длительные воздействия ЭМ поля приводят к распространению повреждения вглубь корневой системы растения (рис. 5), тканей (рис. 6) и клеток, соответственно, травмирует их органоиды и нарушает активность связанных с ними ферментных систем. В работах [2, 7, 10, 11] реализованы режимы измерения локального сопротивления на постоянном токе и контроль емкостной и резистивной составляющих в области электрического контакта двух игл и др. измерительных и технологических Э с РО в низкочастотном диапазоне. Метод контроля электрических свойств заключается в приложении к РО напряжения, имеющего постоянную и низкочастотную составляющую, и одновременном измерении постоянного тока, емкостной и резистивной компонент низкочастотного импеданса. Система определения электрических параметров РО и почвы позволяет: визуализировать исходный сигнал; проводить расчет информативных параметров и статистическую обработку информативного сигнала РО и почвы (построение законов распределения, вычисление дисперсии, математического ожидания); вычислять спектр информативного сигнала; выполнять запись значений любого из указанных информативных параметров, как в режиме реального времени, так и в выбранный момент; строить временные зависимости информативных параметров РО и почвы. Эффективным способом оценки параметров БО, схемы которых относятся к многоэлементным линейным двухполюсникам, является использование нескольких частот, на которых проводятся измерения с помощью соответствующих измерительных цепей. Параметры интересующих элементов определяют расчетным путем. Наличие у элементов схемы нелинейных зависимостей приводит к тому, что на разных частотах БО будет потребляться разная активная мощность и будет изменяться ее распределение между нелинейными элементами. Измерительные операции, выполненные на каждой частоте, у нелинейного БО будут характеризовать параметры, которые имеются у элементов при той активной мощности рассеивания и ее распределении, которая обусловлена величиной активных и видом и характером реактивных элементов, входящих в эквивалентную схему БО измерения на заданной частоте.

Библиографический список

1. Топорков, В.Н. Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками/В.Н. Топорков, В.А. Королев. - М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. - 132 с.
2. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2-е изд. перераб. и доп. - Новосибирск, 2012. – 366 с.
3. Юдаев, И.В. Электроимпульсный пропольщик: обоснование проектного конструкторского решения: монография/Ю.В. Юдаев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – 224 с.
4. Баев, В.И. Повышение эффективности электрического метода уничтожения сорной растительности/В.И. Баев, Д.С. Елисеев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2011. – 200 с.
5. Баев, В.И. Электроимпульсная предуборочная обработка растений подсолнечника и табака: Монография/В.И. Баев, И.Ф. Бородин; Волгогр. с.х. акад. - Волгоград, 2002. – 232 с.
6. Средства измерений, применяемые при испытаниях и исследованиях сельскохозяйственной техники и технологий/Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ). - Новокубанск, 2019. – 24 с.
7. Ляпин, В.Г. Моделирование электрофизических свойств растительных объектов – нагрузки электропитающих устройств и систем/В.Г. Ляпин, В.И. Загинайлов, А.В. Соболев, Д.С. Болотов, М.В. Самохвалов//Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 290. Ч. II. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. - С. 186-188.
8. Баев, В.И. Сорные растения как объект электрической прополки: биологические особенности и электрофизические свойства: Монография/В.И. Баев, Т.П. Бренина, Д.С. Елисеев, И.В. Юдаев; ВГСХА. - Волгоград: Станица-2, 2004. - 128 с.
9. Бонд, А.М. Электроаналитические методы. Теория и практика/А.М. Бонд, Д. Инцельт, Х. Калерт и др. Под ред. Ф. Шольца; Пер. с англ. Под ред. В.Н. Майстренко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 326 с.
10. Ляпин, В.Г. Система импедансного контроля растений/В.Г. Ляпин, М.В. Самохвалов//Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2008, №5.- С.135-143.
11. Ляпин, В.Г. Электротехника и электротехника. Элементы, схемы, системы: учебное пособие/В.Г. Ляпин, Г.С. Зиновьев, А.В. Соболев. – М.: ООО «Реарт», 2018. – 183 с.
12. Соболев, А.В. Основы теории электрических цепей. Практикум/А.В. Соболев, В.И. Загинайлов, В.Г. Ляпин, А.А. Игудин. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2020. - 105 с.

УДК574.24:537, ГРНТИ 68.85.15

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ БИООБЪЕКТОВ. ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В.Г. Ляпин¹, Д.С. Болотов²¹Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, Москва, Lei130@ngs.ru;²Новосибирский государственный аграрный университет, Российская Федерация, Новосибирск, bol-den@yandex.ru

Аннотация. Обзор посвящен исследованиям процессов повреждающего влияния электромагнитного поля на биологические объекты. Рассматриваются характеристика и классификация электротехнологических установок повреждения растительных объектов и перспективы их разработки.

Ключевые слова: электротехнологические установки, электрическое повреждение, электроды, растительные и почвенные объекты, напряжение, ток, сопротивление.

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON ELECTRICAL DAMAGE TO BIOOBJECTS. PROBLEMS, PROSPECTS OF ABSTRACT

V.G. Lyapin¹, D.S. Bolotov²¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Russian Federation, Moscow, Lei130@ngs.ru;²Novosibirsk State Agrarian University, Russian Federation, Novosibirsk, bol-den@yandex.ru

The summary. The review is devoted to studies of the processes of damaging the influence of the electromagnetic field on biological objects. The characteristics and classification of electrical installations damage plant objects and the prospects for their development are considered.

Keywords: electrotechnological installations, electric damage, electrodes, plant and soil objects, potential difference, juice, impedance.

В последние десятилетия растет интерес к процессам и технологиям, основанным на применении электромагнитных (ЭМ) полей и излучений, действующих на биологические объекты (БО). Перспективны в этом направлении электротехнологические установки (ЭТУ) электрического повреждения (ЭП) растительных объектов (РО). Облик отдельных компонентов ЭТУ ЭПРО был предопределен в России и США в 1960-1980 годах. На протяжении последних двадцати лет велись работы по исследованию и научному обоснованию физических процессов передачи ЭМ энергии от источников электропитания (ИЭП) в РО через электроды (скользящие контакты, режущие элементы, иглы и др. конструктивы) электродных систем (ЭС) мобильных ЭТУ ЭПРО [1-7]. Многолетние исследования заложили фундамент для разработки эффективных и экономичных конструкций и схмотехники основных систем в иерархии установок ЭПРО (ИЭП, электропреобразователей, ЭС) и переходу к их миниатюризации. Современная мобильная установка ЭПРО (рис. 1, 2, 3) представляет собой электроэнергетическую систему высокой сложности, в которой ни один компонент оборудования не может функционировать без использования электрической энергии, поэтому система электрооборудования и электроники (СЭЭ) является важнейшей и в значительной степени определяющей технические и эксплуатационные характеристики этих установок.

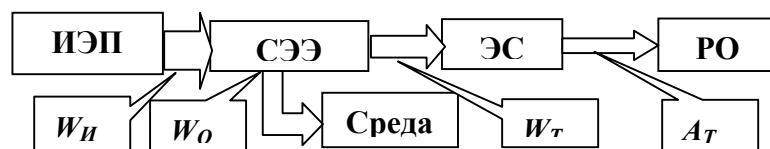


Рис. 1. Упрощенная структура мобильной установки ЭПРО

Несмотря на большое разнообразие по конструктивному исполнению, функциональному назначению и используемым физическим эффектам, мобильные установки ЭПРО как электроэнергетические и электротехнологические системы имеют общую структуру, действуют по общим законам сохранения и превращения электрической энергии, что позволяет выделить их в отдельный тип систем. Состав (транспортная база; технологическое оборудование; системы, обеспечивающие ЭПРО, охрану, защиту; опциональные системы кругового наблюдения, атмосферной защиты) и основные характеристики мобильных установок ЭПРО сформированы в последних наших работах. Основными взаимосвязанными и взаимодействующими между собой подсистемами мобильных установок ЭПРО (рис. 1-3) являются ИЭП, СЭЭ, ЭС, среда и РО. При этом СЭЭ рассматриваются как подсистема электротехнологической системы, осуществляющей преобразование энергии ИЭП $W_{И}$ (с потерей энергии $W_{О}$ в среду) в технологическую энергию $W_{Т}$ и работу $A_{Т}$, необходимую для получения конечного продукта, ради которого и создается установка ЭПРО в целом.

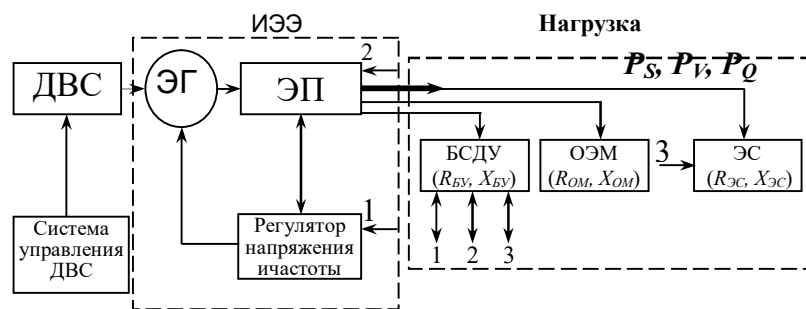


Рис. 2. Структурная схема мобильной установки ЭПРО: ДВС - двигатель внутреннего сгорания; ИЭЭ - источник электрической энергии; ЭГ - электрический генератор; ЭП - электропреобразователь; БСДУ - блок сигнализации, диагностики и управления; ОЭМ - отбор электрической мощности; ЭС - электродная система

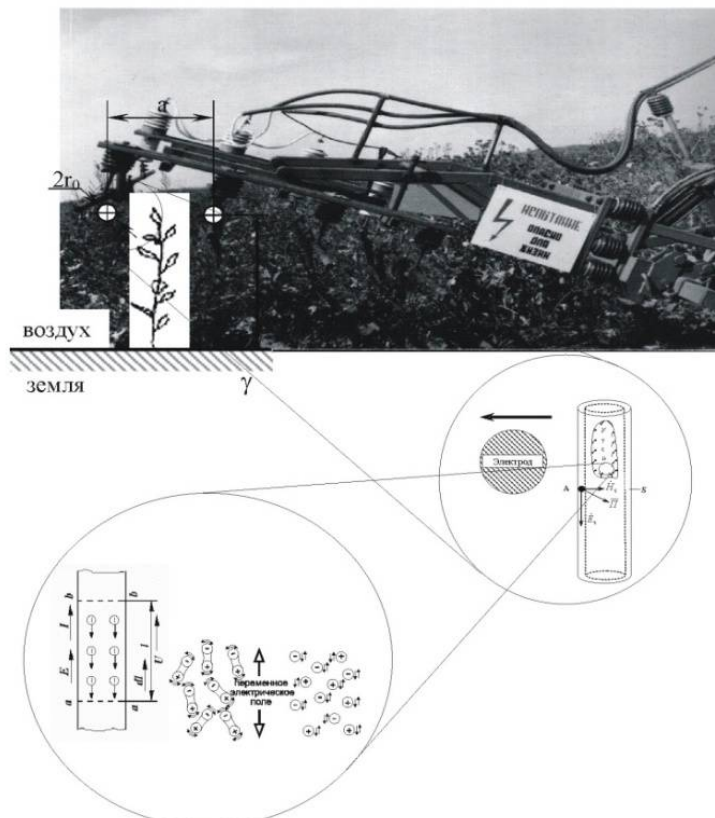


Рис. 3. К технологии ЭПРО

Планомерные работы по разработке и применению технологии и техники ЭПРО ведутся уже более пятидесяти лет. В публикациях на эту тему имеются результаты исследований в областях: физики ЭМ процессов; методов расчета установок ЭПРО, их систем и компонентов; технологий обработки РО под действием ЭМ полей; ЭМ свойств БО. Основные механизмы ЭПРО сформированы несколькими поколениями ученых и в достаточной степени отражены в научных исследованиях, но еще долгое время будут являться предметом интенсивных исследований из-за проблем методологии исследования, классификации и патогенеза. Здесь следует отметить, что механизмы ЭПРО сформированы и характеризуют повреждение основных жизнеобеспечивающих структур растительных тканей таких органов как листья, стебли, корни, а управление процессами жизнеобеспечения переходит к внутриклеточным структурам, которые поддерживают жизнеспособность тканей на клеточном уровне за счет собственных ресурсов. При их истощении наступает прекращение процессов жизнедеятельности, причем гибель различных тканей РО происходит в разные сроки. Однозначно, что органы растений с различными по структурным и физиологическим свойствам тканями имеют неодинаковую ЭМ повреждаемость и отличающиеся механизмы ЭПРО. Кроме того, ЭПРО может сопровождаться избирательным повреждением тех систем, поддержание функционирования которых не обеспечивается механизмами стрессовой реакции РО.

Итак, в контексте данной работы интерес представляют реакции БО в условиях ЭМ воздействий, вызывающих повреждения, т.к. ЭПРО проводится для обеспечения гибели или торможения роста РО при борьбе с нежелательной растительностью, предуборочной обработке ботвы корнеклубнеплодов, стеблей подсолнечника, табака и др. При воздействии ЭМ поля (излучения) на БО первично происходит повреждение клеток, что выражается в нарушении их структуры и функций. Нарушается барьерная функция клеточных и внутриклеточных мембран, а также выключаются ионные насосы, что, в свою очередь, сопровождается нарушением распределения веществ внутри клетки и между клеткой и окружающей средой, дезорганизацией внутриклеточного метаболизма и нарушением системы энергообеспечения. При слабом ЭМ излучении будут повреждаться наружные ткани (эпидермис) на малую глубину 1-3 мм. Более интенсивный ЭМ поток может привести к повреждению дермы, а излучение еще большей интенсивности будет воздействовать и на глубокие слои внутренних тканей. Участки тканей с «толстым» эпидермисом и выраженным роговым слоем более устойчивы к ЭМ повреждению. Степень повреждения биологических тканей прямо пропорциональна продолжительности ЭМ воздействия. Кратковременное воздействие даже сильных ЭМ полей может не приводить к ЭПРО. Можно выделить следующие основные характеристики ЭПРО от высокоинтенсивного ЭМ воздействия: критическая ЭМ прочность основных структурных элементов БО; количество поглощенной БО ЭМ энергии; время применения ЭМ воздействия.

Результаты анализа применяемых систем классификации ЭТУ ЭПРО в бывшем СССР, РФ и в странах СНГ, а также в США, Великобритании, Франции показывает целесообразность применения систем в зависимости от цели при разработке ЭТУ, рекламе, организации их производства и эксплуатации в различных природно-климатических и производственных условиях. Классификация по конструктивным, энергетическим параметрам необходима при разработке новых ЭТУ. Однако она не раскрывает потенциальные функциональные возможности мобильных ЭТУ и эффективность их работы в конкретных зональных условиях при значительных колебаниях засоренности, влажности и иных физико-механических свойств РО и почвенной среды. При отнесении ЭТУ к определенному классу могут учитываться и др. факторы: ширина захвата, вид привода ЭС (электрический, механический или гидравлический). На этапе проектирования ЭТУ их производительность рассчитывают, используя выражения, учитывающие конструктивные параметры ЭС, мощность ИЭП, ширину захвата

ЭТУ, удельную мощность на единицу ширины захвата и др. факторы. Классификация по конструктивным параметрам представляется достаточно простой и удобной, но она не характеризует потенциальные функциональные возможности ЭТУ и эффективность их работы в производственных условиях эксплуатации. Основными факторами, определяющими фактическую производительность ЭТУ, являются: состояние обрабатываемого агрофона (влажности, засоренности, полеглости и др.); скорость движения ЭТУ; ширина захвата ЭС; размеры полей, их рельеф и конфигурация; квалификация операторов или механизаторов; организация работы по ЭПРО.

В связи с электронизацией современных ЭТУ, к СЭЭ выдвигаются дополнительные требования, связанные с необходимостью оптимизации потоков электроэнергии $W_{и}, W_{о}, W_{тв}$ ЭТУ. Основной задачей проектирования СЭЭ является определение ИЭП, электропреобразователей и ЭС, а также их структуры с целью обеспечения БО и др потребителей электроэнергией заданного качества на всех режимах ЭПРО и во всех режимах работы СЭЭ. При этом необходимо минимизировать массогабариты СЭЭ при выполнении ряда ограничений (электротехнологических, экономических, эксплуатационных и др). Интеллектуальная система управления СЭЭ позволит в режиме реального времени подстраивать электропотребление ЭС с РО под динамику генерирования. Это позволит оптимизировать режимы работы ЭТУ, повысить эксплуатационный ресурс и снизить массогабариты СЭЭ. Высокий уровень интеграции всего электрооборудования и электроники, новейшие типы силового электрооборудования и электроники обуславливают качественно новые требования к СЭЭЭТУ и, как следствие, определяют необходимость комплексной проработки вопросов мобильных ЭТУ, разработки концепции их развития и создание научно-технического задела в этой области. Все это даст возможность обеспечить улучшение функциональных, технических и эксплуатационных характеристик СЭЭ перспективных ЭТУ.

Анализ тенденций развития мобильных установок ЭПРО показывает, что применение современных средств автоматики, электроники и компьютеризации позволяет рационально управлять процессами обработки РО, снизить количество вносимых пестицидов, используемой воды, топлива, электрической энергии, затраты труда, массогабариты компонентов установок, повысить качество выполняемых работ и получать информацию о процессе обработки. В мобильных ЭТУ ЭПРО последнего поколения должна реализоваться концепция "интеллектуального" комплекса, предусматривающего использование цифровых систем с микроЭВМ и микропроцессорами, мультиплексных каналов информационного обмена на всех уровнях интеграции, электронную индикацию поступающей информации. Внедрение цифровой техники влечет за собой изменения принципов управления и функционирования мобильных установок ЭПРО, предусматривающих полную автоматизацию управления электротехнологическим процессом, создание безынерционных систем защиты, оптимизацию процессов регулирования параметров электрической энергии, обеспечение адаптации структуры электрооборудования и электроники к изменению условий работы и технического состояния, расширение возможностей контроля и диагностики электрооборудования и электроники. В перспективе установки ЭПРО образуют комплексное научно-техническое направление, развивающееся на основе общих тенденций развития техники и имеющие как свои отдельные, так и общие разделы. Мобильные установки ЭПРО воспринимаются как часть общего с электротехнологией и мехатроникой (зафиксированы в перечнях научных и учебных направлений) научно-технического направления, поэтому следует считать их областью науки и техники в виде электротехнологических и мехатронных систем и их компонентов, использующих принципы и методы проектирования этих систем.

Библиографический список

1. Топорков, В.Н. Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками/В.Н. Топорков, В.А. Королев. - М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. - 132 с.
2. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2-е изд. перераб. и доп. - Новосибирск, 2012. – 366 с.
3. Юдаев, И.В. Электроимпульсный пропольщик: обоснование проектного конструкторского решения: монография/Ю.В. Юдаев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – 224 с.
4. Баев, В.И. Повышение эффективности электрического метода уничтожения сорной растительности/В.И. Баев, Д.С. Елисеев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2011. – 200 с.
5. Болотов, Д.С. Состояние и перспективы развития электротехнологических культиваторов/Д.С. Болотов, В.Г. Ляпин, В.А. Патрин, А.Т. Калюжный, С.А. Никонов//Актуальные проблемы научно-технического обеспечения процессов и производств в АПК: сб. трудов конференций преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов, посвященный 80-летию Новосибирского государственного аграрного университета (г. Новосибирск, 7-11 ноября 2016 г.). - Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2016. – С. 13-16.
6. Ляпин, В.Г. Характерные недостатки разработки мобильных электротехнологических установок и закономерности их развития/В.Г. Ляпин//Труды ГОСНИТИ. Том 120. – М., 2015. – С. 79-83.
7. Ляпин, В.Г. Совершенствование инфраструктуры исследований мобильных установок электрического повреждения растительности/В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов, М.В. Самохвалов, Д.В. Морокин//Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 288. Ч. II. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. - С. 513-516.

УДК 004.75; ГРНТИ 50.43

ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В АИИС

И.А. Дьяков, А.И. Дьяков

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, nanogalvanotech@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается применение микроконтроллеров 1986BE92 в автоматизированных информационно-измерительных системах. Приводится пример подключения электроизмерительных приборов.

Ключевые слова: микроконтроллеры, информационно-измерительные системы.

APPLICATION OF DOMESTIC MICROCONTROLLERS IN AIMS

I.A. Dyakov, A.I. Dyakov

*Tambov State Technical University,
Russia, Tambov, nanogalvanotech@mail.ru*

The summary. The article shows the use of microcontrollers 1986BE92 in automated information-measuring systems. An example of the connection of electrical measuring devices is given.

Keywords: microcontrollers, automated information measuring system.

Устройства сбора и передачи данных предназначены для построения пространственно распределенных, multifunctional автоматизированных информационно измерительных систем (АИИС) с распределенной обработкой и хранением данных. Область применения промышленные предприятия, предприятия электроэнергетики и непромышленная сфера. В качестве мастер-устройства можно применить отечественные микроконтроллеры производства компании ЗАО «ПКК Миландр» (г. Москва, Зеленоград). Ведомыми или подчиненными устройствами могут быть различные измерительные приборы, снабженные цифровым интерфейсом. Один из вариантов схемы подключения показан на рисунке 1. [1].

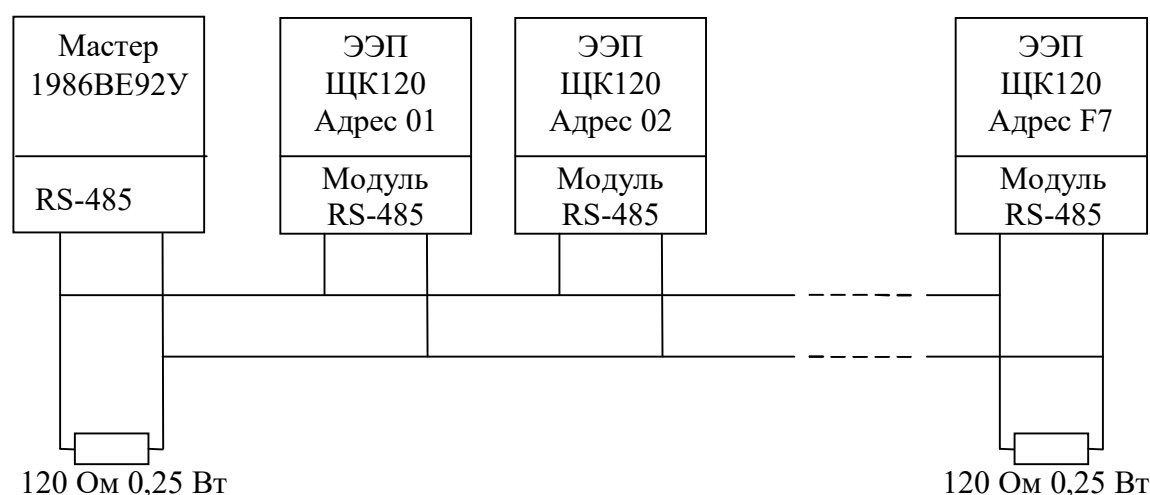


Рис. 1. Схема включения электроизмерительных приборов в цифровую сеть

На схеме приведены электроизмерительные приборы серии ЩК120 производства ООО «Электроприбор» г. Чебоксары.

Цифровой канал используется для связи щитовых приборов в качестве ведомых устройств в сети с протоколом Modbus RTU. Характеристики канала связи:

- электрический интерфейс канала RS-485;
- тип канала асинхронный;
- скорость передачи данных дискретно настраиваемая 4800, 9600, 19200, 38400 бит/с;
- предельная дистанция канала связи 1200 м, зависит от скорости передачи;
- физическая линия связи витая пара;
- число приборов на канале связи без повторителей до 31;
- формат передаваемого байта информации: 1 старт-бит, 8 бит данных, контроль четности, 1 или 2 стоп-бита;
- допустимый адрес от 1 до 247.

Все информационные и временные характеристики реализованного программой щитового прибора протокола соответствуют характеристикам протокола Modbus RTU. Ведущее (мастер) устройство запрашивает информацию, формируя запросы для ведомого (slave) устройства. Ведомое устройство отвечает ведущему устройству ответом, формат которого определяется протоколом, в случае если адрес в принятом сообщении совпал с адресом ведомого устройства [2].

Структурная схема микроконтроллеров серии 1986BExx приведена на рисунке 2.

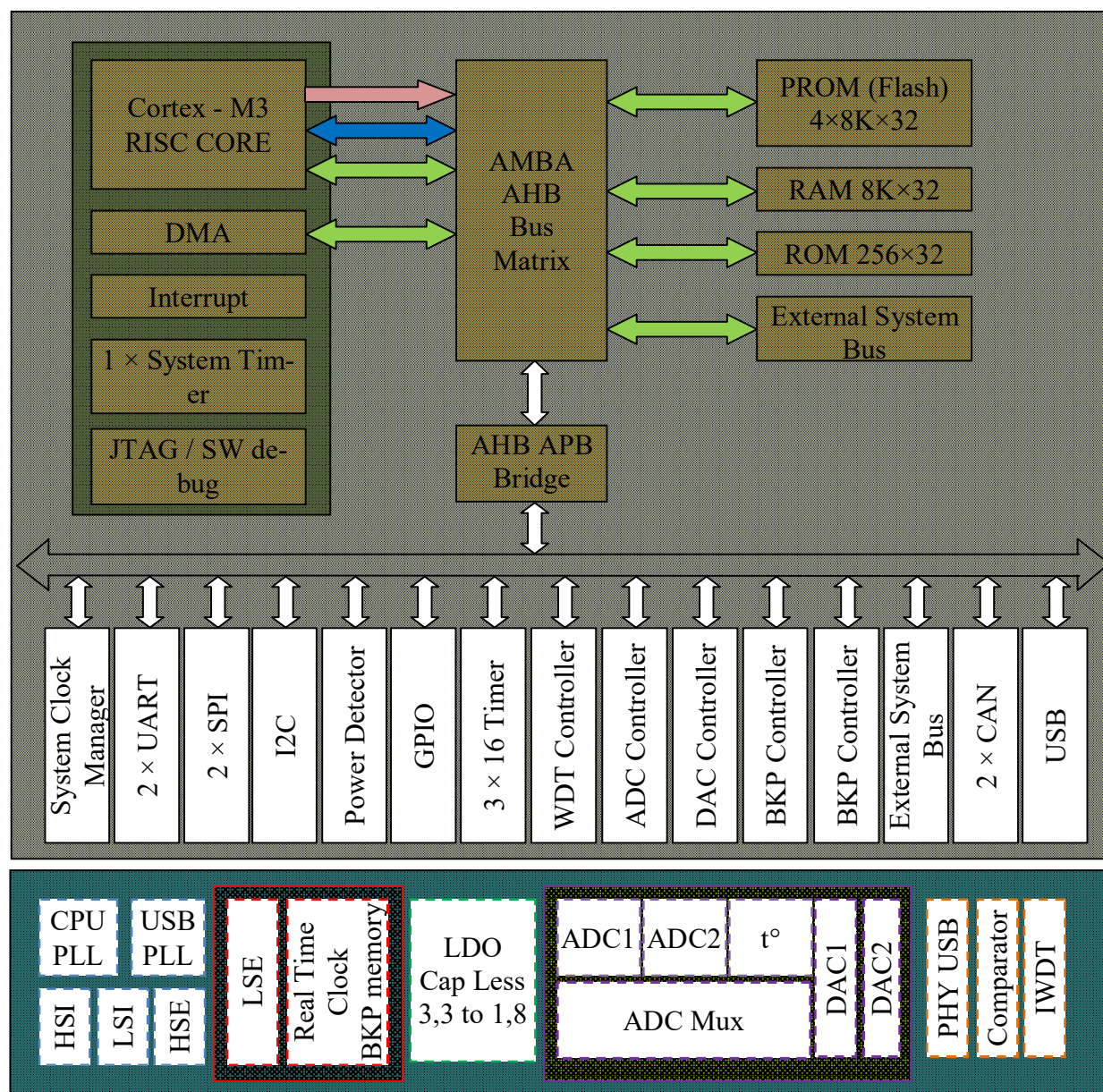


Рис. 2. Структурная схема микроконтроллеров серии 1986BExx

На схеме выделены следующие структурные элементы: микропроцессорное ядро Cortex-M3 (Core-M3 RISC CORE); многоканальный контроллер прямого доступа к памяти (DMA); контроллер векторизованных прерываний (Interrupt); системный таймер SysTick (1xSystem Timer); отладчик с интерфейсами JTAG и SW (JTAG/SW debug); резидентная флэш-память программ 128Kб (PROM); оперативное запоминающее устройство 32 Кб (RAM); постоянное запоминающее устройство 512 б (ROM); внешняя системная шина (External System Bus).

Приборы ЦК120 отличаются протоколом только в части размещения данных в регистрах памяти. В приборах с интерфейсом RS485 в режиме настройки устанавливается сетевой адрес (1...247) и скорость передачи. К контактам, обозначенным, как «RS485 А» и «RS485 В» подключаются соответственно линии А и В преобразователя интерфейса. На задней стенке корпуса расположены разъемы для подключения прибора к источникам сигнала,

источнику питания, приборам (индикаторам), элементам сигнализации и интерфейсу промышленной сети (рис. 3).

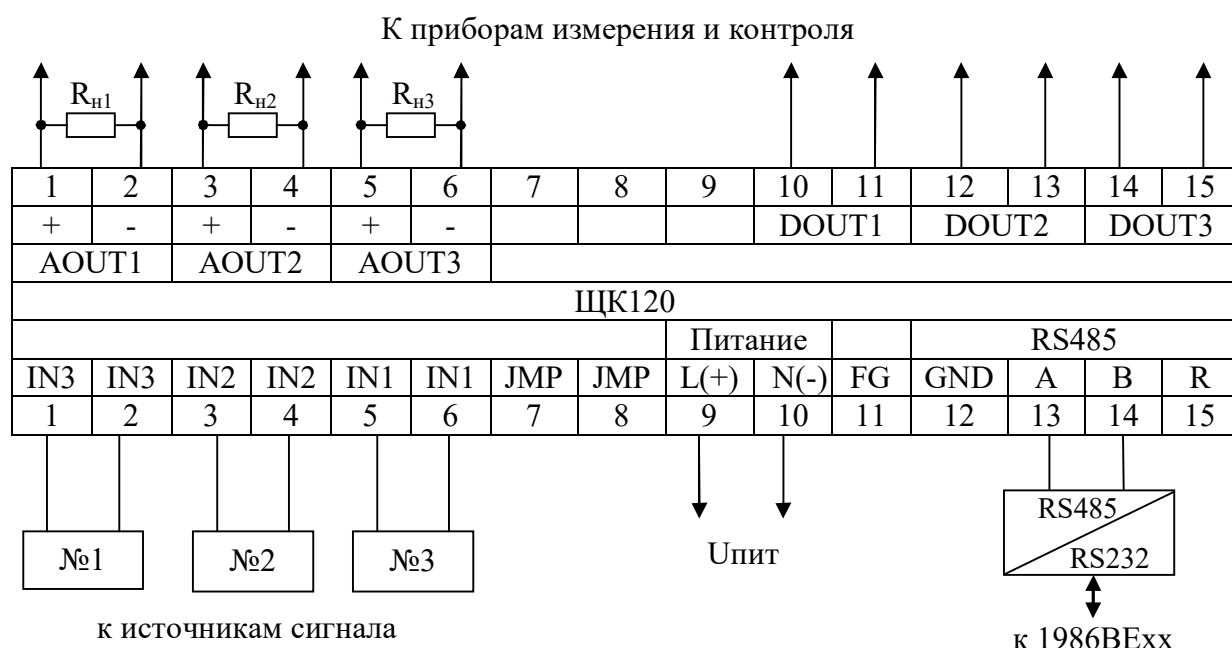


Рис. 3. Схема подключения прибора серии ЩК

Также к контактам разъемов могут быть подключены функциональная перемычка для разрешения перевода прибора с рабочего режима на режимы настройки программно доступных параметров и перемычка для подключения между линиями интерфейса А и В встроенного резистора для согласования интерфейсной линии связи. При отсутствии первой переход в режимы настройки невозможен, при наличии перемычки становятся доступными режимы настройки. При наличии второй между линиями А и В интерфейса RS485 подключен встроенный согласующий резистор.

Библиографический список

1. Ермак, М. Российские микроконтроллеры с ядром Cortex-M3 и пример реализации проекта /М. Ермак // Компоненты и технологии. - 2010. - № 9. - С.74-77.
2. Приборы щитовые цифровые электроизмерительные ЩК96, ЩК120. Руководство по эксплуатации. - Чебоксары: ОАО «Электроприбор». - 2009. - 77 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elpribor.ru/documentation/manuals/> Загл. с экрана.

УДК 004.93; ГРНТИ 27.03

ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФУНКЦИОНИРОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л.А. Коробова*, И.А. Матыцина*, М.С. Миронова**

**Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Российская Федерация, Воронеж, irina210390@mail.ru*

***Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Российская федерация, Воронеж*

Аннотация. В работе рассматривается применение логико-лингвистического подхода для анализа функционирования технологических систем. Введено понятие логико-лингвистической модели, проведена ее структуризация и описание формальной системы логико-лингвистической модели. Предложена математическая модель комплексного показателя оценки качества технологического процесса. На основе математической модели проведен анализ качества процесса производства хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: лингвистическая переменная, формальная система, логико-лингвистическая модель, показатель качества, технологический процесс.

LOGICAL-LINGUISTIC APPROACH TO THE FUNCTIONING OF TECHNICAL SYSTEMS

L. A. Korobova*, I. A. Matytsina*, M. S. Mironova**

** Voronezh state University of engineering technologies,
Voronezh, Russian Federation, irina210390@mail.ru*

*** Military training and research center of the Air force "air force Academy
named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin",
Voronezh, Russian Federation*

The summary. The paper considers the use of a logical-linguistic approach to analyze the functioning of technological systems. The concept of a logical-linguistic model is introduced, its structuring and description of the formal system of the logical-linguistic model are carried out. A mathematical model of a complex indicator for evaluating the quality of a technological process is proposed. Based on the mathematical model, the analysis of the quality of the production process of bakery products is carried out.

Keywords: linguistic variable, formal system, logical-linguistic model, quality indicator, technological process.

На сегодняшний момент существует огромное разнообразие методов и инструментов, используемых для анализа функционирования технических систем. Понятие – техническая система – включает в себя весь спектр возможных взаимодействий элементов системы, как между собой, так и с окружающей средой. Любая техническая система несет определенную смысловую нагрузку и подчиняется свойственным ей законам функционирования. Описание систем и их функционирование невозможно подвести под один алгоритм. Еще сложнее, использовать для этого «привычный» (традиционный или классический) математический аппарат, который давал бы точные и четкие результаты моделирования. Для человека более понятно и привычно применять для описания функционирования системы словесное описание и естественные языки. Это дало толчок к появлению и развитию семантических моделей. Основой семантических моделей является логико-лингвистическое описание функционирования технических систем. Такое описание невозможно без прочных и всесторонних знаний о системе и ее функционировании. Логико-лингвистическое описание и разработанные на его основе правила вывода являются первым этапом в построении интеллектуальных систем. Также логико-лингвистические модели используют в системах поддержки принятия решения, экспертных и поисковых системах и предназначены для информационного обеспечения принятия решения в профессиональной деятельности разных специалистов [1, 2].

Введем понятие логико-лингвистической модели, как это было представлено в работах Д.А. Пospelova [3]. Обобщенная схема структуры логико-лингвистической модели представлена на рисунке 1. Логико-лингвистическая модель включает три компонента: S_Φ - формальную систему, S_{II} - подсистему интерпретации и S_A - подсистему адаптации. Сама модель находится не изолированно, а в тесной взаимосвязи с элементами внешнего мира M .

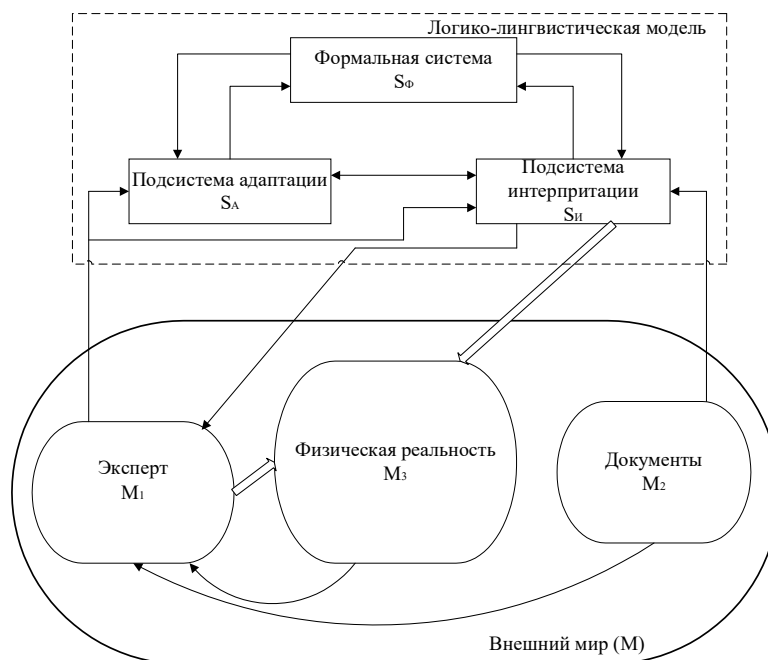


Рис. 1. Обобщенная схема структуры логико-лингвистической модели

Описание формальной системы S_Φ логико-лингвистической модели представим в виде кортежа 1

$$S_\Phi = \langle T, \Phi, A, \Theta \rangle \quad (1),$$

где T – терм-множества (формальный алфавит описания системы S_Φ), используемых в дальнейшем для конструирования правил функционирования;

Φ – синтаксические правила системы S_Φ , то есть правила конструирования правильных в данной системе формул;

A – аксиомы, т.е. правильно построенные конструкции формул, отражающие утверждения и положения, которые в данной системе априорно принято считать истинными;

Θ – семантическое правило или правило вывода новых конструкций формул, позволяющие при первоначально заданной системе аксиом породить все возможные в системе S_Φ правильные конструкции формул [4].

Модель 1 при использовании в различных системах может быть модифицирована под определенную область применения.

Рассмотрим модификацию модели в системах оценки качества хлебобулочных изделий с использованием лингвистического подхода описания переменных.

Качество хлебобулочных изделий на предприятии представляет собой совокупность общих и специальных функций управления. Обычные функции управления определяются общеизвестными действиями управленческого и технического персонала. К действиям управленческих служб относят планирование, организацию, контроль, учет и стимулирование. К действиям технического персонала, работающего в цехах и обслуживающих протекание процесса основного производства, относятся анализ и регулирование. На всех уровнях

управления качеством хлебобулочных изделий реализуются специальные функции. Среди основных следует выделить уровень качества хлебобулочных изделий; планирование повышения качества, нормирование требований и аттестация готового продукта [5].

Приемочный контроль качества хлебобулочных изделий приобретает все больший вес при работе с потребителями. На производстве вводится независимая экспертиза с применением математического аппарата, научных кадров, современных методов и алгоритмов.

Критерий определения качества продукции является комплексной характеристикой. Технологический процесс производства хлебобулочных изделий является распределенным во времени и пространстве. Поэтому, комплексный показатель качества должен учитывать все многообразие технологической обработки и строиться на принципах пространственно - временной распределенности и аддитивности процесса [5, 6].

$$Q \rightarrow (Q_1, Q_2), \quad (2)$$

где Q - комплексный показатель оценки качества технологического процесса производства хлебобулочных изделий;

Q_1 – безразмерный показатель качества технологического процесса на этапе приготовления;

Q_2 - безразмерный показатель качества технологического процесса на этапе принятия решения о необходимости изменения рецептуры.

Формирование показателя качества технологического процесса на этапе приготовления готового продукта (Q_1)

Безразмерный показатель качества протекания технологического процесса на каждом выделенном i -ом участке будет определяться функцией в виде суммы с учетом нормированных независимых показателей качества для каждого i -ого участка и значимости технологических параметров в общем количестве параметров технологического процесса.

$$Q_1 = a_i \cdot \sum_{j=1}^{K_i} b_{ij} \cdot X_{ij}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, K_i}, \quad (3)$$

где a_i - коэффициент значимости i -го участка в структуре технологического процесса;

b_{ij} - коэффициент значимости j -го параметра на i -ом участке;

X_{ij} - численное значение j -го параметра на i -м участке технологического процесса;

K_i - количество параметров на i -м участке, при ограничениях (4).

$$\sum_{i=1}^N a_i = 1; \quad \sum_{j=1}^{K_i} b_{ij} = 1. \quad (4)$$

Численные значения j -го параметра на рассматриваемом i -ом участке производства хлебобулочных изделий (X_{ij}) рассчитываются по формуле

$$X_{ij} = \text{abs}((X_{ij}^{\text{тек}} - X_{ij}^3)/\Delta X_{ij}^3), \quad (5)$$

где $X_{ij}^{\text{тек}}$ - текущее значение j -го параметра;

X_{ij}^3 - заданное значение j -го параметра;

ΔX_{ij}^3 - допустимое отклонение параметра от заданного значения, обоснованное требованиями технологии производства хлебобулочных изделий и метрологическими характеристиками контрольно - измерительных средств.

С учетом предыдущих формул (3 - 5), безразмерный показатель оценки качества протекания технологического процесса будет иметь вид:

$$Q = \sum_{i=1}^N a_i * \sum_{j=1}^{K_i} b_{ij} * \text{abs} \left(\frac{X_{ij}^{\text{тек}} - X_{ij}^3}{\Delta X_{ij}^3} \right), \quad (6)$$

Формула (6) позволяет сделать следующий вывод. Нормальное протекание процесса будет соответствовать изменению показателя Q в пределах от 0 до 1. При появлении отклонений в каком-либо из участков процесса производства значение показателя Q будет становиться больше 1.

Таким образом, признаком нарушения хода процесса на анализируемом i -ом участке будет служить условие

$$X_{ij} > 1, \quad (7)$$

и при его обнаружении после обработки на ЭВМ следует корректировать управляющее воздействие на объект с целью стабилизации значения параметра в заданной зоне допуска.

Численные значения заданных параметров и диапазона допустимого значения отклонения каждого параметра определяют в соответствии с требованиями технологического регламента процесса хлебобулочного производства и нормативных характеристик контрольно-измерительных средств, используемых на данном производстве. Текущие значения $X_{ij}^{\text{тек}}$ вводятся в ЭВМ от датчиков с заданной периодичностью опроса через равные промежутки времени с учетом времени запаздывания [7].

Коэффициенты значимости a_i, b_{ij} и значения N, K_i определяются с привлечением экспертов хлебобулочного производства и последующим использованием математического аппарата (метод экспертных оценок и ранговой корреляции). Таким образом, определены группы факторов, для которых необходимо провести экспертную оценку. В данном случае рассматриваются две группы факторов. Первая группа - участки технологического процесса в производстве хлебобулочных изделий, вторая группа - технологические параметры на каждом рассматриваемом участке. При этом исследуемая группа факторов ранжируется каждым специалистом (экспертом) независимо друг от друга в порядке возрастания или убывания количественного признака, отражающего сравнительную степень влияния контролируемых параметров по показателям качества.

В результате предварительного опроса экспертов составляется матрица рангов X_{ij} , указывающих место j -го параметра среди n других в последовательности, определенной i -м экспертом, $i=1, \dots, m$.

Так как мнения экспертов не всегда совпадают, то в целях получения достаточно объективных оценок находятся суммарные ранги $\sum_{i=1}^m X_{i1}, \sum_{i=1}^m X_{i2}, \dots, \sum_{i=1}^m X_{in}$ и затем рассчитывается коэффициент конкордации W , характеризующий объективную связь между мнениями (степень согласия). Для определения значения коэффициента конкордации используется формула $W = (12 * \sum(d^2)) / (m^2(n^3 - n))$, где $\sum(d^2)$ - сумма квадратов отклонений d суммарных рангов от средней суммы рангов; $m^2(n^3 - n)$ - максимальное значение при совпадении всех последовательностей.

Коэффициент конкордации изменяется от 0 до 1, т.е.

$$W = \begin{cases} 0, & \text{при отсутствии связи между ранжировками специалистов;} \\ 1, & \text{при полном согласии в упорядочивании величин по заданному признаку.} \end{cases}$$

Следовательно, чем значение коэффициента конкордации W ближе к 1, тем мнения экспертов более согласованы и, можно считать, близки к истине.

Таким образом, результатом оценки качества технологического процесса на этапе получения готового продукта является выявление нарушения в технологии приготовления, которое подтверждается численным значением выражения (6) и выполнением условия (7). При выявлении отклонений система выдает совет оператору о необходимости принятия срочных мер в виде управляющего воздействия с целью стабилизации процесса [6, 7].

Формирование показателя качества технологического процесса на этапе принятия решения о необходимости изменения рецептуры (Q_2)

Функционал качества производства хлебобулочных изделий на этапе принятия решения о необходимости изменения рецептуры будет характеризовать многостадийность технологического процесса, многообразие факторов, определяющих качество готового продукта, и влияние связей между ними. Исходные данные для определения оценки зависимости качества готового продукта от вида и свойств сырья можно получить в итоге заполнения и обработки анкет, учитывающих все органолептические показатели готового продукта. Взаимосвязь органолептических показателей качества готового продукта с качеством сырья и нормативными (или находящимися в пределах допустимых) значениями технологических параметров на этапе приготовления очевидна. Значения для множества показателей качества могут быть определены экспертным путем. Как правило, при описании качества внешнего вида готовой продукции сложно привести соответствующее численное значение. Для этого было использовано словесное описание. Органолептический показатель готового продукта был охарактеризован словесно. Затем, с помощью экспертов каждой характеристике показателя были даны весовые коэффициенты в диапазоне от 0 до 1. Таким образом, все характеристики показателей готового продукта являются лингвистическими переменными с присвоением им численных значений (весов) [5, 8].

В соответствии с действующей нормативно – технической документацией в хлебопечном производстве. Проанализируем 4 группы свойств готового продукта: критическая, существенная, второстепенная и слабо влияющая [8]. В каждую группу входит от 3 до 4 показателей. Каждый показатель имеет определенные характеристики, каждая из которых может иметь сильное проявление, не очень сильное проявление, среднее, близкое к среднему, слабое и т.д. Для описания показателя будем использовать лингвистическую переменную как модификацию выражения (1).

$$X_{ij} \rightarrow (Y, T(Y), G, M), \quad (8)$$

где Y – наименование переменной одной из критических групп;

$T(Y)$ – проявление характеристики показателя переменной, например «сильное проявление», «не очень сильное проявление», «среднее», «близкое к среднему», «слабое» и т.д.);

G – синтаксическое правило в общеграмматической форме, т.е. определение весов для градации степени проявления характеристики;

M – семантическое правило вывода, которое позволяет сделать выбор одной из градаций степени проявления характеристики переменной [8, 9].

Комплексный показатель качества для хлебобулочных изделий на этапе принятия решения о необходимости изменения рецептуры имеет вид:

$$Q_2 = A_1 \cdot \sum_{j=1}^{K_1} b_{1ij} X_{1ij} + A_2 \cdot \sum_{j=1}^{K_2} b_{2ij} X_{2ij} + A_3 \cdot \sum_{j=1}^{K_3} b_{3ij} X_{3ij} + A_4 \cdot \sum_{j=1}^{K_4} b_{4ij} X_{4ij},$$

где $i = 1, \dots, 4$ соответствуют группам свойств: критической, существенной, второстепенной и слабо влияющей;

j – определяет общее количество переменных в каждой группе и изменяется до определенного значения;

K_1, K_2, K_3 и K_4 – целые положительные константы, определяющие общее количество показателей в каждой группе;

A_1, A_2, A_3 и A_4 – безразмерные количественные оценки значимости каждой рассматриваемой критической группы;

$b_{1ij}, b_{2ij}, b_{3ij}$ и b_{4ij} – безразмерные количественные оценки значимости переменной;

$X_{1ij}, X_{2ij}, X_{3ij}$, и X_{4ij} – полученные точные значения показателя на основе выражения (8).

Максимально возможное значение комплексного показателя качества готового продукта по органолептическим показателям Q_2 должен лежать в пределах от 85 до 100 баллов. Если значение комплексного показателя ниже 85 баллов, то, есть смысл задуматься о внесении изменений в рецептуру изделия.

Заключение

При определении качества протекания процесса использован комплексный показатель, дающий представление о его состоянии на разных фазах его функционирования.

Предложенный подход к рассмотрению системы оценки качества хлебобулочных изделий может быть обобщен для многостадийных технологических процессов, с многообразием динамического сочетания факторов, которыми определяется качество готового продукта. Характеристики факторов и взаимодействие их с другими показателями зависит от конкретной предметной области, от условий функционирования и вида выпускаемого готового продукта. В зависимости от значимости показателей качества и их взаимодействия, по-разному выстраивается и их иерархическая структура.

Библиографический список

1. Абрамов Г.В. Разработка элементов экспертной информационной системы на основе нечётких правил вывода / Г.В. Абрамов, Л.А. Коробова, И.А. Матыцина // Энергия - XXI век. 2018. № 4 (104). С. 86-91.
2. Коробова Л.А. Применение лингвистических переменных в процессе поддержки принятия решения / Л.А. Коробова, И.А. Матыцина, И.Е. Медведкова // В сборнике: Материалы LVII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2018 год Под редакцией О.С. Корнеевой. 2019. С. 83-84.
3. Pospelov D.A. Fuzzy reasoning in pseudo-physical logics Pospelov D.A. Fuzzy Sets and Systems. 1987. Т. 22. № 1-2. С. 115-120.
4. Коробова Л.А. Математическое моделирование взаимодействия перерабатывающих предприятий молочной промышленности с внешней средой: специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Коробова Людмила Анатольевна; Воронежский технологический институт. - Воронеж, 2002. – 155 с.
5. Дерканосова, Н.М. Проектирование и обеспечение качества пищевых продуктов (на примере хлебобулочных изделий): монография / Н.М. Дерканосова, Л.А. Коробова, Е.Ю. Ухина – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга" (Воронеж), 2016. – 140 с.
6. Коробова, Л.А. К вопросу повышения качества выпуска хлебобулочных изделий / Л.А. Коробова // В сборнике: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение Конференция приурочена к 85-летию ВГУИТ и проводится в рамках реализации V агропромышленного конгресса и Ассоциации «Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания». 2015. С. 399-401.
7. Сафонова, Ю.А. Оптимизация управления качеством производственных процессов на основе вероятностного подхода при взаимозависимости стадий производства / Ю.А. Сафонова, О.В. Авсеева, Л.А. Коробова – Текст: непосредственный // Экономика и менеджмент систем управления. 2015. Т. 15. № 1-3. С. 369-379.
8. Дерканосова, Н.М. Применение принципов квалиметрии для оценки потребительских свойств хлебобулочных изделий [Текст] / Н.М. Дерканосова, Е.Ю. Ухина // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов, Издательство: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева (Орел), № 4 (27), 2014 г., 120 стр., С. 69-74.
9. Коробова Л.А. Логико-лингвистическое моделирование процесса диагностики / Л.А. Коробова, И.А. Матыцина // В сборнике: Моделирование энергоинформационных процессов Сборник материалов VII национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 405-408.

УДК 621.311

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ – ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

С.Н. Даровских¹, П.М. Шоназаров², Ф.Т. Холлов³¹Южно-Уральский государственный университет, Российская Федерация,
Челябинск, darovskih_s@mail.ru²Южно-Уральский государственный университет, Российская Федерация,
Челябинск, shonazarov1991@gmail.com³Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Российская Федерация, Томск, fozil_1990-90@mail.ru

Аннотация. На основе корреляционной обработки спектров музыкальных произведений известных композиторов доказывается высокий уровень их связи с низкочастотными флуктуациями микроволнового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли. Выявленную закономерность можно интерпретировать так, что произведения известных музыкальных произведений есть не что иное как отражение в авторской обработке реальных природных процессов, к которым можно отнести флуктуации микроволнового излучения Солнца. Полученный результат может быть положен в основу обоснования необходимой процедуры определения тех или иных музыкальных произведений для их использования в лечебных целях. В этой статье представлен спектральный анализ музыкальных произведений с использованием вейвлет-преобразования. Программа, которая анализирует аудиосигналы в нашей работе разработана на языке программирования C#. В результате приведены преобразования нескольких музыкальных произведений низкочастотными флуктуациями микроволнового излучения Солнца. Вейвлет-преобразование — это математический инструмент, который обеспечивает постоянную добротность в спектральном анализе сигналов. Используется для спектрального анализа сигнала наряду с преобразованием Фурье – классическим примером инструмента спектрального анализа. Таким образом, он эффективно применен для анализа музыкальных сигналов, как частоты в музыкальном масштабе разделены логарифмически. Отмечены преимущества введенной корреляционной функции перед другими корреляционными функциями, в частности, возможности анализировать не только временные, но и частотные корреляции нестационарных сигналов.

Ключевые слова: спектральный анализ, корреляционный анализ, вейвлет-преобразование, нестационарные сигналы, частотная корреляция, музыкальные произведения.

ANALYSIS OF SPECTRAL MUSICAL WORKS WITH USE OF WAVELET - TRANSFORMATIONS

S.N. Darovskih¹, P.M. Shonazarov², F.T. Kholov³¹South State Ural University, Russian Federation, Chelyabinsk, darovskih_s@mail.ru²South State Ural University, Russian Federation, Chelyabinsk, shonazarov1991@gmail.com³Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russian Federation,
Tomsk, fozil_1990-90@mail.ru

Abstract. Based on the correlation processing of the spectra of musical works by famous composers, a high level of their connection with low-frequency fluctuations of the microwave radiation of the Sun reaching the Earth's surface is proved. The revealed regularity can be interpreted so that the works of famous musical works are nothing more than a reflection in the author's processing of real natural processes, which include the fluctuations of the microwave radiation of the Sun. The result can be used as the basis for substantiating the necessary procedure for determining certain musical works for their use for medicinal purposes. This article presents a spectral analysis of musical works using wavelet transform. The program that analyzes the audio signals in our work is developed in the C # programming language. The result is a conversion of several pieces of music by low-frequency fluctuations of the solar microwave radiation. Wavelet transform is a mathematical tool that provides a constant Q factor in the spectral analysis of signals. Used for spectral analysis of a signal along with the Fourier transform, a classic example of a spectral analysis tool. Thus, it is effectively applied to the analysis of musical signals, as frequencies on a musical scale are separated logarithmically. The advantages of the introduced correlation function over other correlation functions are noted, in particular, the ability to analyze not only temporal, but also frequency correlations of non-stationary signals.

Keywords: spectral analysis, correlation analysis, wavelet transform, non-stationary signals, frequency correlation, musical works.

Разработка природоподобных технологий профилактики и лечения широкого спектра заболеваний человека – одно из перспективных направлений развития мировой системы здравоохранения. Сложность реализации указанного направления обусловлена неразрешенностью проблемы понимания механизма природной регуляции, обеспечивающего гомеостаз организма, определением основных его источников в ходе эволюции живой природы, а также причин его ослабления в современных условиях. Важным фактором влияния на гомеостатические функции организма является акустический фон природного происхождения. Он представляет собой совокупность слабых механических возмущений различной физической природы, распространяющихся в упругой среде. Слышимые звуки являются важным источником информации для объектов живой природы, влияющих на их регуляторные функции. Эта закономерность нашла отражение в применении музыкальных произведений известных композиторов, в первую очередь В. А. Моцарта, для профилактики и лечения широкого спектра психосоматических заболеваний, развивающихся в организме, как реакция на стресс. Близким по лечебному эффекту признаны григорианские песнопения, а также произведения И. С. Баха, А. Вивальди, Г. Генделя, П. И. Чайковского, Ф. Шопена, Ф. Шуберта, Р. Шумана и др. [1-3].

Многочисленными исследованиями установлено, что под действием указанных музыкальных произведений осуществляется стимуляция иммунной системы, частично обусловленная необходимым синтезом дофамина для коррекции многих психических процессов [4-6]. Получение удовольствия от прослушивания музыки также связано с выработкой мозгом окситоцина, действующего как мягкий наркотик. Ряд исследователей связывают положительный эффект от прослушивания музыки с её согласованностью с частью высокочастотных биоритмов организма человека. Несмотря на большой объем информации о лечебном эффекте указанной выше музыки при лечении психосоматических заболеваний человека, полного понимания того, что те или иные музыкальные произведения оказывают необходимое воздействие на организм, нет. Также не ясен эволюционный механизм высокой управляющей роли для организмов этих музыкальных произведений. Для разрешения указанных проблем необходимо проведение сравнительного спектрального анализа музыкальных произведений с реальными процессами природного происхождения, с которыми связана эволюция организмов и человека, в частности.

Цель данной статьи состоит в оценке корреляционной связи спектров известных музыкальных произведений с низкочастотными флуктуациями микроволнового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли, - основного источника формирования и эволюции регуляторных систем организмов.

В данной работе проанализированы два новых подхода к анализу нестационарных аудиосигналов. Первый подход основан на введении адаптивного вейвлета Морле, позволяющего измерять частотное и временное разрешения исследуемых сигналов с помощью данного метода. Второй метод связан с использованием корреляционной функции, которая представляет собой корреляцию непрерывных вейвлетных преобразований двух сигналов, вычисленных как по частоте, так и по времени. В статье представлены результаты анализа звуковых сигналов и корреляция с низкочастотными вариациями микроволнового излучения Солнца - МИС.

Временная характеристика сигнала

Главными направлениями данного метода являются непрерывный и дискретный вейвлет-анализ. Результатом непрерывного вейвлет-анализа некоторого сигнала, заданного функцией $f(t)$, будет функция $Wf(a,b)$, которая зависит уже от двух переменных – от координаты b и от масштаба a [7].

Строгое определение выглядит так:

$$Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt. \quad (1)$$

Выбор изучаемых музыкальных произведений

Известно, что «МИС» (микроволновое излучение спокойного Солнца) может оказывать положительное влияние на гомеостаз человека. Изучением этого вопроса занимаются ученые по всему миру. Существуют медицинские приборы «АИМТ-1» (Аппарат информационной микроволновой терапии), основанные на генерировании МИС, которые используются в оздоровительных целях [8-9]. Не оспорим также факт влияния музыкальных произведений на организм человека, его настроение и регуляторные функции. В связи с этим есть предположение о возможности объединения двух сигналов с целью получения излучения, модулированного по закону музыкального произведения. В данной работе анализируем несколько музыкальных произведений, которые были изучены с целью нахождения максимального сходства с низкочастотными вариациями МИС.

Экспериментальная часть

В ходе проведения эксперимента была получена временная характеристика и спектрограмма этих сигналов. Анализ временной характеристики и спектрограммы указанных музыкальных произведений (рисунок 1.1 - 6.1) свидетельствует о наличии общих закономерностей и небольших амплитудных отличий их распределения по частотам.

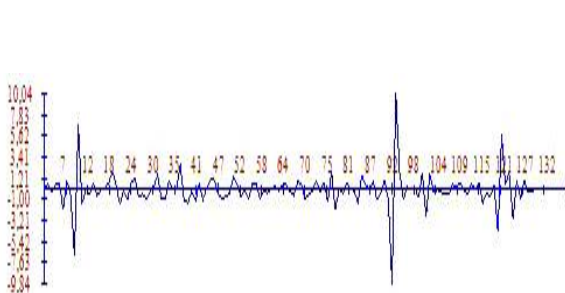


Рис.1. Временная характеристика МИС

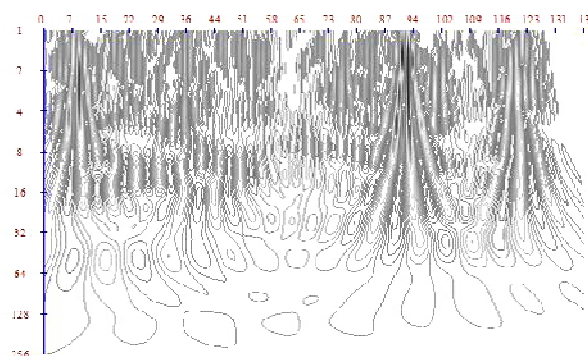


Рис. 1.1. Спектрограмма МИС

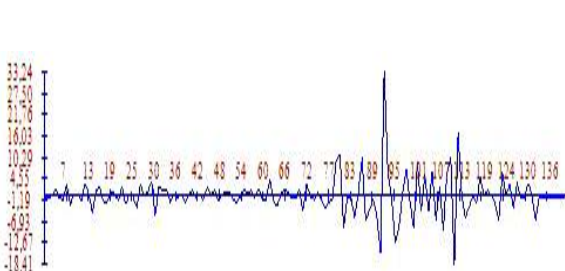


Рис. 2. Временная характеристика музыки
В.А. Моцарта «Симфония №4»

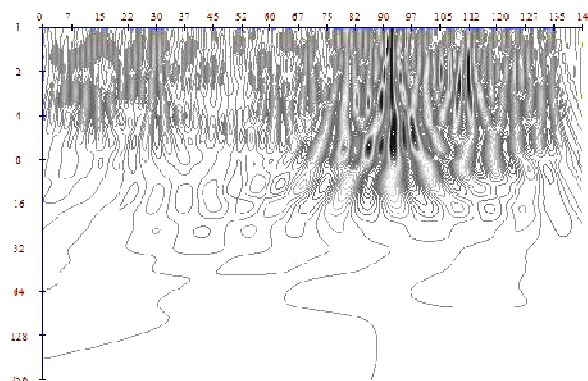


Рис. 2.1. Спектрограмма музыки
В.А. Моцарта «Симфония №4»

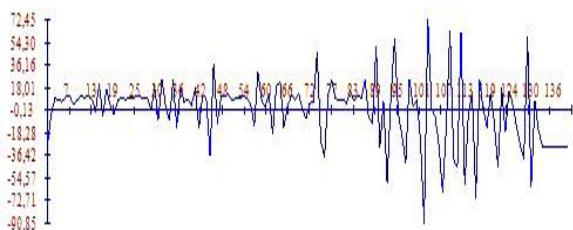


Рис. 3. Временная характеристика музыки И.С. Баха «Токката и fuga Ре минор»

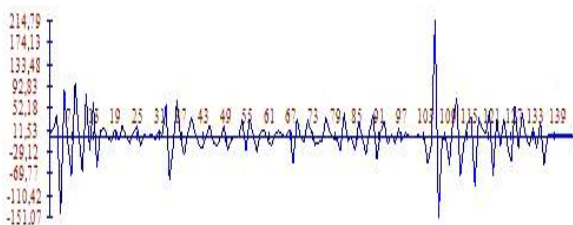


Рис. 4. Временная характеристика музыки Ванессы Мэй «Токката и fuga Ре минор в современной обработке»

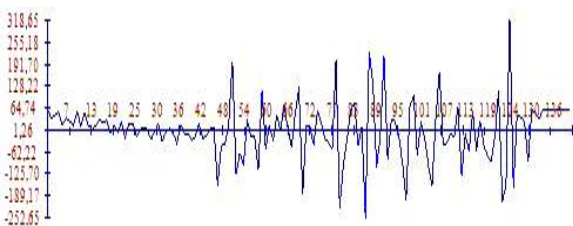


Рис. 5. Временная характеристика музыки «Тяжелый немецкий рок»

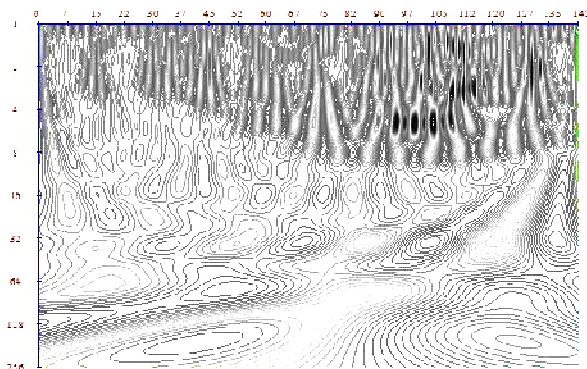


Рис. 3.1. Спектрограмма музыки И.С. Баха «Токката и fuga Ре минор»

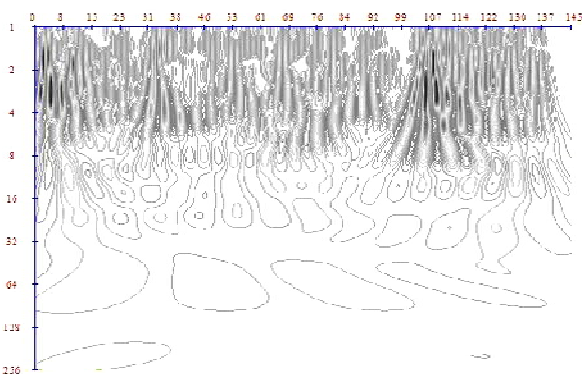


Рис. 4.1. Спектрограмма музыки Ванессы Мэй «Токката и fuga Ре минор в современной обработке»

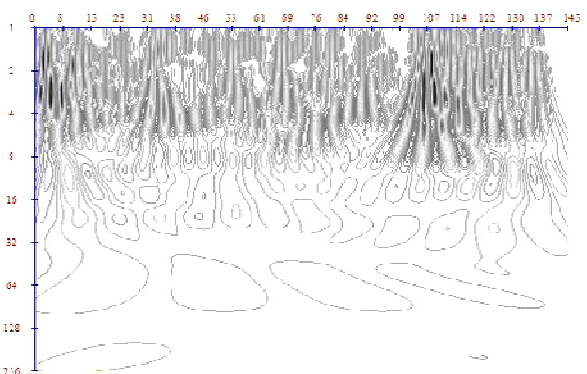


Рис. 5.1. Спектрограмма музыки «Тяжелый немецкий рок»

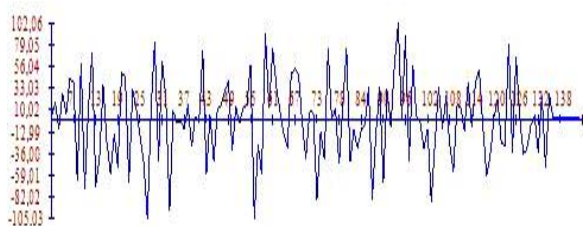


Рис. 6. Временная характеристика «Белый шум»

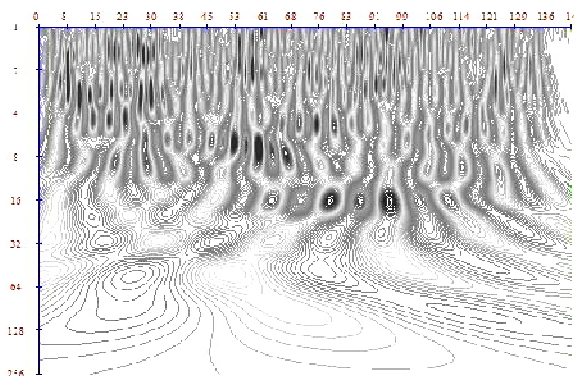


Рис. 6.1. Спектрограмма «Белый шум»

Вычисление взаимной схожести аудио сигналов

Для определения взаимной схожести аудиосигналов разработана программа на языке программирования C# с применением вейвлет-преобразования. В данном разделе статьи показаны результаты экспериментов по нахождению корреляционной связи частотного спектра сигналов различных музыкальных произведений со спектром спокойного излучения солнца. Для любых сигналов $M_a(t)$ и $M_b(t)$ можно ввести корреляционную функцию (KKF) [10-13]

$$KKF_{ab}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} M_a(t') M_b(t + t') dt' \quad (2)$$

Функция $KKF_{ab}(t)$ характеризует взаимосвязь между сигналами, взятыми в различные моменты времени.

Выводы по корреляционным функциям

Исходя из проведенного эксперимента, был рассчитан средний коэффициент корреляции каждого музыкального произведения с МИС. Данные отображены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициент корреляции сигналов

Название музыкального произведения	Коэффициент корреляции %
В.А.Моцарт «Симфония №4»	72
И.С.Бах «Токката и фуга Ре минор»	67
Ванесса Мэй «Токката и фуга Ре минор в современной обработке»	71
Тяжелый немецкий рок	67
Белый шум	47

Были выделены отличительные особенности корреляционной функции каждого сигнала во всей частотной области спектра. Наибольшим коэффициентом корреляции обладает музыкальное произведение В.А. Моцарта «Симфония №4», а также Ванессы Мэй «Токката и фуга Ре минор в современной обработке». Этот факт говорит о том, что в частотной области музыка Моцарта достаточно сильно коррелирует с музыкой Ванессы Мэй «Токката и фуга Ре минор в современной обработке». Таким образом, можно сделать вывод, что музыка Моцарта оказывает такой же успокаивающий и умиротворяющий эффект, как и музыка Ванессы Мэй «Токката и фуга Ре минор в современной обработке».

Заключение

В таблице 1 показаны результаты расчета коэффициента корреляции спектров представленных музыкальных произведений со спектром МИС, которые следует признать неожиданными, так как они отражают неизвестную ранее высокую степень их корреляции. Исходя, из выявленной закономерности следует, что произведения известных композиторов можно рассматривать как отражение в авторской обработке реальных природных процессов, к которым можно отнести МИС. Полученный результат может быть положен в основу обоснования необходимой процедуры определения тех или иных музыкальных произведений для их использования в лечебных целях.

Для этого было разработано программное обеспечение в языке программирования C# для оценки временных и частотных составляющих различных жанров музыкальных произведений, а также найдены корреляционные функции и коэффициент корреляции каждого жанра с МИС. В эксперименте участвовали следующие жанры музыкальных произведений:

- В.А.Моцарт «Симфония №4»
- И.С.Баха «Токката и фуга Ре минор»
- Ванесса Мэй «Токката и фуга Ре минор в современной обработке»
- Тяжелый немецкий рок
- Белый шум

Классическая музыка (представитель – В.А. Моцарт) обладает наибольшим сходством среди данных музыкальных произведений с МИС с результатом 72%. По этому закону было промодулировано несущее колебание прибора, используемое для коррекции регуляторных функций организма человека. Для сравнительной оценки в таблице 1 приведены результаты расчета корреляционной связи МИС, а также с низкочастотным аналогом «белого» шума. Они отражают низкую корреляционную связь с природными низкочастотными флуктуациями электромагнитного излучения природного происхождения.

Библиографический список

1. Фролов, Е. П. Звукотерапия. Физиологический, психоэмоциональный, медицинский и социальный аспекты голоса и слова. / Е.П. Фролов - М.: 2014. -620 с.
2. Анализ спектральных характеристик музыкальных произведений и их влияние на гомеостаз человека / П.М.Шоназаров, Ф.Т.Холов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 4 . С. 139–152
3. П.М. Шоназаров, Сравнительный анализ спектральных характеристик музыкальных произведений народа Таджикистана с низкочастотными вариациями микроволнового излучения Солнца /П.М.Шоназаров // IV научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Наука-основа инновационного развития» 24-25 апреля 2019 года часть 1- Душанбе -2019. – С.309-312.
4. Беляева - Экземплярская, С. Н. О психологии восприятия музыки. Изд. 2. / Беляева - Экземплярская. С. Н.- М.: ЛЕНАНД, 2014. - 120 с.
5. Бакши, Л. С. Природа звукозрительных образов. Музыка и театр в XXI веке // Л. С. Бакши - Музыкальная академия. – 2011. № 1. – 48-55с.
6. Глаголова А. В., Прохорова Е. Н. Влияние музыки на здоровье человека // Юный ученый. — 2016. — №6. — С. 94-95
7. Вадутов О.С. Математические основы обработки сигналов. Томск: Томского политехнического университета, 2011. 212 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

10. Saidov, B.B. Spectrum Transformation of an Amplitude-Modulated Signal on a Nonlinear Element / B.B. Saidov, V.I. Tambovtsev, I.I. Prokhorov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 71–78.

11. Саидов, Б.Б. Преобразования спектра сигнала в активном нелинейном элементе с кубической характеристикой / Б.Б. Саидов, И.С. Следнев, В.И. Тамбовцев // Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC*2019). – Воронеж, 2019 – Т. 6. – С. 1–6.

13. Калякин И.В. Выбор частоты дискретизации для более точного обнаружения локального сигнала // Материалы 18-й международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM*2015). Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. С. 205–208.

УДК 614.48; ГРНТИ 76.33.43

ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГИГИЕНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВНУТРИБОЛЬНИЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

О.В. Мельник, Р.П. Косов, М.В. Косова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, omela111@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются принципы контроля и управления гигиеническими параметрами внутрибольничных помещений. Изложены основные требования к гигиеническим параметрам внутрибольничных помещений, сформулированы основные задачи и функции автоматизированной системы контроля и управления доступом во время газовой стерилизации, разработаны алгоритмы прохода в помещения, предложены основные элементы системы, обеспечивающие автоматизацию доступа персонала.

Ключевые слова: внутрибольничная инфекция, гигиена внутрибольничных помещений, параметры контроля допустимых показателей, газовая стерилизация, система контроля и управления доступом.

PRINCIPLES OF CONTROL AND MANAGEMENT OF HYGIENIC PARAMETERS OF IN-HOSPITAL PREMISES

O.V. Melnik, R.P. Kosov, M.V. Kosova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, omela111@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the principles of control and management of hygienic parameters of in-hospital premises. The basic requirements for the hygienic parameters of in-hospital premises are outlined, the main tasks and functions of an automated access control and management system during gas sterilization are formulated, algorithms for access to rooms are developed, the basic elements of the system that provide automation of personnel access are proposed.

Keywords: nosocomial infection, hygiene inside the hospital premises, parameters for monitoring acceptable indicators, gas sterilization, access control and management system.

Целью обеспечения контроля и управления гигиеническими параметрами является снижение (исключение) риска инфицирования больного и персонала при нахождении его во внутрибольничных помещениях, а также предотвращение распространения инфекций, в том числе внутрибольничных. Одним из наиболее эффективных подходов к дезинфекции внутрибольничных помещений является использование озона. Озонирование помещений обеспечивает не только уничтожение патогенов в воздухе, но и дезинфекцию поверхностей. Результаты исследования зависимости обеззараживающего эффекта озона от материалов предметов обстановки обрабатываемых помещений показали, что через 30 минут озонирования наступает полная гибель микроорганизмов на керамике, стекле, металле, пластике и сохраняются единичные колонии на пористых поверхностях (дерево, линолеум). При экспозиции 60 минут наступает полная микробная деконтаминация поверхностей из любого материала [1]. Однако при этом газовая стерилизация внутрибольничных помещений влечёт за собой

повышенные требования обязательного контроля и обеспечения безопасности обслуживающего персонала и пациентов из-за очень высокой окислительной способности озона.

Таким образом, актуальной задачей является разработка системы контроля и управления доступом (СКУД) в помещения, которая обеспечивала бы безопасность пациентов и персонала в ходе проведения стерилизации. В данной статье рассмотрены основные требования к гигиеническим параметрам внутрибольничных помещений, сформулированы основные задачи и функции СКУД, разработаны алгоритмы прохода в помещения. Предложены основные элементы системы, обеспечивающие автоматизацию доступа персонала.

Основные гигиенические параметры внутрибольничных помещений

На основе нормативных документов [2-13] были сформулированы требования к гигиеническим параметрам помещений и разрабатываемой СКУД. Помещения классифицируются по группам по предельно допустимым концентрациям частиц и микроорганизмов – КОЕ (колониеобразующая единица – показатель количества жизнеспособных микроорганизмов в единице объема) в воздухе. Предельно допустимые концентрации частиц в воздухе задаются классами чистоты помещений по #M12291 1200032260ГОСТ ИСО 14644-1.

Чистота воздуха для каждой группы помещений задается максимально допустимой концентрацией частиц с размерами, большими или равными 0,5 мкм (по ГОСТ ИСО 14644-1#S), а также максимально допустимой концентрацией КОЕ в воздухе для «оснащенного состояния» помещения, т.е. технологическое и медицинское оборудование установлено и работает, при отсутствии в нем больных и персонала.

В таких помещениях не должны находиться частицы 5 мкм и больше; так как статистически невозможно доказать отсутствие таких частиц, были приняты лимиты 1/м³; в ходе валидации (квалификации) следует доказать, что помещения (частицы) поддерживаются в установленных допустимых пределах.

Мониторинг чистоты должен выполняться в функционирующем состоянии. В асептическом процессе необходимо часто проводить мониторинг с использованием нескольких методов (пробоотбор воздуха, седиментационный метод осаждения, смывы, отпечатки). По окончании цикла следует проводить контроль поверхностей и персонала. Необходимо установить пределы предупреждения и действия для контаминации.

Под чистотой воздуха принимают соблюдение параметров контаминации механическими частицами и живыми непатогенными микроорганизмами в допустимых интервалах.

Микробиологический мониторинг, помимо контроля параметров микроклимата, необходим и для контроля параметров результатов процессов, например процесса санитарной обработки поверхностей.

Мойка и очистка служат в первую очередь для удаления физических и химических остаточных продуктов. Напротив, для удаления остаточных продуктов биологического характера (микроорганизмов) служат процессы стерилизации и дезинфекция.

Известно, что дезинфицирующие средства следует периодически менять во избежание возможного появления устойчивости микроорганизмов по отношению к используемому реактиву или создания предпосылок для аллергической реакции людей.

Стерилизация – наиболее эффективный процесс умерщвления микроорганизмов. К основным типам стерилизации в первую очередь относятся:

- стерилизация паром;
- стерилизация сухим жаром;
- фильтрация;
- химическая стерилизация;
- излучение;
- стерилизация газом.

Разница между дезинфекцией и санитарной обработкой (стерилизацией) наглядно представлена на рис. 1. Оба метода снижают количество микроорганизмов, но при дезинфекции может через какое-то время отмечаться их рост (сплошная линия), в то время как после стерилизации микроорганизмы уже не появятся (пунктирная линия).

В процессе стерилизации наиболее трудоемкие зонами являются:

- накапливающие загрязнения элементы ограждающих конструкций, ниши, угловые зоны, зоны закрытые мебелью и технологическим оборудованием;
- труднодоступные участки мебели;
- водопроводно-канализационные системы, умывальники, раковины;
- технологическое медицинское оборудование.

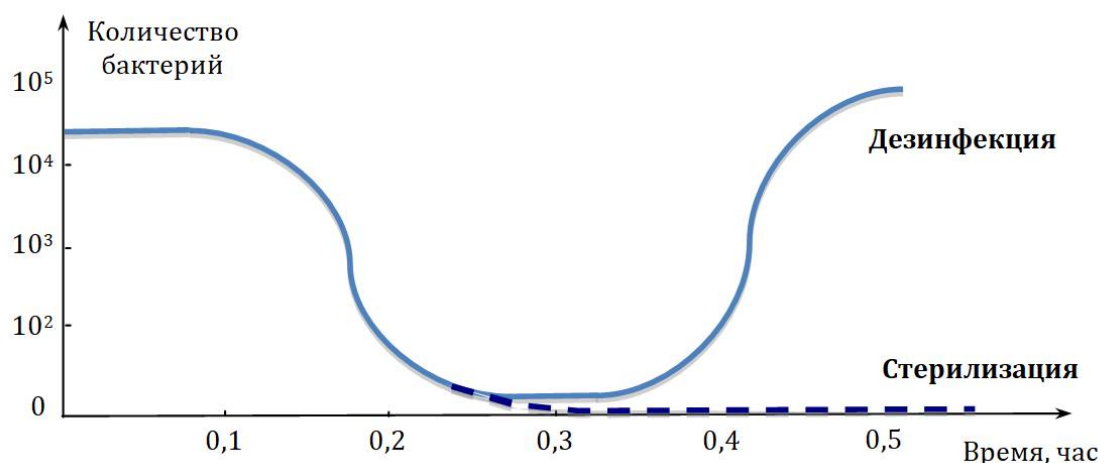


Рис. 1. Сравнение эффективности стерилизации и дезинфекции

По всем проведенным операциям операторы должны сразу же после их окончания сделать записи. Учет процедур очистки должен быть веден самостоятельно по каждой комнате и единице оборудования. При этом должен производиться контроль записей руководителем отделения или другим назначенным должностным лицом.

Учитывая сложность и трудоемкость данных процессов, возникли все предпосылки для разработки автоматизированных систем управления параметрами микроклимата, стерилизации и протоколирования параметров контроля внутрибольничных помещений.

Автоматизированная система контроля и управления доступом

В процессе стерилизации при использовании озона на первый план выходят процессы протоколирования параметров контроля доступа внутрибольничных помещений, которые будут предназначены для ограничения доступа в отдельные группы помещений определенных групп персонала и посетителей.

Разрабатываемая Система контроля и управления доступом (СКУД) должна быть пригодна для длительного непрерывного круглосуточного функционирования. Отказы и неисправности СКУД должны легко локализоваться и устраняться. В случае выхода из строя отдельных компонент СКУД, безопасность на объекте обеспечивается за счет функционирования работоспособных компонентов.

Система контроля и управления доступом должна обеспечивать решение следующих задач:

- Ведение и поддержание баз данных пользователей и карт/идентификаторов;
- Хранение фотографий пользователей в Базе данных (БД);

- Фиксация даты и времени прохода в БД;
- Задание уровней доступа;
- Автономная работа контроллеров системы с сохранением основных функций управления при нарушении связи с сервером БД;
- Регистрация и хранение информации о событиях в энергонезависимой памяти контроллеров СКУД;
- Сохранение идентификационных признаков в памяти системы при отказе и отключении электропитания;
- Открывание Устройством преграждающее управляемое (УПУ) при считывании зарегистрированного в памяти системы идентификационного признака;
- Запрет открывания УПУ при считывании незарегистрированного в памяти системы идентификационного признака;
- Ограничение доступа по времени;
- Идентификацию и санкционированное посещение на территорию внутрибольничных помещений клиентами и сотрудниками.

Система контроля и управления доступом должна обеспечивать следующие **функции**:

- Учет рабочего времени;
- Контроль времени нахождения на территории внутрибольничных помещений посетителей;
- Поиск сотрудников на территории внутрибольничных помещений;
- Регистрация и протоколирование тревожных событий СКУД (вскрытие двери силой, удержание двери открытой, ошибка уровня доступа и пр.);
- Интерактивное управление средствами СКУД по изображению на плане объекта;
- Управление работой УПУ в точках доступа по командам оператора (в том числе блокировка прохода в случае начала режима стерилизации);
- Установка режима свободного доступа командой оператора при аварийных ситуациях;
- Приоритетное отображение тревожных событий на плане внутрибольничных помещений;
- Защита технических и программных средств от несанкционированного доступа к элементам управления, установки режимов и к информации;
- Web-интерфейс с установкой защищенного соединения;
- Rich-клиент;
- Возможность программной интеграции, регистрация и протоколирование событий в подсистемах охранно-тревожной сигнализации и видеонаблюдения;
- Привязка видео к событиям в системе;
- Аудит действий операторов (протоколирование действий).
- Наличие SDK (Software Development Kit) для самостоятельной доработки функционала;
- Создание и печать отчетов по учету времени нахождения на территории и процессов/режимов дезинфекции внутрибольничных помещений на конкретную дату (период), с возможностью выгрузки в Word, Excel;
- Обеспечение в соответствии с требованиями СП 1.13130.2009 при пожаре беспрепятственного прохода через двери эвакуационных выходов из поэтажных коридоров, холлов, фойе, вестибюлей и лестничных клеток без использования ключей или карт доступа.

Аппаратная часть системы должна обеспечивать:

- Возможность подключения различных типов считывателей;

- Контроль состояния УПУ (открыто, закрыто, заблокировано, разблокировано);
- Автоматическое формирование сигнала сброса на УПУ при отсутствии факта прохода или штатного завершения процесса стерилизации внутрибольничных помещений;
- Возможность установки времени открывания и блокировки УПУ;
- Ручное, полуавтоматическое или автоматическое открывание УПУ для прохода при аварийных ситуациях, пожаре, технических неисправностях в соответствии с правилами установленного режима и правилами противопожарной безопасности;
- Выдача сигнала тревоги при использовании системы аварийного открывания УПУ в случае несанкционированного проникновения;
- Световая индикация о состоянии доступа (разрешен, запрещен и пр. на считывателях и УПУ);
- Световое и (или) звуковое оповещение о попытках несанкционированного доступа;
- Возможность интегрирования с системой охранной, пожарной сигнализации и видео-контроля.

Система должна поддерживать следующие **режимы и алгоритмы прохода**:

- Вход и выход по считывателю;
- Проход «с подтверждением» со стороны оператора (охранника);
- Защита от повторного входа (antipassback);
- Доступ по правилу «двух (и более) лиц»;
- Доступ в режиме «эскорт» (проход пациентов с сопровождающим);
- Ограничение количества лиц в помещении (зоне);
- Активация/деактивация карт по времени;
- Блокировка перед началом режима дезинфекции;
- Разблокировка при возникновении аварийных ситуаций.

Системой контроля и управления доступом оборудуются следующие зоны и помещения:

- помещения групп АІ и АІІ со считывателями на вход и выход;
- служебные и технические помещения со считывателями на вход и выход;
- прочие помещения и зоны по согласованию.

Открытие дверей, оборудованных системой контроля и управления доступом, предусматривается с помощью оснащенных чипами идентификаторов.

Оборудование дверей системой контроля и управления доступом на вход предусматривает, что внутренняя ручка всегда открывает ригель замка и обеспечивает свободный выход из помещения. При этом внешняя ручка двери подключена к контроллеру СКУД так, что при поднесении к считывателю с внешней стороны двери валидного идентификатора дверь разблокируется нажатием на внешнюю ручку.

Все двери, оборудованные системой контроля и управления доступом, комплектуются доводчиками со скользящим каналом, магнитноконттактными извещателями, электромеханическими замками. Большая часть дверей должны быть оснащены электромагнитными замками.

При срабатывании автоматической пожарной сигнализации двери на эвакуационных выходах (коридоры, выходы на лестничные клетки и на улицу) должны автоматически разблокироваться, а турникеты перейти в режим свободного прохода.

Основные элементы СКУД:

- контроллеры доступа с источниками бесперебойного питания (ИБП);
- мультиформатные считыватели бесконтактных идентификаторов;

- электромагнитные, электромеханические замки;
- светофорная система, информирующая об активации режима активации стерилизации внутрибольничных помещений;
- кнопки выхода Push Button со стороны выхода на дверях с контролем доступа на вход в случае использования электромагнитных замков;
- доводчики со скользящим каналом;
- коммутаторы СБ;
- рабочее место с функцией протоколирования для оператора.

Электропитание контроллеров СКУД должно производиться от ветки электроснабжения источника бесперебойного питания системы безопасности через электрощитки в кроссовых.

Управление системой и отображение ее состояния должно производиться через автоматизированное рабочее место (АРМ) СКУД, совмещенное с АРМ охранно-тревожной сигнализации.

Газовая стерилизация (озонирование) внутрибольничных помещений не требует расходного материала, но влечёт повышенные требования обязательного контроля и обеспечения безопасности обслуживающего персонала и пациентов. Разработка автоматизированной системы контроля и управления доступом при проведении стерилизации, соответствующей требованиям нормативных документов, позволит обеспечить повышение эффективности контроля и управления гигиеническими параметрами внутрибольничных помещений.

Библиографический список

1. Мельник О.В., Косов Р.П., Косова М.В. Возможности применения озона для уничтожения патогенных штаммов микроорганизмов при борьбе с внутрибольничной инфекцией // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2019: сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2019 г. С. 265-268.
2. СанПиН 2.1.3.2630-10 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность.
3. СП 158.13330.2014. Свод правил. Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования (утв. Приказом Минстроя России от 18.02.2014 N 58/пр).
4. СП 118.13330.2012. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/10).
5. СП 60.13330.2012. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 279).
6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 23.06.2014) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2014).
7. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.
8. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха.
9. ГОСТ Р ИСО 14644-2-2001. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения соответствию ГОСТ ИСО-14644-1.
10. ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию.
11. ГОСТ Р 52539-2006. Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования.
12. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
13. ГОСТ Р 50571.28-2006. Электроустановки медицинских помещений.

УДК 615.47.004.93

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ НА ОЦЕНКУ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЮ

О.В. Мельник, А.Ю. Лоскутов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,**Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В статье рассматриваются виды взаимодействия световых волн с поверхностью. Приводятся их основные особенности, влияющие на оценку информативных параметров. Также рассматривается эффект интерференции, возникающий при этих взаимодействиях.

Ключевые слова: влияние интерференции, интерференция, взаимодействие световых волн, преломление света, отражение света, показатель качества изображения, ПКИ.

INFLUENCE OF THE INTERFERENCE ON ASSESSMENT OF INFORMATIVE PARAMETERS ACCORDING TO THE VIDEO IMAGE

O.V. Melnik, A.Y. Loskutov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,**Russia, Ryazan*

The summary. The article discusses the types of interaction of light waves with the surface. Their main features affecting the assessment of informative parameters are given. The effect of interference arising from these interactions is also considered.

Keywords: influence of the interference, interference, interaction of light waves, light refraction, light reflection, picture quality index, PQI.

Обработка видеоизображений является перспективным способом бесконтактного получения информации об объектах окружающего мира и, в частности, биообъектов, в различных задачах диагностики и мониторинга их параметров. На сегодняшний день уровень развития средств вычислительной техники открывает новые возможности для автоматизированного отслеживания и анализа оптических изображений в режиме реального времени, что создает предпосылки для создания систем бесконтактного измерения и контроля физиологических параметров человека, в том числе и в общественных местах. Ряд физиологических параметров, таких, как пульс, дыхание, окуломоторная активность, особенности крупной и мелкой моторики отражают текущее функциональное и психоэмоциональное состояние человека.

Применение анализа видеоизображений для выявления информативных параметров биообъектов требует решения ряда технических задач, обусловленных спецификой механизмов регистрации информации. Например, в большинстве носимых устройств для оптической регистрации пульса – фитнес-браслетах, умных часах и т.д. применяется регистрация отраженной от тела человека световой волны в определенном диапазоне длин волн [1], в то время как информация на видеоизображении содержит весь видимый спектр в условиях изменяющейся освещенности и варьирующего расположения объекта. Кроме того, технологический подход к автоматизированной обработке визуальной информации несет в себе множество сложностей, связанных с взаимодействием световых волн с окружающей средой, которые в большинстве случаев попросту игнорируются. В рамках данной статьи рассматриваются такие виды взаимодействия, как абсорбция, отражение и преломление.

Взаимодействие световых волн

Абсорбцией света называют процесс потери энергии потоком электромагнитного излучения, проходящего через вещество. Основными причинами потери энергии принято считать процессы диссипации, фотолюминесценции и ионизации. Следует отметить, что интенсивность света, распространяющегося в поглощающей среде, будет спадать в зависимости от пройденного расстояния согласно закону Бугера-Ламберта-Бера [2]:

$$I = I_0 * e^{-kx}, \quad (1)$$

где I и I_0 – интенсивность излучения;

k – показатель поглощения;

x – координата оси направления излучения.

Процесс поглощения влияет на свойства света, отраженного от исследуемого объекта, тем самым передавая информацию о самом объекте. Под отражением понимается процесс изменения направления света на границе двух сред. Стоит отметить, что одновременно с отражением происходит процесс преломления. Согласно закону Снеллиуса, угол падения света связан с углом отражения соотношением:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (2)$$

где n_1 – показатель преломления среды, из которой падает свет;

n_2 – показатель преломления среды, в которую свет попадает;

θ_1 – угол падения света относительно нормали;

θ_2 – угол отражения света относительно нормали.

Тут стоит выделить тот факт, что с увеличением угла падения θ_1 , угол преломления θ_2 также возрастает, при этом интенсивность отраженного света растет, а преломленного – падает.

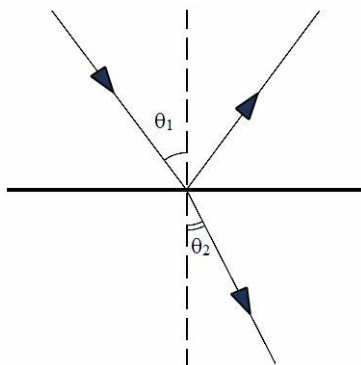


Рис. 1. Взаимодействие света с объектом

В качестве примера информативных параметров объектов, которые возникают за счет такого рода взаимодействий, следует выделить информацию о цвете или окрашенности. С помощью этой информации в идеальных условиях можно оценить молекулярную структуру объектов, а также изменения, происходящие в нем, например, соотношение и динамику изменений концентрации оксигемоглобина и деоксигемоглобина в крови человека.

Проявление интерференции

Как упоминалось ранее, считывание информации в основном производят с отраженного света. Основным недостатком такого подхода является то, что регистрируемые электромагнитные волны несут в себе искаженную или недостаточную информацию. Это объясняется тем, что интенсивность света при отражении зависит от угла падения, а также угла, под которым происходит регистрация отраженного света. Учитывая, что процесс отражения происходит на каждом пересечении границ двух сред с разными свойствами [3], то возникает большая вероятность возникновения интерференции, что также сказывается на оценке информативных параметров.

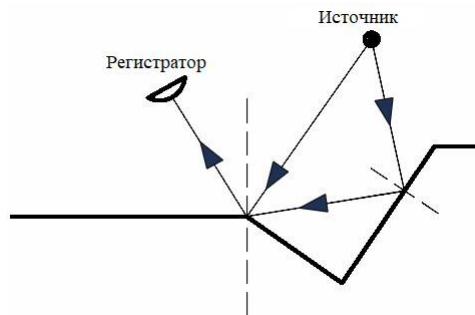


Рис. 2. Возникновение интерференции

Явление интерференции возникает в результате наложения световых волн, тем самым способствуя перераспределению их интенсивности. Эффект распределения происходит в связи с тем, что разность фаз когерентных волн в каждой точке пространства остается постоянной. В этом случае общую интенсивность отраженного света можно представить, как:

$$I = I_m + I_o + 2\sqrt{I_m * I_o} * \cos(\varphi_o - \varphi_m), \quad (3)$$

где I – общая интенсивность отраженного света;

I_m – интенсивность основного отраженного света;

I_o – интенсивность переотраженного света;

φ_m – фаза колебания волны отраженного света;

φ_o – фаза колебания волны переотраженного света.

Учитывая, что световая волна состоит из различных длин волн, свойство когерентности стоит рассматривать в промежутке времени:

$$\Delta t \ll \tau_k = \frac{\pi}{\Delta\omega}, \quad (4)$$

где $\Delta\omega$ – ширина спектра;

τ_k – время когерентности.

Если же разность фаз равна нулю, то есть волны являются не когерентными, тогда интенсивность отраженной волны будет равна сумме интенсивности всех волн:

$$I = I_m + I_o. \quad (5)$$

В большинстве случаев влияние интерференции на регистрируемое изображение (видеокадр) характеризуется чередующимися полосами с экстремальными значениями интенсивности света. Такой вид распределения называется интерференционной картиной, которая влияет на визуальное восприятие или ПКИ.

Как упоминалось ранее, явление интерференции зависит от длины волны, а, следовательно, при интерференции света, содержащего различные составляющие спектра, может происходить разделение этих спектральных составляющих. Этот эффект характеризуется образованием разноцветных полос на регистрируемом изображении (видеокадре).

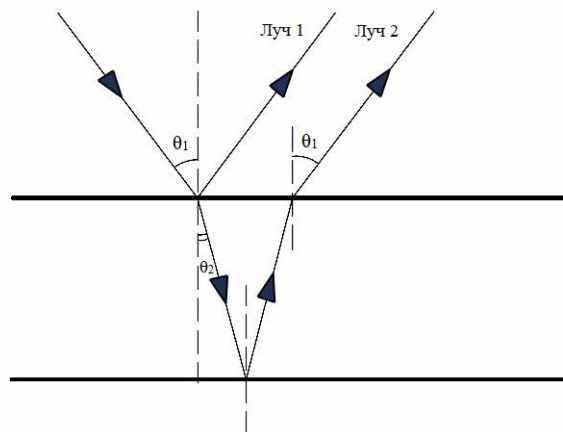


Рис. 3. Проявления интерференционной картины на плоскопараллельной поверхности

Результат такого вида интерференции определяется оптической разностью хода лучей 1 и 2, показанных на рис 3. В данной случае, если их разность будет составлять полуцелое число длин волн, то такая интерференция будет считаться конструктивной:

$$\lambda_2 = \lambda_1 * \frac{n_1}{n_2}. \quad (6)$$

Как видно из рис 3, лучи 1 и 2 являются параллельными, а, следовательно, образование интерференционной картины возможно лишь на собирающей линзе или сетчатке глаза. Вышеописанный эффект можно наблюдать в тонком слое неперемешивающихся жидкостей, например в пятне масла на поверхности воды.

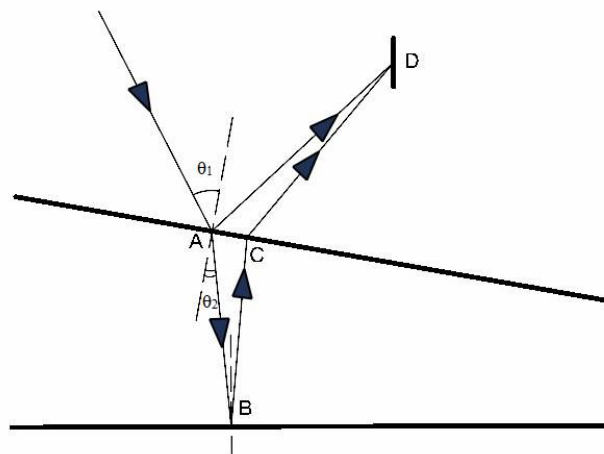


Рис. 4. Проявления интерференционной картины на поверхности среды с переменной шириной

Немного изменив параметры среды, от которой произойдет отражение, можно добиться проявления интерференции в определенной точке на плоскости. Как видно из рис. 4, для этого достаточно, чтобы в эту точку попал любой регистрируемый объект или само средство регистрации.

Заключение

Визуальное представление информации об исследуемом объекте в обычных условиях несет в себе часть информации об окружающей этот объект среде. Это связано с переотражением света от других объектов, а также внутреннего отражения, что способствует образо-

ванию интерференции. Учитывая этот факт, можно сделать вывод о неточности получаемой информации, что сказывается в той или иной степени на оценку информативных параметров.

В зависимости от решаемой задачи результат регистрации может быть проверен на наличие интерференционной картины для ее устранения или дальнейшего исследования. Так, например, зная интенсивность отраженного света от поверхности объекта, можно выявить изменения, происходящие у него внутри.

Библиографический список

1. Мельник О.В., Лоскутов А.Ю. Измерение пульсаций кровотока при помощи оптических датчиков // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2019: сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2019 г. С. 628-631.
2. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник – 4-е изд., испр. и перераб. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012 – 648 с.
3. Сивухин Д.В. Интерференция света / Общий курс физики / Учеб. Пособие: Для вузов. В 5т. Т. IV. Оптика. – 3-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. С. 199-276.

УДК 615.47.03:616.12-073.96; ГРНТИ 47.14

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ КАРДИОРИТМОГРАММЫ

Ю.А. Челебаева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, chel-juliya@yandex.ru*

Аннотация. В работе описываются вопросы разработки модели комплексной интерпретации выявленных признаков на основе анализа сигналов кардиоритмограммы. Подробно описан процесс фазификации входных четких значений. Приведен пример нечеткого вывода формирования признака вентрикулярной тахикардии. Работоспособность модели проверена с помощью кардиоритмограмм из аннотированной базы данных.

Ключевые слова: кардиоритмограмма, нейронные сети, нечеткая логика, нечеткий вывод, информативные признаки.

MODEL DEVELOPMENT OF COMPLEX INTERPRETATION OF DETECTED SIGNS BASED ON CARDIORHYTHMOGRAM SIGNALS ANALYSIS

Yu.A. Chelebaeva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, chel-juliya@yandex.ru*

The summary. The issues of the model development of complex interpretation of detected signs based on cardiorhythmogram signals analysis are described. The fuzzification process of input unfuzzy values is described in detail. An example of fuzzy output of ventricular tachyarrhythmia sign formation is given. The operability of the model was checked using cardiorhythmograms from the annotated database.

Keywords: cardiorhythmogram, neural networks, fuzzy logic, fuzzy inference, informative features.

Задачей анализа сердечного ритма в режиме реального времени является обнаружение ранних аритмий с целью их лечения и предотвращения угрожающих жизни аритмий [1]. В работах [2] и [3] предложены нейросетевые структуры подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы. Однако, для более детального анализа требуется комплексная интерпретация выявленных признаков. Для этого выбран математический аппарат на основе нечеткой

логики. Кардиоритмограммы для анализа взяты из аннотированной базы данных <https://physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>.

Фаззификация входных четких числовых значений

Фаззификация вычисляет степени принадлежности входных четких числовых значений входным нечетким множествам. В качестве входных четких числовых значений выступают информативные признаки, выявленные с помощью нейросетевых структур подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы:

- x_1 – нормальная гистограмма;
- x_2 – асимметричное распределение гистограммы;
- x_3 – эксцессивное распределение гистограммы;
- x_4 – амодальное распределение гистограммы;
- x_5 – полимодальное распределение гистограммы;
- x_6 – постоянная бигеминия;
- x_7 – ригидный синусовый ритм;
- x_8 – косонисходящий ригидный синусовый ритм;
- x_9 – наличие экстрасистол;
- x_{10} – сино-аурикулярная блокада по Мобитц-1;
- x_{11} – сино-аурикулярная блокада по Мобитц-2;
- x_{12} – частота сердечных сокращений;
- x_{13} – SDNN;
- x_{14} – тип синусового ритма.

Для входной переменной x_1 определены 2 нечетких множества (A_1 – наличие признака, A_2 – отсутствие признака):

$$\mu_{A_1}(x_1) = \begin{cases} 0, & x_1 < 0.6; \\ 4x_1 - 2.4, & 0.6 \leq x_1 < 0.85; \\ 1, & x_1 \geq 0.85; \end{cases} \quad \mu_{A_2}(x_1) = \begin{cases} 1, & x_1 < 0.6; \\ -4x_1 + 3.4, & 0.6 \leq x_1 < 0.85; \\ 0, & x_1 \geq 0.85. \end{cases}$$

Для входной переменной x_2 определены 2 нечетких множества (B_1 и B_2):

$$\mu_{B_1}(x_2) = \begin{cases} 0, & x_2 < 0.6; \\ 4x_2 - 2.4, & 0.6 \leq x_2 < 0.85; \\ 1, & x_2 \geq 0.85; \end{cases} \quad \mu_{B_2}(x_2) = \begin{cases} 1, & x_2 < 0.6; \\ -4x_2 + 3.4, & 0.6 \leq x_2 < 0.85; \\ 0, & x_2 \geq 0.85. \end{cases}$$

Для входной переменной x_3 определены 2 нечетких множества (C_1 и C_2):

$$\mu_{C_1}(x_3) = \begin{cases} 0, & x_3 < 2.5; \\ x_3 - 2.5, & 2.5 \leq x_3 < 3.5; \\ 1, & x_3 \geq 3.5; \end{cases} \quad \mu_{C_2}(x_3) = \begin{cases} 1, & x_3 < 2.5; \\ -x_3 + 3.5, & 2.5 \leq x_3 < 3.5; \\ 0, & x_3 \geq 3.5. \end{cases}$$

Для входной переменной x_4 определены 2 нечетких множества (D_1 и D_2):

$$\mu_{D_1}(x_4) = \begin{cases} 0, & x_4 < 2.0; \\ x_4 - 2.0, & 2.0 \leq x_4 < 3.0; \\ 1, & x_4 \geq 3.0; \end{cases} \quad \mu_{D_2}(x_4) = \begin{cases} 1, & x_4 < 2.0; \\ -x_4 + 3.0, & 2.0 \leq x_4 < 3.0; \\ 0, & x_4 \geq 3.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_5 определены 2 нечетких множества (E_1 и E_2):

$$\mu_{E_1}(x_5) = \begin{cases} 0, & x_5 < 2.5; \\ x_5 - 2.5, & 2.5 \leq x_5 < 3.5; \\ 1, & x_5 \geq 3.5; \end{cases} \quad \mu_{E_2}(x_5) = \begin{cases} 1, & x_5 < 2.5; \\ -x_5 + 3.5, & 2.5 \leq x_5 < 3.5; \\ 0, & x_5 \geq 3.5. \end{cases}$$

Для входной переменной x_6 определены 2 нечетких множества (F_1 и F_2):

$$\mu_{F_1}(x_6) = \begin{cases} 0, & x_6 < 1.0; \\ x_6 - 1.0, & 1.0 \leq x_6 < 2.0; \\ 1, & x_6 \geq 2.0; \end{cases} \quad \mu_{F_2}(x_6) = \begin{cases} 1, & x_6 < 1.0; \\ -x_6 + 2.0, & 1.0 \leq x_6 < 2.0; \\ 0, & x_6 \geq 2.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_7 определены 2 нечетких множества (G_1 и G_2):

$$\mu_{G_1}(x_7) = \begin{cases} 0, & x_7 < 0.0; \\ x_7, & 0.0 \leq x_7 < 1.0; \\ 1, & x_7 \geq 1.0; \end{cases} \quad \mu_{G_2}(x_7) = \begin{cases} 1, & x_7 < 0.0; \\ -x_7 + 1.0, & 0.0 \leq x_7 < 1.0; \\ 0, & x_7 \geq 1.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_8 определены 2 нечетких множества (H_1 и H_2):

$$\mu_{H_1}(x_8) = \begin{cases} 0, & x_8 < 0.0; \\ x_8, & 0.0 \leq x_8 < 1.0; \\ 1, & x_8 \geq 1.0; \end{cases} \quad \mu_{H_2}(x_8) = \begin{cases} 1, & x_8 < 0.0; \\ -x_8 + 1.0, & 0.0 \leq x_8 < 1.0; \\ 0, & x_8 \geq 1.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_9 определены 2 нечетких множества (I_1 и I_2):

$$\mu_{I_1}(x_9) = \begin{cases} 0, & x_9 < 0.0; \\ 0.1x_9, & 0.0 \leq x_9 < 10.0; \\ 1, & x_9 \geq 10.0; \end{cases} \quad \mu_{I_2}(x_9) = \begin{cases} 1, & x_9 < 0.0; \\ -0.1x_9 + 1.0, & 0.0 \leq x_9 < 10.0; \\ 0, & x_9 \geq 10.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_{10} определены 2 нечетких множества (J_1 и J_2):

$$\mu_{J_1}(x_{10}) = \begin{cases} 0, & x_{10} < 10.0; \\ 0.05x_{10} - 0.5, & 10.0 \leq x_{10} < 30.0; \\ 1, & x_{10} \geq 30.0; \end{cases} \quad \mu_{J_2}(x_{10}) = \begin{cases} 1, & x_{10} < 10.0; \\ -0.05x_{10} + 1.5, & 10.0 \leq x_{10} < 30.0; \\ 0, & x_{10} \geq 30.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_{11} определены 2 нечетких множества (K_1 и K_2):

$$\mu_{K_1}(x_{11}) = \begin{cases} 0, & x_{11} < 10.0; \\ 0.05x_{11} - 0.5, & 10.0 \leq x_{11} < 30.0; \\ 1, & x_{11} \geq 30.0; \end{cases} \quad \mu_{K_2}(x_{11}) = \begin{cases} 1, & x_{11} < 10.0; \\ -0.05x_{11} + 1.5, & 10.0 \leq x_{11} < 30.0; \\ 0, & x_{11} \geq 30.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_{12} определены 5 нечетких множеств (L_1 – брадикардия, L_2 – умеренное урежение, L_3 – нормальная частота, L_4 – умеренное учащение, L_5 – тахикардия):

$$\mu_{L_1}(x_{12}) = \begin{cases} 1, & x_{12} < 48.0; \\ -0.25x_{12} + 13, & 48.0 \leq x_{12} < 52.0; \\ 0, & x_{12} \geq 52.0; \end{cases} \quad \mu_{L_5}(x_{12}) = \begin{cases} 0, & x_{12} < 98.0; \\ 0.25x_{12} - 24.5, & 98.0 \leq x_{12} < 102.0; \\ 1, & x_{12} \geq 102.0; \end{cases}$$

$$\mu_{L_2}(x_{12}) = \begin{cases} 0, & x_{12} < 48.0; \\ 0.25x_{12} - 12, & 48.0 \leq x_{12} < 52.0; \\ 1, & 52.0 \leq x_{12} < 58.0; \\ -0.25x_{12} + 15.5, & 58.0 \leq x_{12} < 62.0; \\ 0, & x_{12} \geq 62.0; \end{cases} \quad \mu_{L_3}(x_{12}) = \begin{cases} 0, & x_{12} < 58.0; \\ 0.25x_{12} - 14.5, & 58.0 \leq x_{12} < 62.0; \\ 1, & 62.0 \leq x_{12} < 78.0; \\ -0.25x_{12} + 20.5, & 78.0 \leq x_{12} < 82.0; \\ 0, & x_{12} \geq 82.0; \end{cases}$$

$$\mu_{L_4}(x_{12}) = \begin{cases} 0, & x_{12} < 78.0; \\ 0.25x_{12} - 19.5, & 78.0 \leq x_{12} < 82.0; \\ 1, & 82.0 \leq x_{12} < 98.0; \\ -0.25x_{12} + 25.5, & 98.0 \leq x_{12} < 102.0; \\ 0, & x_{12} \geq 102.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_{13} определены 3 нечетких множества (M_1 – усиление симпатической регуляции, M_2 – нормальные значения, M_3 – усиление автономной регуляции):

$$\mu_{M_1}(x_{13}) = \begin{cases} 1, & x_{13} < 36.0; \\ -0.125x_{13} + 5.5, & 36.0 \leq x_{13} < 44.0; \\ 0, & x_{13} \geq 44.0; \end{cases} \quad \mu_{M_3}(x_{13}) = \begin{cases} 0, & x_{13} < 76.0; \\ 0.125x_{13} - 9.5, & 76.0 \leq x_{13} < 84.0; \\ 1, & x_{13} \geq 84.0; \end{cases}$$

$$\mu_{M_2}(x_{13}) = \begin{cases} 0, & x_{13} < 36.0; \\ 0.25x_{13} - 19.5, & 36.0 \leq x_{13} < 44.0; \\ 1, & 44.0 \leq x_{13} < 76.0; \\ -0.25x_{13} + 25.5, & 76.0 \leq x_{13} < 84.0; \\ 0, & x_{13} \geq 84.0. \end{cases}$$

Для входной переменной x_{14} определены 3 нечетких множества (N_1 – малоизменяющийся синусовый ритм, N_2 – преднормальный синусовый ритм, N_3 – нормальный синусовый ритм):

$$\mu_{N_1}(x_{14}) = \begin{cases} 1, & x_{14} < 48.0; \\ -0.25x_{14} + 13, & 48.0 \leq x_{14} < 52.0; \\ 0, & x_{14} \geq 52.0; \end{cases} \quad \mu_{N_3}(x_{14}) = \begin{cases} 0, & x_{14} < 98.0; \\ 0.25x_{14} - 24.5, & 98.0 \leq x_{14} < 102.0; \\ 1, & x_{14} \geq 102.0; \end{cases}$$

$$\mu_{N_2}(x_{14}) = \begin{cases} 0, & x_{14} < 48.0; \\ 0.25x_{14} - 12.0, & 48.0 \leq x_{14} < 52.0; \\ 1, & 52.0 \leq x_{14} < 98.0; \\ -0.25x_{14} + 25.5, & 98.0 \leq x_{14} < 102.0; \\ 0, & x_{14} \geq 102.0. \end{cases}$$

Нечеткий вывод

Этап нечеткого вывода предполагает вычисление результирующей функции принадлежности выходного значения модели. Так, для формирования признака вентрикулярной тахикардии разработаны следующие правила:

$$\begin{aligned} \mu_{R_1} &= \mu_{L_1}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*), \\ \mu_{R_2} &= \mu_{L_2}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\ \mu_{R_3} &= \mu_{L_4}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\ \mu_{R_4} &= \mu_{L_5}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*), \\ \mu_{R_5} &= \mu_{L_1}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*), \\ \mu_{R_6} &= \mu_{L_2}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\ \mu_{R_7} &= \mu_{L_4}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\ \mu_{R_8} &= \mu_{L_5}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*), \\ \mu_{R_9} &= \mu_{F_1}(x_6^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*), \\ \mu_{R_{10}} &= \mu_{F_1}(x_6^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*), \\ \mu_{R_{11}} &= \mu_{H_1}(x_8^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\ \mu_{R_{12}} &= \mu_{H_1}(x_8^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{R_{13}} &= \mu_{I_1}(x_9^*) \text{ and } \mu_{L_2}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*), \\
\mu_{R_{14}} &= \mu_{I_1}(x_9^*) \text{ and } \mu_{L_4}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_1}(x_{13}^*), \\
\mu_{R_{15}} &= \mu_{I_1}(x_9^*) \text{ and } \mu_{L_2}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*), \\
\mu_{R_{16}} &= \mu_{I_1}(x_9^*) \text{ and } \mu_{L_4}(x_{12}^*) \text{ and } \mu_{M_3}(x_{13}^*), \\
\mu_{R_{17}} &= \mu_{H_1}(x_8^*) \text{ and } \mu_{L_1}(x_{12}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\
\mu_{R_{18}} &= \mu_{H_1}(x_8^*) \text{ and } \mu_{L_2}(x_{12}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\
\mu_{R_{19}} &= \mu_{H_1}(x_8^*) \text{ and } \mu_{L_4}(x_{12}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)), \\
\mu_{R_{20}} &= \mu_{H_1}(x_8^*) \text{ and } \mu_{L_5}(x_{12}^*) \text{ and } \text{MAX}(\mu_{A_2}(x_1^*), \mu_{B_1}(x_2^*), \mu_{C_1}(x_3^*), \mu_{D_1}(x_4^*), \mu_{E_1}(x_5^*)).
\end{aligned}$$

Результирующее правило формирования признака вентрикулярной тахикардии приняло следующий вид:

$$\begin{aligned}
\mu_R &= \mu_{R_1} \text{ or } \mu_{R_2} \text{ or } \mu_{R_3} \text{ or } \mu_{R_4} \text{ or } \mu_{R_5} \text{ or } \mu_{R_6} \text{ or } \mu_{R_7} \text{ or } \mu_{R_8} \text{ or } \mu_{R_9} \text{ or } \mu_{R_{10}} \text{ or } \mu_{R_{11}} \text{ or } \mu_{R_{12}} \text{ or } \mu_{R_{13}} \text{ or } \\
&\mu_{R_{14}} \text{ or } \mu_{R_{15}} \text{ or } \mu_{R_{16}} \text{ or } \mu_{R_{17}} \text{ or } \mu_{R_{18}} \text{ or } \mu_{R_{19}} \text{ or } \mu_{R_{20}}.
\end{aligned}$$

Аналогичным образом получены результирующие правила для других признаков.

Дефаззификация выходных переменных

В результате дефаззификации формируются обычные (не нечеткие) значения для каждой из выходных лингвистических переменных. На примере рассмотренного правила μ_R в результате дефаззификации получаем значение коэффициента уверенности признака.

Для анализа взяты 33 кардиоритмограммы CUVentricularTachyarrythmiaDatabase из базы данных <https://physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>. Результаты обработки этих кардиоритмограмм подтвердили правильность работы предложенной модели.

Библиографический список

1. Березный Е.А., Рубин А.М., Утехина Г.А. Практическая кардиоритмография – Москва: Нео, 2005. 140 с.
2. Мельник О.В., Челебаев С.В., Челебаева Ю.А. Анализ кардиоритмограммы в нейросетевом базисе операций // Биомедицинская радиоэлектроника. № 8. 2018. С. 39-44.
3. Мельник О.В., Челебаев С.В., Челебаева Ю.А. Методика синтеза нейросетевой подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы // Биомедицинская радиоэлектроника. № 4. 2019. С. 45-52.

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

УДК 519.67; ГРНТИ 27.41.23

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ПРИМИТИВАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ

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 рассматривается влияние геометрии поверхности обрабатываемой детали на результат моделирования распределения толщины гальванического покрытия. Для автоматизированного построения геометрической модели детали предлагается использование логических операций с примитивами. Рассмотрены возможности автоматизированной системы, реализующей предложенный подход, а также предложен алгоритм ее работы.

Ключевые слова: логические операции, примитив, геометрическая модель, автоматизированное построение.

LOGIC OPERATIONS APPLICATION WITH PRIMITIVES FOR THE AUTOMATED CONSTRUCTION OF A WORKPIECE GEOMETRIC MODEL IN THE PROBLEMS OF SIMULATION IN ELECTROPLATING

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. The influence of the surface geometry of the workpiece on the simulation result in electroplating is considered in the work. The use of logical operations with primitives is proposed for the automated construction of a geometric model of a part. The capabilities of the described automated system are considered and the algorithm of this system is proposed.

Keywords: logical operations, primitive, geometric model, automated construction.

Одним из ключевых факторов, определяющих результат моделирования распределения толщины гальванического покрытия, является геометрия поверхности обрабатываемой детали. В связи с чем, от качества уровня детализации используемой геометрической модели детали зависит качество всего расчета [1]. Большинство выпускаемых современной промышленностью деталей имеют достаточно сложную форму, обусловленную функциональным предназначением детали. Но эта форма на этапе изготовления получается из более простых геометрических форм: цилиндров (различные отверстия), прямоугольных и косоугольных призм (фрезерование и различные проточки), сама заготовка тоже имеет относительно простую форму, – которые можно выделить на чертеже, что позволит получить трехмерную модель детали путем комбинации моделей таких поверхностей (примитивов) [2].

Чертеж такого примитива (куба или цилиндра) представляет собой три замкнутых контура. Эти контуры являются ортогональными проекциями примитива на три взаимно перпендикулярные плоскости, причем, если провести через вершины контуров проецирующие лучи, то они вместе с контурами образуют три экструзивные формы, на пересечении которых и находится искомая поверхность примитива. Тогда сложные поверхности можно по-

лучить из примитивов, применяя к ним логические операции в трехмерном пространстве. К таким операциям относятся: объединение, пересечение и вычитание (дополнение).

На рисунке 1а показаны исходные примитивы А и В для демонстрации логических операций над трехмерными телами.

Результатом операции логического объединения двух примитивов (рис. 1б) является тело включающая в себя оба исходных объема, поверхность результирующего объема не включает части поверхностей исходных тел лежащие внутри каждого из них.

Результатом операции пересечения (рис. 1в) напротив является поверхность, ограничивающая объем принадлежащий одновременно обоим исходным телам, то есть это те участки поверхностей тел, которые находятся внутри них.

Результатом операции вычитания (рис. 1г) является поверхность, ограничивающая объем, принадлежащий только первому операнду операции и не принадлежащий второму.

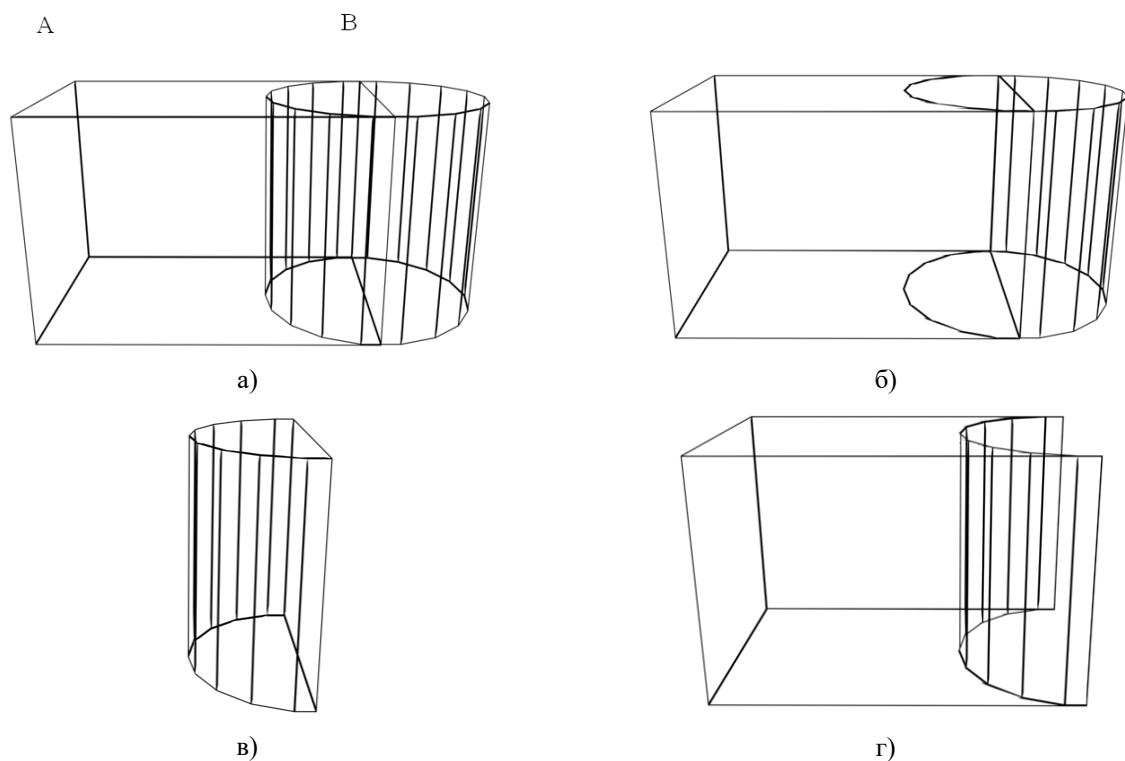


Рис. 1. Иллюстрация логических операций в трехмерном пространстве

Однако если чертеж сложный и содержит множество «примитивов», одной логической операцией не обойтись. Поэтому результирующая поверхность получится в результате выполнения совокупности рассмотренных операций.

Для использования логических операций при построении геометрической модели детали необходима разработка соответствующей автоматизированной системы, основными подсистемами в которой являются:

- 1) ввода и анализа исходных данных;
- 2) редактирования двумерных контуров и трехмерного моделирования;
- 3) работы с базой данных готовых проектов.

Алгоритм работы данной системы представлен на рисунке 2.

Подсистема ввода и анализа исходных данных работает непосредственно с файлом чертежа, содержащего информацию о всех линиях, присутствующих на чертеже, сгруппированных по виду, к которому они принадлежат. Данные в файле заданы в двумерных координатах.

натах плоскости чертежа, поэтому для дальнейшей работы они должны быть переведены в трехмерные координаты объекта.

Подсистема редактирования двумерных контуров и трехмерного моделирования предоставляет пользователю возможность создавать контуры и выдавливать их для получения экструзивных форм. В результате создается список объектов (примитивов), к которым пользователь может применить булевские операции для получения искомой поверхности. В итоге подсистема выводит на экран результат работы – трехмерную модель детали, используя возможности библиотеки OpenGL [3], и предоставляет пользователю возможность сохранять результат в файловом виде.

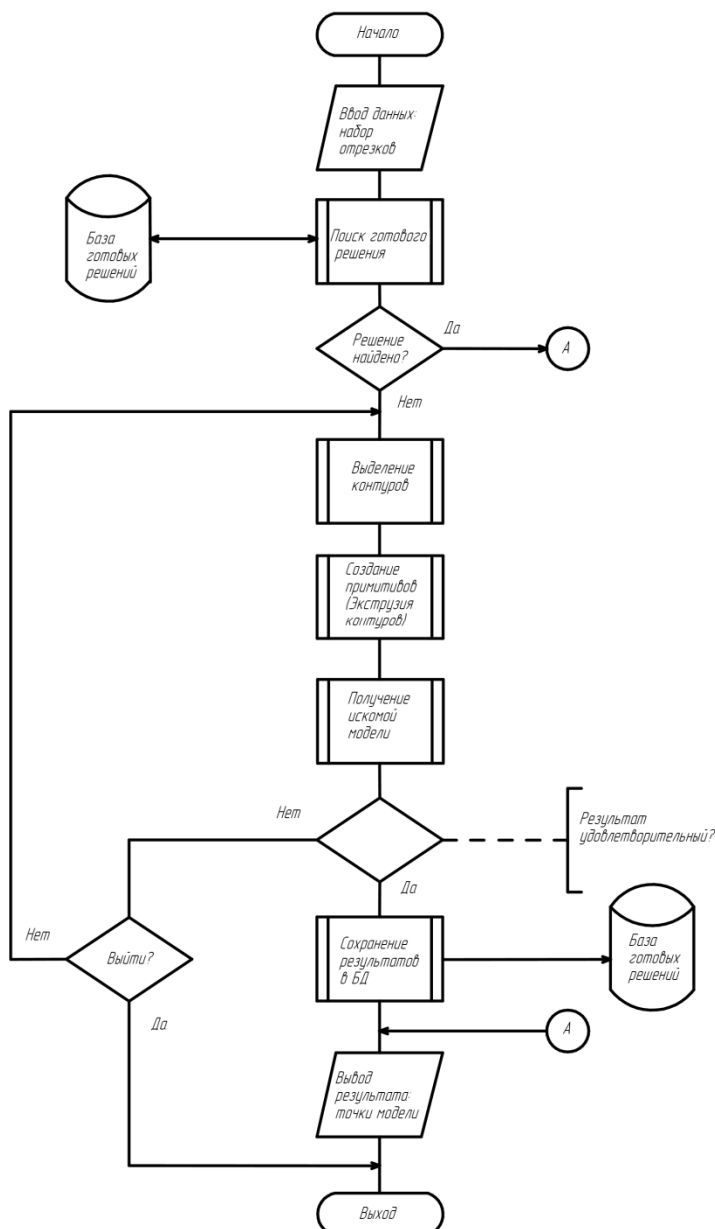


Рис. 2. Алгоритм работы автоматизированной системы

Подсистема работы с базой данных готовых проектов представляет собой процесс, получающий запросы к хранимой информации от прочих подсистем, эти запросы выстраиваются в очередь и выполняются в соответствии с ней. Подсистема также предоставляет пользователю возможность проверить – существует ли готовый проект для конкретных дан-

ных, не производя всех вычислений, а также автоматически после вычисления новой трехмерной модели добавляет запись о проекте в базу. Файл базы проектов доступен для редактирования посредством интерфейса (Найти/Добавить/Удалить).

Библиографический список

1. Андреев, И.Н. Моделирование распределения тока при электрохимической обработке и нанесении покрытий с использованием подвесочной оснастки» (учебное пособие) / И.Н. Андреев, Ж.В. Межевич, К.А. Зотев. – Казань: КИТУ, 2006. – 122 с.
2. Голованов, Н.Н. Геометрическое моделирование: Учебник / Н.Н. Голованов. – М.: Academia, 2019. – 288 с.
3. Боресков, А. Расширения OpenGL / А. Боресков. – М.: БХВ-Петербург, 2016. – 996 с.

УДК 53.08.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЮСТИРОВКИ ПЛАТФОРМЕННЫХ ВЕСОВ НА ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫХ ДАТЧИКАХ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ EXEL

А.В. Васильев

«Корпорация Казахмыс»,

Республика Казахстан, Балхаш, vav_bkz@mail.ru

Аннотация. В статье предлагается модель процесса юстировки платформенных весов на тензорезисторных датчиках, позволяющая определять точные значения юстировочных резисторов для минимизации угловых погрешностей весов. Даются вывод основных уравнений весов и критерия оптимизации величин юстировочных резисторов. Даны результаты моделирования процесса юстировки в вычислительной среде Exel.

Ключевые слова: процесс юстировки весов, юстировочные резисторы, платформенные весы, угловые погрешности весов.

SIMULATION OF PLATFORM SCALE ALIGNMENT PROCESS ON RESISTANCE STRAIN GAUGES IN EXEL COMPUTING ENVIRONMENT

A.V. Vasilyev

Kazakhmys Corporation,

Republic of Kazakhstan, Balkhash, vav_bkz@mail.ru

The summary. The article proposes a model of the process of alignment of platform scales on gauge sensors, which allows to determine the exact values of the adjustment resistors to the minimize angular errors of the scales. The basic equations of weights and the criterion for optimizing the values of alignment resistors are derived. The results of modeling the adjustment process in the Exel computing environment are given.

Keywords: the process of weights, ustial resistors, platform scales, angular weight scans.

Из-за неодинаковости параметров тензорезисторных датчиков в платформенных весах и неточностей их монтажа возникает проблема, так называемых, угловых погрешностей платформенных весов. Эти погрешности возникают в случаях, когда центр тяжести взвешиваемого груза не совпадает с геометрическим центром грузоприёмной платформы весов. Величина угловой погрешности зависит от величины эксцентриситета центра тяжести груза относительно геометрического центра платформы. Задача юстировки весов (при их наладке) заключается в том, чтобы величина максимальной имеющейся угловой погрешности у весов не превосходила величины, указанной в их паспорте. С этой целью в сигнальных цепях тензорезисторных датчиков весов, для подстройки величины сигнала от датчика, устанавливаются юстировочные резисторы величиной 10...20 Ом. Эквивалентная схема измерительных

цепей весов с четырьмя тензорезисторными датчиками, и установленными в суммирующей коробке юстировочными резисторами, представлена на рисунке 1 [1].

На практике юстировка весов подстроечными резисторами производится поисковым методом. Для этого используется юстировочный груз G , который устанавливается последовательно на каждый из четырёх углов весов, производя подстройку резисторов по показаниям весового индикатора. Математически эта задача описывается следующим образом: юстировочными резисторами установить такие проводимости сигнальных цепей g_i , которые минимизируют сумму квадратов отклонения $\Delta = \sum_{i=1}^4 (G - Q_i)^2$ показаний весов Q_i от величины юстировочного груза G , устанавливаемого последовательно на каждую угловую точку грузоприёмной платформы весов.

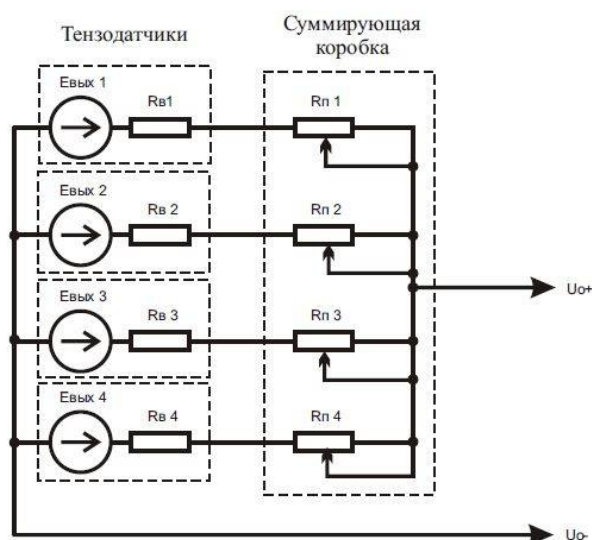


Рис. 1. Эквивалентная схема подключения тензорезисторных датчиков:

Евых – выходной сигнал датчика;

R_v – внутреннее сопротивление датчика;

R_p – подстроечные резисторы, размещённые в суммирующей коробке

Для поиска минимума этой функции мы можем воспользоваться одним из методов поиска, описанных в [2]. Однако поисковые методы трудоёмки и медленно сходятся по причине овражности функции вида $\Delta = \sum_{i=1}^4 (G - Q_i)^2$ [3, с. 482] и взаимовлияния подстроек.

Например, для четырёх циклов, при минимизации функции $\Delta = \sum_{i=1}^4 (G - Q_i)^2$ методом покоординатного спуска необходимо 16 раз переустанавливать юстировочный груз по углам весов, что при большой его массе достаточно трудоёмко. Из-за этого при наладке весов используют лишь метод минимизации угловых погрешностей, приведенный в фирменном руководстве по монтажу и наладке весов. Но ещё чаще весы налаживают бессистемной подстройкой резисторов, случайным образом подкручивая их до тех пор, пока результат юстировки не станет удовлетворительным.

Сложность и трудоёмкость этого процесса приводит к тому, что эксплуатирующая весы организация отказывается от использования юстировочных резисторов и их закорачивают, мирясь с неидеальными результатами настройки весов. Имеют место случаи, когда производители весов, по этой причине, вообще не устанавливают их в суммирующую коробку. В связи с этим целесообразно предварительно выполнить расчёт юстировочных резисторов и, после установки расчётных значений сопротивлений, произвести калибровку весов.

Для расчёта необходимой величины сопротивлений юстировочных резисторов используем соотношения моделирования параллельного включения тензорезисторных датчиков [1]:

$$U_0 = \sum_{i=1}^4 \frac{g_i}{g_0} \times E_i^{\text{ВЫХ}} = \sum_{i=1}^4 K_i \times E_i^{\text{ВЫХ}} \quad (1)$$

где: $g_i = \frac{1}{R_{\text{В}i} + R_{\text{П}i}}$, $g_0 = \sum_{i=1}^4 g_i$.

При установке юстировочного груза G на платформу весов массой Π , на каждый тензорезистор будет действовать сила P_i , при этом $G + \Pi = \sum_{i=1}^4 P_i$.

После установки юстировочного груза на платформу весов напряжение на выходе датчиков будет равным:

$$E_i^{\text{ВЫХ}} = U_{\Pi} \times \text{РКП}_i \times \frac{P_i}{\text{НПИ}}, \quad (2)$$

где: U_{Π} – напряжение питания датчиков, мВ;

РКП_i – рабочий коэффициент передачи датчика по току, мВ/В;

НПИ – наибольший предел измерения датчика, кг.

Фактические значения РКП_i из-за неточностей монтажа датчиков, будут отличаться от значений, приведенных в сертификате на датчик. Кроме того, сертификаты на датчики бывают утеряны. Поэтому фактические значения РКП_i можно вычислить по уравнению (2):

$$\text{РКП}_i = \frac{E_i^{\text{ВЫХ}}}{P_i} \times \frac{\text{НПИ}}{U_{\Pi}}. \quad (3)$$

Подставив (2) в (1), получим следующее уравнение весов:

$$U_0 = \frac{U_{\Pi}}{\text{НПИ}} \times \sum_{i=1}^4 K_i \times \text{РКП}_i \times P_i. \quad (4)$$

Из (4) следует, что задача юстировки весов будет решена, если установкой расчётных значений сопротивлений мы сделаем равными все четыре произведения $K_i \times \text{РКП}_i$.

Для преобразования U_0 в кг, необходимо умножить U_0 на масштабирующий множитель M , равный:

$$M = 1 / \left(\frac{U_{\Pi}}{\text{НПИ}} \times \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 K_i \times \text{РКП}_i \right).$$

Затем необходимо установить юстировочные грузы (гири ГО-20 массой по 20 кг) на углы платформы весов, примерно так, как показано на рисунке 2.

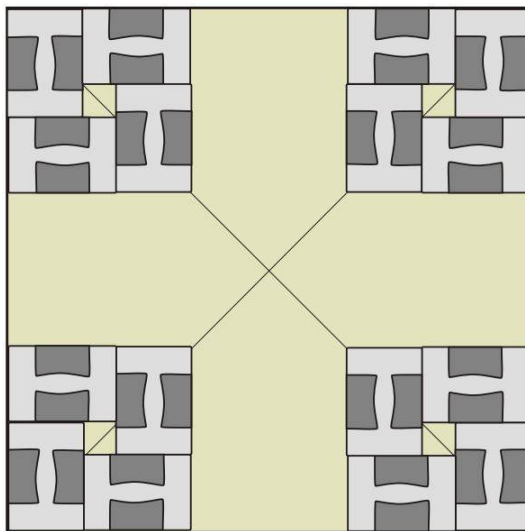


Рис. 2. Схема размещения юстировочных грузов на платформе весов

Размещение гирь на грузоприёмной платформе весов гирь может быть и другим, необходимо лишь соблюсти условие, чтобы их совокупный центр тяжести находился точно над геометрическим центром платформы [7]. В этом случае, на каждый датчик весов будет действовать сила $P_i = \frac{G + \Pi}{4} = \frac{\Pi}{4} + 80 \text{ кг}$.

Для расчёта величин $R_{\Pi i}$ необходимо произвести следующие измерения. Выровняв грузоприёмную платформу весов по уровню, нужно измерить величины $E_i^{\text{вых}0}$ на каждом тензорезисторном датчике при отключенных $R_{\Pi i}$. Это необходимо для оценки массы грузоприёмной платформы весов. Далее, нагрузив платформу весов юстировочными гирями массой G , повторно измерить величины $E_i^{\text{вых}G}$ на каждом тензорезисторном датчике. Далее измерить микроамперметром ток короткого замыкания $I_i^{\text{вых}G}$ в выходных цепях датчиков, что необходимо для определения внутреннего сопротивления датчиков $R_{\text{в}i}$ [4]:

$$R_{\text{в}i} = \frac{E_i^{\text{вых}G}}{I_i^{\text{вых}G}}$$

Микроамперметр для измерения тока короткого замыкания датчика должен иметь нулевое входное сопротивление, что может быть достигнуто применением дополнительного преобразователя к милливольтметру с входным операционным усилителем, схема которого показана на рисунке 3 [5, с.19].

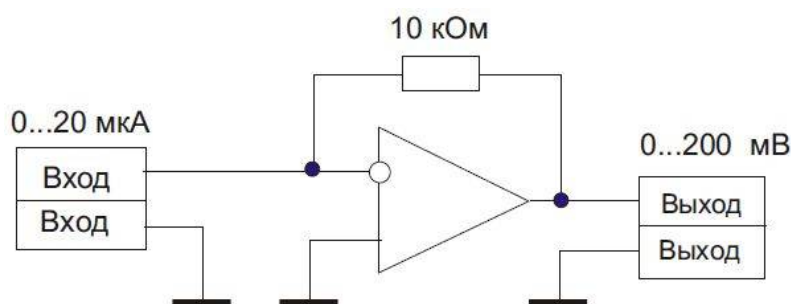


Рис. 3. Схема преобразователя с нулевым входным сопротивлением

Чаще всего, внутреннее и выходное сопротивления датчика, которое приводится в сертификате на датчик, достаточно близки друг к другу. Например, для датчика модели А951 внутреннее и выходное сопротивление (359,36 Ом) практически равны друг другу. Поэтому можно, для моделирования юстировки, вместо внутреннего сопротивления датчика использовать его выходное сопротивление. Если сертификаты утеряны, то выходные сопротивления датчиков могут быть измерены точным омметром, например мостом Р333.

По данным выполненных измерений из (3) вычислим фактические значения $РКП_i$. Из них выберем наименьшее значение $РКП_i^{\min}$ и, при дальнейших расчётах, нашей задачей будет приведение произведений $K_i \times РКП_i$, к произведению с наименьшим значением $РКП_i^{\min}$.

Расчёт конкретных значений юстировочных резисторов R_{pi} проведём с помощью надстройки «Поиск решений» в Excel [6]. Эта надстройка использует метод решения нелинейных уравнений способом обобщённого понижающего градиента (ОПГ).

Для использования этого метода, необходимо задать диапазон ячеек, в котором будут размещены вычисляемые значения – g_1, g_2, g_3, g_4 . Далее, формируем целевую ячейку, в которой размещаем выражение критерия оптимизации, вычисляющего сумму квадратов разности между произведениями $K_i^{\min} \times РКП_i^{\min}$ и остальными произведениями $K_i \times РКП_i$. Например, пусть $РКП_i^{\min} = РКП_1$, тогда критерий запишется в виде следующего выражения:

$$\text{Критерий} = \sum \left(\begin{aligned} &(K_1 \times РКП_1 - K_2 \times РКП_2)^2 + \\ &(K_1 \times РКП_1 - K_3 \times РКП_3)^2 + \\ &(K_1 \times РКП_1 - K_4 \times РКП_4)^2 \end{aligned} \right).$$

На вычисляемые переменные накладываем следующие ограничения:

1. Переменные g_1, g_2, g_3 должны соответствовать измеренным значениям $1/R_{Bi}$;
2. g_1 равен $1/R_{B1}$.

После введения исходных данных в таблице Excel, в меню таблицы, выбираем вкладку «данные» и на этой вкладке нажимаем кнопку «Поиск решения». Появится окно «*Параметры поиска решения*» (рис. 4).

Рис. 4. Окно «Параметры поиска решения»

После задания в появившемся окне диапазона адресов с ячейками вычисляемых переменных, указанием ограничений на переменные, и отметки о поиске минимума, необходимо нажать кнопку «Найти решение». Полученное решение будет размещено в диапазоне вычисляемых значений – g_1, g_2, g_3, g_4 .

Преобразовав найденные оптимальные проводимости в сопротивления и вычтя из них $R_{вi}$ - получим конкретные значения сопротивлений юстировочных резисторов. С помощью точного омметра, например моста Р333, устанавливаем вычисленные величины сопротивлений и калибруем весы.

Пример таблицы Excel (рис. 5) с результатами вычисления значений сопротивлений юстировочных резисторов приведен ниже.

Расчёт величин сопротивлений юстировочных резисторов, по предложенной методике, для тензорезисторных датчиков с НПИ=1100 кг, $U_{п}=10$ В и величиной юстировочного груза 500 кг, дал следующие результаты:

Расчёт значения юстировочных резисторов				
	Расчётные значения проводимости цепи	Расчётные значения сопротивления цепи	Внутреннее сопротивление датчиков	Расчётные значения юстировочных резисторов
$g_1 =$	0,00283286	353,00	353	0,00
$g_2 =$	0,0028272	353,71	347	6,71
$g_3 =$	0,00282861	353,53	349	4,53
$g_4 =$	0,00283144	353,18	351	2,18
$\Sigma g_i =$	0,01132012			
Ограничения на проводимости цепей				
g_1	=	0,002832861		
g_2	<=	0,002881844		
g_3	<=	0,00286533		
g_4	<=	0,002849003		
Критерий		2,32474E-17		

Рис. 5. Таблица Excel с результатами вычисления сопротивлений резисторов

Таблица 1. Результаты моделирования процесса юстировки весов

Номер угла весовой платформы	1	2	3	4
Внутреннее сопротивление датчика, Ом	353,00	347,00	349,00	351,00
РКП датчика	1,998	2,002	2,001	1,999
Расчётные угловые погрешности до юстировки весов, кг	-4,76	4,81	1,66	-1,69
Расчётные значения сопротивлений юстировочных резисторов, Ом	0,00	6,71	4,53	2,18
Расчётные угловые погрешности после юстировки весов, кг	-0,0000019	0,0000014	0,0000015	-0,0000010

Таким образом, угловые погрешности практически исчезли. Но, на практике, нулевые угловые погрешности весов недостижимы, вследствие неизбежных погрешностей в измерениях исходных параметров, необходимых для расчёта юстировочных резисторов.

Библиографический список

1. Васильев А.В. Математическая модель схемы параллельного соединения тензометрических датчиков // Журнал «Вестник автоматизации», №3, 2018 г. – С. 10 – 12.
2. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс // Москва, «Радио и связь», - 1988. – 128 с.
3. Бессонов Л.А., Теоретические основы электротехники // Издательство «Высшая школа», Москва, - 1973. – 750 с.
4. Растринин А.А. Системы экстремального управления // Москва, Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, - 1974. – 630 с.
5. Дж. Б. Данс Операционные усилители: принцип работы и применение // Москва, Энергоиздат, - 1982. – 80 с.
6. Рональд У. Ларсен. Инженерные расчеты в Microsoft Office Excel // С.-П., Издательский дом "Вильямс", - 2004. – 539 с.
7. ГОСТ Р 53228-2008. Весы не автоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания. Приложение А (обязательное). – 271 с.

УДК 602; ГРНТИ 62.01.81

ПОРТАТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ

А.С. Курицын

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Po4ta.rzn@mail.ru*

Аннотация. В данной работе представлено разработка портативного ультразвукового измерителя толщины лакокрасочных покрытий с применением микроконтроллера.

Ключевые слова: толщиномер, ультразвук.

PORTABLE PAINT COATINGS THICKNESS METER

A.S. Kuritsyn

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, Po4ta.rzn@mail.ru*

The summary. This paper presents the development of a portable ultrasonic thickness gauge for coatings using a microcontroller.

Keywords: thicknessgauge, ultrasound.

Обычно, при определении толщины лакокрасочного покрытия при помощи ультразвука, рассматриваются два метода – эхо-импульсный и резонансный. Резонансный метод ультразвукового контроля основан на возникновении и регистрации механического резонанса материала исследуемого изделия при возбуждении его ультразвуковым импульсом. При

резонансном методе измерения изменяется частота излучения ультразвуковых импульсов, тем самым добиваются появления резонанса. Схема резонансного метода измерения показана на рисунке 1.

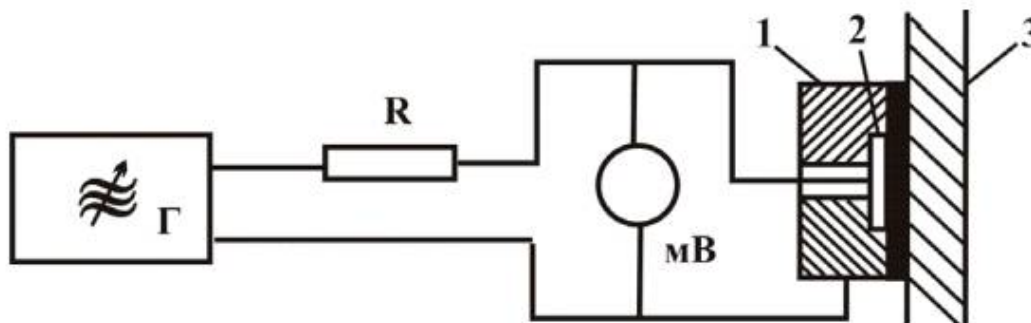


Рис. 1. Схема резонансного метода измерения толщины:
1 – корпус пьезопреобразователя; 2 – пьезоэлемент; 3 – объект контроля

Рассмотрим принцип работы резонансного измерителя толщины. Пьезопреобразователь возбуждаю через резистор R, сопротивление которого значительно превышает сопротивление пьезопреобразователя. При этом, при изменении частоты излучения, ток через преобразователь меняться не будет, а уменьшение напряжения на нем будет отражать появление эффекта резонанса. В момент появления резонанса сопротивление преобразователя становится чисто активным и напряжение на нем резко падает. В современных резонансных толщиномерах применяется автоматическое качание частоты с целью поиска резонанса.

Резонансный метод позволяет измерять толщину покрытия, начиная с 0,1 мм, однако, на точность измерения сильно влияет геометрия исследуемого предмета. В случае, если плоская поверхность соприкасается с искривленной или имеет непараллельные поверхности, резко падает чувствительность метода и измерения толщины покрытия меньше 10 мм становятся невозможны.

Основным способом измерения толщины в современной толщинометрии является эхо-метод.

Эхо-метод позволяет контролировать изделия при одностороннем доступе к ним. Это особенно ценно при проверке изделий, в которых отсутствует двусторонний доступ. Кроме того, эхо-метод имеет высокую чувствительность. Отражение даже 1 % энергии очень хорошо не только обнаруживается, но и измеряется.

Именно поэтому эхо-метод выбран взят в основу разрабатываемого толщиномера.

Разработка структурной схемы устройства

Разрабатываемый ультразвуковой толщиномер представляет собой электронное устройство, в состав которого входят следующие узлы:

- устройство измерительное (УИ);
- устройство управления и индикации (УУИ);
- преобразователь напряжения (ПН).

Структурная схема толщиномера показана на рисунке 2.

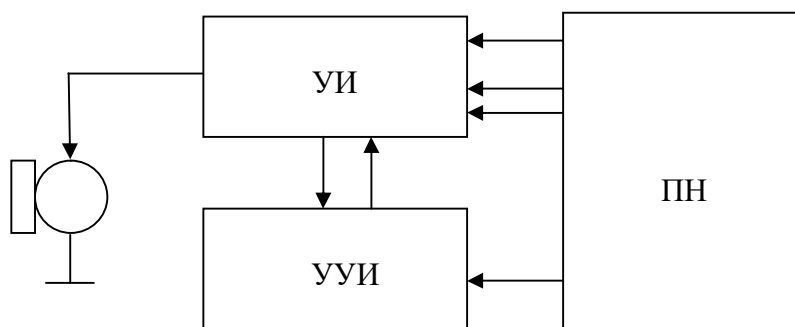


Рис. 2. Структурная схема толщиномера

В состав устройства измерительного (УИ) входят: специализированная микросхема возбуждения пьезоэлектрического преобразователя (Ф), входной логарифмический операционный усилитель (МШУ), аттенюатор, выполненный на операционном усилителе с цифровым регулированием коэффициента усиления (АТТ), 12-битный АЦП. Структурная схема УИ показана на рисунке 3.

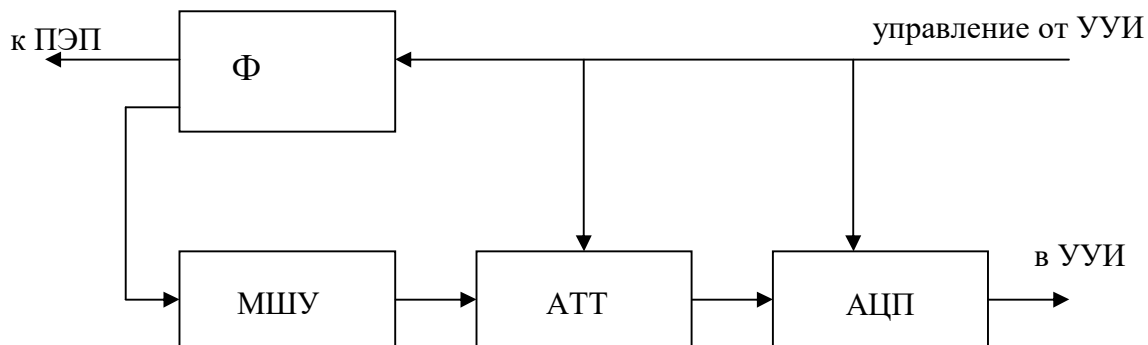


Рис. 3. Структурная схема УИ

В состав устройства управления и индикации (УУИ) входят: микроконтроллер (МК), генератор опорной частоты (Г), микросхема FLASH-памяти (М), клавиатура (Кл), индикатор (И). Структурная схема УУИ показана на рисунке 4.

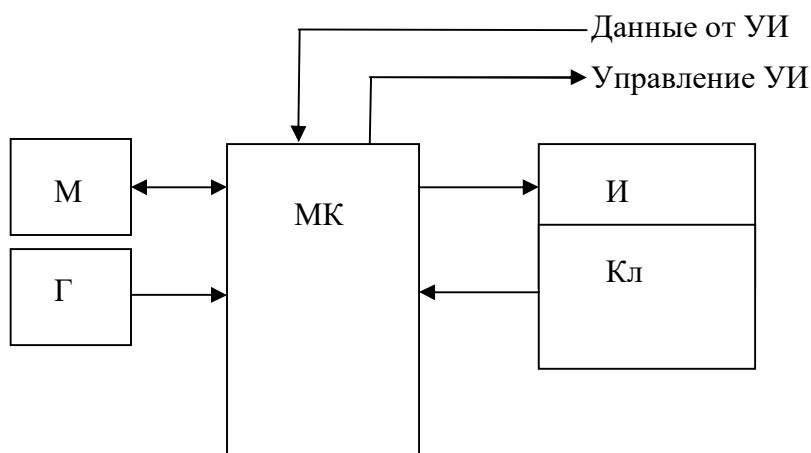


Рис. 4. Структурная схема УУИ

Преобразователь напряжения состоит из повышающего инвертора (И), который обеспечивает питание микросхемы возбуждения ПЭП и импульсных стабилизаторов напряжения

(Ст), которые обеспечивают питание остальных микросхем толщиномера. Структурная схема ПН показана на рисунке 5.

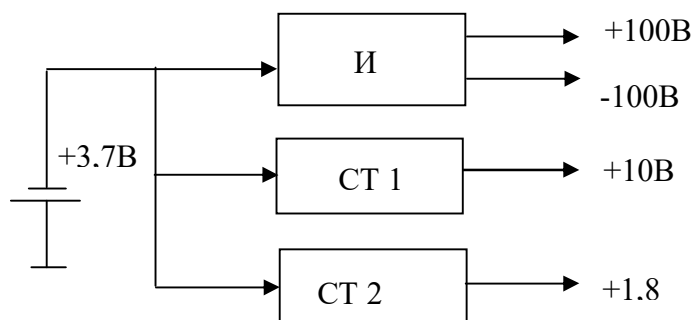


Рис. 5. Структурная схема ПН

В данной работе был разработан ультразвуковой толщиномер, позволяющий производить неразрушающее измерение толщины лакокрасочных покрытий. Разработанный толщиномер предназначен для работы в диапазоне частот от 0,5 до 30 МГц в диапазоне рабочих температур от минус 20 до +55 °С. Расчетная длительность непрерывной работы составляет 6 часов. Вероятность безотказной работы составляет 0.9423

1. Королёв М.В. Эхо-импульсные толщиномеры. – М., Машиностроение, 1980. – 113 с.

УДК 621.9; ГРНТИ 55.13.99

К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАРШРУТНО-ОПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИАЛОГОВЫМИ МЕТОДАМИ

О.В. Миловзоров, Н.В. Грибов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, milovzorov_542@inbox.ru

Аннотация. Рассматриваются основные принципы диалогового проектирования маршрутно-операционных технологических процессов, реализованные в различных САПР-системах. Предлагаются некоторые методические приемы для автоматизации проектирования в части формирования унифицированных шаблонов текстов переходов и проектирования единичных техпроцессов на основе типовых.

Ключевые слова: маршрутно-операционный технологический процесс, планы обработки поверхностей, маршруты обработки элементарных поверхностей, шаблоны текстов переходов.

TO THE QUESTION OF AUTOMATED DESIGN OF ROUTE-OPERATIONAL TECHNOLOGICAL PROCESSES BY DIALOGUE METHODS

O.V. Milovzorov, N.V. Gribov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, milovzorov_542@inbox.ru

Abstract. The basic principles of interactive design of route-operational technological processes implemented in different CAPP-systems are discussed. Some techniques are offered for design automation in terms of formation of transition text templates and design of single technological processes on the basis of standard, obtained on the basis of training experience of enterprise technologists.

Keywords: route and operation process, surface processing plans, elementary surface processing routes, transition text templates.

Маршрутно-операционная технология всегда была специфической частью процесса конструкторско-технологической подготовки производства, характерной, прежде всего для предприятий машиностроения СССР, а затем и Российской Федерации и других стран, образовавшихся после распада Советского Союза. Такое подробное описание технологии производства в виде последовательности технологических переходов с перечнем всего необходимого оборудования, технологической оснастки, режущего и измерительного инструмента, временных норм и норм расхода материала, профессии рабочего, рабочего места, участка и цеха характерно исключительно для отечественного машиностроительного производства [1-3]. В этой связи становится понятным, почему САПР, обеспечивающие разработку комплектов маршрутно-операционных карт, только российской разработки (за исключением только минской системы TECHCARD компании ИНТЕРМЕХ). За рубежом не было разработано такой унифицированной системы подробнейшего описания производственных и технологических процессов. Хотя, безусловно, подобные документы там и применяются, но, как правило, они составляются на конкретных машиностроительных фирмах, ориентированы на узко специализированные потребности этих производств и для тиражирования и применения другими пользователями не предназначены.

Первые САПР для проектирования маршрутно-операционных технологических процессов создавались силами специалистов конкретных машиностроительных предприятий и были ориентированы на запросы технологических служб этих предприятий. Как известно, в 70-80 гг. данными вопросами занимались отделы АСУ, имевшие штат квалифицированных программистов, которые в тесном контакте с технологами разрабатывали алгоритмы функционирования таких САПР. Эти САПР были узко специализированными и учитывали особенности технологической подготовки производства данных предприятий. Унифицированные САПР для решения задач компьютерной разработки комплектов технологических карт появились уже после распада СССР. Первыми такими системами были комплексы ТехноПро, Карус.

К настоящему времени многие САПР проектирования маршрутно-операционных технологий, появившиеся в 90-е гг. уже не поддерживаются фирмами-разработчиками. На их место выдвинулись другие программные системы, которые стали именоваться системами класса CAPP (Computer Aided Process Planning). Кроме уже упомянутой TECHCARD, это системы Вектор (АСКОН), T-Flex Технология (Топ Системы), СПРУТ ТП (Спрут-Технология), ADEM CAPP (группа компаний ADEM).

Первоначально маршрутно-операционная технология разрабатывалась с ориентировкой на обработку на обычных универсальных металлорежущих станках. И повсеместное внедрение в технологические процессы машиностроительного производства обрабатывающих центров и станков с ЧПУ, как казалось, могло привести к постепенному отказу от подробного описания техпроцесса операционной технологией. Тем не менее, этого не произошло. Если рассматривать разработку техпроцесса для 2,5-, 3- и 5-координатных фрезерных станков, то там остается актуальным оптимальный выбор технологом последовательности выполнения переходов по обработке поверхностей не только сложных, но и простых корпусных деталей с выбором соответствующего режущего инструмента. Более того, обилие самых разнообразных стратегий перемещения режущего инструмента как при черновой, так и, в особенности, чистовой обработки (рис. 1), требует формирования предварительного технологического маршрута.

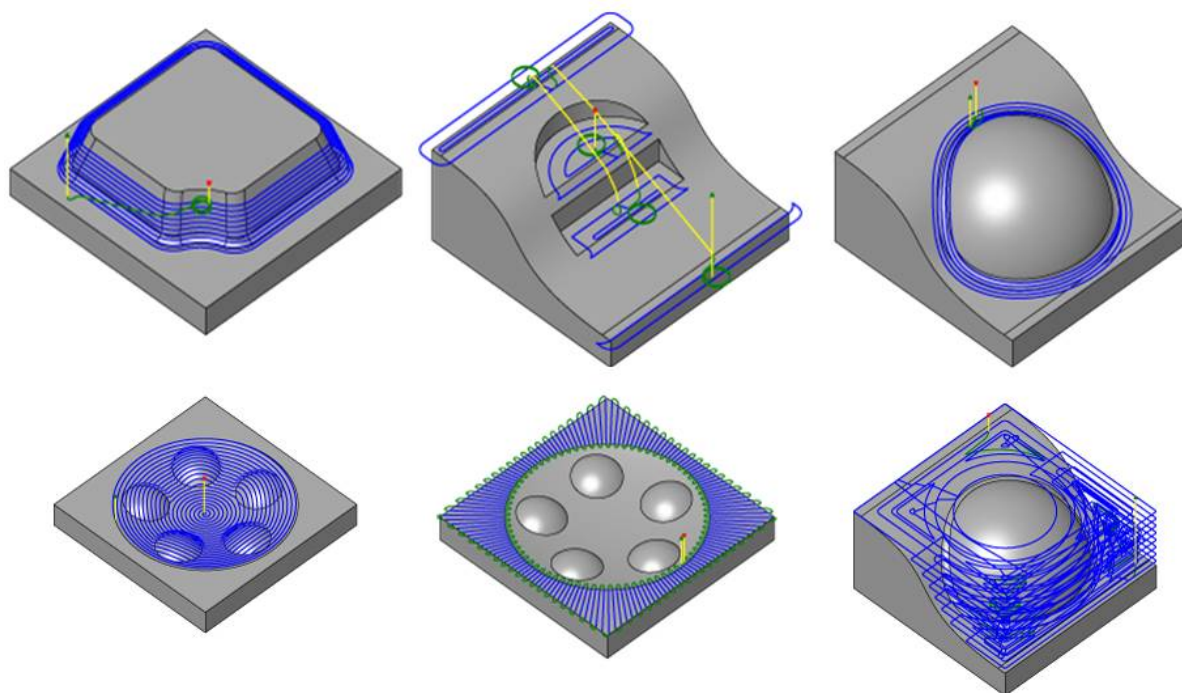


Рис. 1. Различные виды стратегий 3-х координатной чистовой фрезерной обработки

Таким образом, актуальность автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов остается по-прежнему актуальной.

Общей характерной чертой всех современных САПР-систем является их универсальность и интегрированность со всеми системами конструкторско-технологической подготовки производства [4]. Если советские САПР были ориентированы на конкретное производственное предприятие, то эти системы, будучи, безусловно, коммерческим продуктом, изначально разрабатывались, исходя из возможности их широких продаж заказчикам - российским машиностроительным предприятиям. Обратной стороной универсальности стало существенное снижение автоматизированных механизмов проектирования структуры технологических процессов, т.е. возможностей автоматического или автоматизированного формирования маршрута обработки детали в виде последовательности технологических операций и переходов, исходя из особенностей конструкции конкретной детали. В этих условиях единственно приемлемым методом проектирования технологического процесса, реализованным во всех современных САПР-системах, стал диалоговый. При диалоговом проектировании технологического процесса технолог предварительно должен самостоятельно разработать маршрут, т.е. определить последовательность технологических операций и переходов по обработке конкретной детали, после чего средствами САПР-системы ввести полученный маршрут в систему. Такой подход к функциональности САПР-системы привел тому, что система фактически становилась автоматизированным справочником, позволяющим из обширной базы данных, содержащей всю информацию о производственной базе предприятия, с помощью различных поисковых механизмов извлечь необходимую информацию и ввести ее в формируемый технологический процесс. Технологический процесс при этом приобретает форму дерева, ветвями которого становятся технологические операции и переходы, а листьями (т.е. терминальными узлами, не имеющими дочерних элементов) - конкретная технологическая информация. Операции, как правило, выбираются из базы данных предприятия, в то время, как для текстов технологических переходов возможны варианты их формирования. Простейший вариант - непосредственный ввод текста перехода с клавиатуры, либо использование для этой цели шаблонов текстов переходов, редактируемых пользователем. Данный метод формирования структуры техпроцесса прост, но не достаточно эффективен. Более рациональным яв-

ляется использование полностью подготовленных шаблонов текстов переходов, в которых необходимые размерные перемещения и другая уточняющая технологическая информация конкретного перехода вводится на основе переменных [5-7].

Формирование текстов переходов на основе шаблонов применяется практически во всех САПР-системах. Например, «Точить поверхность {E} до диаметра {D} на длине {L}, выдерживая размер {X}». Здесь переменными являются обозначение поверхности на операционном эскизе {E}, выполняемые размеры {D} и {L}, выдерживаемый размер {X}. С целью универсализации шаблонов с возможностью формирования различных комбинаций готовых текстов в зависимости от степени детализации описания технологического процесса в шаблонах используется механизм привязки фрагмента текста перехода к переменной. Примером такого шаблона может служить следующий текст: «Точить поверхность {E} [с диаметра {D0}] до диаметра {D} [на длине {L}][, выдерживая размер {X}][, размер {Y}] [с шероховатостью {Sh}][, с припуском {Pr} на дальнейшую обработку]». Привязка фрагмента, заключенного в скобки [], позволяет исключать из готового текста перехода данный фрагмент, если в процессе его формирования соответствующая переменная не была определена численным значением. Таким образом, из приведенного шаблона может быть получен как переход чернового точения «Точить поверхность {E} с диаметра {D0} до диаметра {D} на длине {L}, так и чистового точения «Точить поверхность {E} до диаметра {D} на длине {L}, выдерживая размер {X} с шероховатостью {Sh}, как с указанием припуска на дальнейшую обработку, так и без него. Кроме того, с помощью фрагментов с привязанными переменными возможно формирование из одного шаблона текстов переходов с системой снимаемых припусков - например, для получистового, чистового и тонкого точений - в зависимости от количества стадий обработки детали. Для этого соответствующие припуски должны указываться в шаблоне и отсутствие заданного припуска системой будет восприниматься как исключение соответствующего фрагмента текста.

Переменные могут быть также текстовыми. Это позволяет вводить в текст перехода какие-либо технологические указания, такие, например, как вид термообработки, условия, режимы. Кроме того, использование текстовых переменных является выходом из положения, когда в переходе необходимо указать большое количество числовой информации - такой, как координаты большого количества отверстий в корпусной детали, выполняемых в одном переходе одним сверлом.

В системах САПР возможна некоторая автоматизация в диалоговом режиме по формированию маршрута обработки детали, т.е. определения последовательности переходов. С этой целью используются типовые планы обработки поверхностей и соответствующие им маршруты обработки элементарных обрабатываемых поверхностей, как-то, отверстий, пазов, торцов. Элементарные обрабатываемые поверхности в разных САПР могут именоваться как технологические элементы (ТЭ), либо конструктивно-технологические элементы (КТЭ). Системы таких элементов и соответствующие им маршруты обработки были сформированы еще в 70-е - 80-е годы прошлого века. Так, например, точное отверстие может быть получено путем последовательного центрования, сверления, зенкерования, развертывания. Подобные маршруты помещаются в справочник САПР-системы, откуда затем пользователь может его извлечь. Для облегчения поиска такие справочники содержат эскизы планов обработки, которые лучше воспринимаются технологами, имеющими определенный опыт работы (рис. 2).

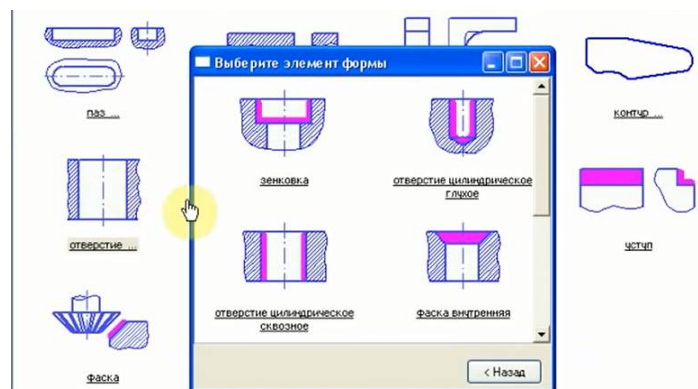


Рис. 2. Выбор плана обработки элементарной поверхности (САПР СПРУТ ТП)

После укрупненного формирования маршрута начинается его детализация, т.е. ввод необходимой технологической информации в терминальные узлы дерева техпроцесса. Такой информацией является:

- технологическое оборудование, станок;
- технологическое приспособление (патрон, УСП, УСПО, магнитная плита и др.);
- режущий, измерительный и вспомогательный инструмент;
- тип смазывающе-охлаждающего технологического средства;
- тип основного материала, сортament;
- вид заготовки (прокат, отливка, поковка);
- тип вспомогательного материала;
- нормы расхода основного материала, коэффициент использования материала;
- нормы времени - основное, вспомогательное (для переходов), подготовительно-заключительное, штучное (для операций);
- профессия рабочего;
- цех, участок, рабочее место;
- шифр инструкции по технике безопасности.

Основным способом выбора необходимой технологической информации в диалоговом проектировании является поиск в соответствующем справочнике (рис. 3).

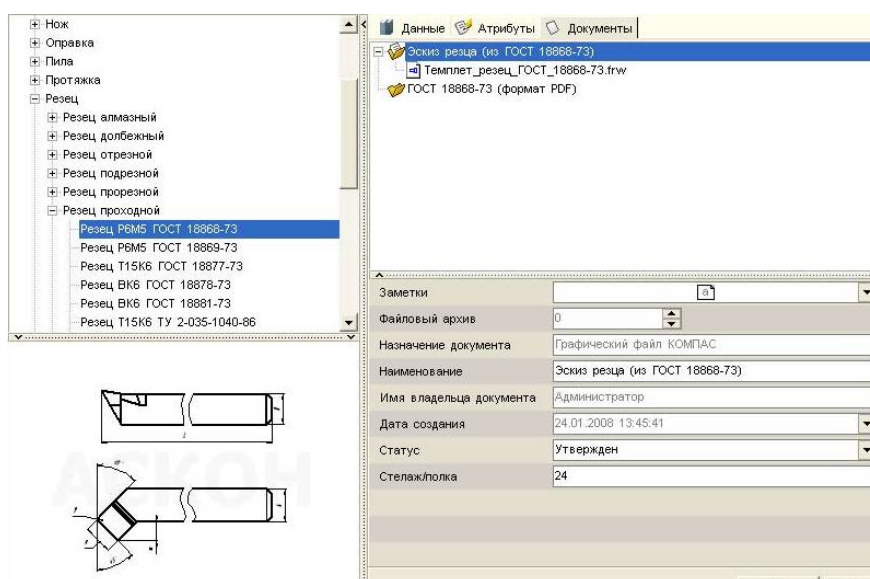


Рис. 3. Пример технологического справочника по режущему инструменту (САПР Вертикаль)

При поиске нужного технологического оснащения пользователь должен самостоятельно в дереве справочников отыскать нужный, раскрыть все уровни вложений до появления отдельной записи по требуемому оснащению (рис. 3). Для наглядности САРР-система может вывести эскиз, которые в виде графических файлов привязываются к соответствующему элементу дерева. Если в ранних версиях САРР-систем вместе с проектирующей оболочкой предлагались и наборы справочников технологической информации, то в последнее время наблюдается тенденция к самостоятельному, силами специалистов предприятия, формированию системы таких справочников. Это стало необходимым в связи с огромным количеством самых различных видов технологического оснащения, имеющегося на машиностроительном рынке, в то время, как конкретное предприятие работает с существенно меньшим объемом технологической информации, регламентируемым стандартами предприятия.

Практически все системы в той или иной мере используют несколько механизмов автоматизированного поиска нужной информации.

1. *Контекстный поиск*, заключающийся в нахождении нужной информации по первым вводимым символам. Этот способ чаще всего используется для поиска наименования технологической операции. Действительно, наименования операций строго гостированы, их общее число превышает 1000. Контекстный поиск наименования операции показан на рисунке 4.

Рис. 4. Контекстный ввод наименования операции. Введены три символа "Заг" (САРР T-Flex Технология)

Хотя контекстный поиск возможен и при поиске шаблонов текстов переходов, такой вариант работы зачастую приводит к необходимости ручного безошибочного ввода достаточно больших фрагментов текста. Предположим, что переход точения цилиндрической поверхности должен иметь следующий вид: "Точить поверхность "Е" до диаметра "D" на длине "L" с шероховатостью "Sh", выдерживая размер "А"". Но в системе, наряду с нужным шаблоном, могут уже находиться несколько переходов подобного типа: "Точить поверхность "Е" до диаметра "D" окончательно"; "Точить поверхность "Е" до диаметра "D" на длине "L" от заготовки"; "Точить поверхность "Е" до диаметра "D" с шероховатостью "Sh"; "Точить поверхность "Е" до диаметра "D", выдерживая размер "А"". Как показывает практика работы с технологами различных предприятий, подобных формулировок может быть достаточно много. В результате, для отыскания нужного шаблона на основе контекстного поиска понадобится ввести практически весь текст. При этом следует иметь в виду, что любой дополнительный символ, включая пробел, может привести к невозможности отыскания нужного шаблона.

2. *Фильтрация на основе уникальной совокупности символов*. Этот вид поиска эффективен при введении необходимого технологического оснащения, например, режущего инструмента. Российские режущие и измерительные инструменты гостированы, и технолог обычно четко знает соответствующие номера ГОСТ. Такие поисковые процедуры обычно

предлагают заключение уникальной последовательности в *...*. Корректный алгоритм поиска при этом предлагает целый набор единиц оснащения, чьи номера соответствуют введенным ключевым. Кроме того, если в базе данных имеется соответствующий эскиз, он также выводится. Все это позволяет технологу выбрать нужный вид инструмента, оснастки. Помимо номера ГОСТ целесообразно использовать часть наименования инструмента, что обеспечивает возможность быстрого просмотра всех инструментов с данным наименованием, имеющихся в базе данных. Отметим, что на предприятиях, особенно ВПК, действует ограничительный перечень и база данных предприятия формируется на его основе. На рисунке 5 представлен вариант поиска по совокупности символов.

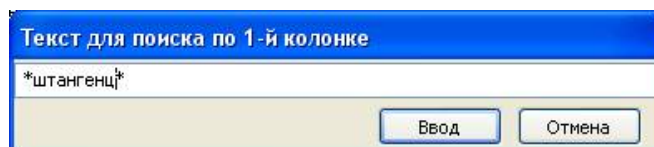


Рис. 5. Поиск по совокупности символов

3. Поиск на основе фильтров видов групп оснащения. В САРР-системах могут использоваться фильтры, обеспечивающие доступ к более узким группам вида оснащения, которые открываются соответствующими кнопками, обозначенными принятыми в маршрутно-операционной технологии символами, например "Б" - оборудование, "ПР" - приспособления, "СИ" - средства измерения, "РИ" - режущий инструмент и др. (рис. 6).

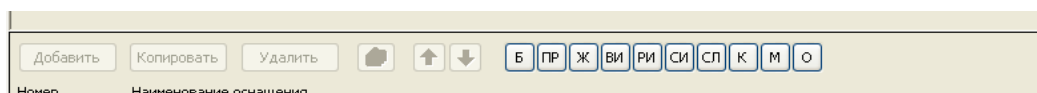


Рис. 6. Интерфейс для выбора вида технологического оснащения (САПР T-Flex Технология)

Для ввода численных и текстовых параметров в переходы в САРР-системах применяются такие способы, как непосредственный ввод через таблицу переменных данного перехода, путем кликов по соответствующим параметрам открытого чертежа, а также через технологические элементы.

Опыт применения САПР маршрутно-операционных технологий на предприятиях машиностроения показал, что на этапе освоения системы особого ускорения процесса проектирования технологии не наблюдается, опытный технолог достаточно просто с применением таких систем, как Ms Excel, Ms Access формирует комплект карт. однако в результате длительного использования САПР в системе накапливается достаточно большой объем готовых технологических процессов, и формирование нового единичного техпроцесса уже может осуществляться как простое редактирование одного из уже имеющихся. На этом этапе освоения САПР она уже начинает приносить существенное повышение производительности труда технологического подразделения.

Еще одним достаточно эффективным приемом повышения эффективности применения САРР-систем служит формирование базы типовых операций с заведомо избыточным количеством переходов по обработке наиболее часто встречающихся поверхностей. К примеру, для токарной обработки могут быть сформированы такие операции, как черновая токарная, полустачевая токарная, чистовая токарная, тонкая токарная, причем в одной операции могут содержаться шаблоны переходов подрезки торцов, точения нескольких цилиндрических поверхностей - правых или левых, точения канавок, обработки фасок. При наличии таких операций формирование техпроцесса может выполняться путем выборки последовательности таких операций и ручного исключения из них "лишних" переходов.

Более высокую степень автоматизации проектирования маршрутно-операционных технологических процессов с возможностью автоматического формирования единичных процессов на основе информационной модели детали обеспечивает САПР-система T-Flex Технология (ранее - ТехноПро) [5, 6, 8, 9], однако это требует более высокой квалификации технологов, наличия у них серьезных навыков программирования, специфического обучения и значительных затрат времени на формирование общих технологических процессов. Как показывает практика, диалоговых методов проектирования оказывается вполне достаточно для успешной автоматизации проектирования технологических процессов на базе САПР-систем

Основными рекомендациями для эффективного освоения САПР маршрутно-операционных технологических процессов с использованием ее в диалоговом режиме будут следующие:

- формирование справочников оснащения, применяемых на данном предприятии;
- формирование базы шаблонов унифицированных текстов переходов с возможностью автоматического формирования нескольких вариантов готового перехода с помощью переменных;
- использование в текстах переменных для указания припусков на обработку;
- использование системы технологических элементов;
- наработка типовых технологических процессов и их ввод в базу данных;
- формирование системы типовых избыточных технологических операций.

Предложенные рекомендации были апробированы при внедрении САПР-систем на ряде российских машиностроительных предприятий.

Библиографический список

1. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов в системе T-FLEX Технология. – Рязань, 2013. – 63 с.
2. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР технологических процессов. конспект лекций: Часть 1. – Рязань, 2015. – 47 с.
3. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР технологических процессов. конспект лекций: Часть 2. – Рязань, 2015. – 52 с.
4. Миловзоров О.В., Михайлин П.О. Современные средства интеграции конструкторской и технологической подготовки производства на базе PLM-системы T-FLEX // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2018: сб. тр. межд. науч.-техн. форума: в 11 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля – 2 марта 2018 г.). Рязань: РГРТУ, 2018. С. 179-187.
5. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник РГРТУ. 2014. № S1. С. 59-66.
6. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-FLEX Технология Вестник РГРТУ. 2015. № 54-1. С. 133-138.
7. Михайлин П.О., Миловзоров О.В. Автоматизация общих технологических процессов в системе T-FLEX Технология для обработки деталей на токарно-обрабатывающих центрах // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017: сб. тр. II межд. науч.-техн. конф: в 8 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля – 2 марта 2018 г.). Рязань: РГРТУ, 2017. С. 29-32.
8. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-FLEX Технология // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. межд. науч.-техн. конф: в 4 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля – 2 марта 2016 г.). Рязань: РГРТУ, 2016.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 178-182.
9. Миловзоров О.В., Михайлин П.О. К вопросу о разработке общих технологических процессов в системе T-FLEX Технология для обработки деталей на токарно-обрабатывающих центрах // в кн.: Неделя науки СПбПУ: матер. науч. конф. с межд. уч. 2016. С. 257-260.

УДК 62-5; ГРНТИ 55.20.15

РАСЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

Р.Н. Дятлов*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaitp@list.ru*

Аннотация. В работе рассматривается возможность компьютерного моделирования процессов лазерной обработки материалов. Приведены распределения тепловых полей в объёме обрабатываемого материала при воздействии на него концентрированного потока энергии. Показано влияние параметров обработки и теплофизических параметров материала на распределение тепловых фронтов по координатам.

Ключевые слова: лазер, поток энергии, обработка материалов, тепловые поля, *MathCAD*.

CALCULATION OF THERMAL FIELDS WHEN PROCESSING MATERIALS WITH CONCENTRATED ENERGY FLOWS

R.N. Dyatlov*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kaitp@list.ru*

The summary. The paper considers the possibility of computer modeling of laser processing of materials. The distributions of thermal fields in the volume of the processed material when exposed to a concentrated flow of energy are given. The influence of processing parameters and thermophysical parameters of the material on the distribution of thermal fronts by coordinates is shown.

Keywords: laser, energy flow, material processing, thermal fields, *MathCAD*.

В машиностроительном производстве обработка материалов производится не только механическими способами, но и электрофизическими, электрохимическими и концентрированными потоками энергий (КПЭ) – в промышленности реализовано в виде лазерных, электронно-лучевых и плазменных устройств обработки материалов. Последний способ обработки материалов – КПЭ, один из наиболее развивающихся. Это связано с особенностями взаимодействия лучистых потоков энергии с веществом.

Концентрированный поток энергии – это направленное движение высокоэнергетического пучка каких-либо частиц (фотоны, электроны, ионы). Лазерным лучом и плазмой можно обработать любой земной материал – металлический или неметаллический, проводник или диэлектрик; сварка металлов электронным лучом – один из самых надёжных методов получения прочных сварных соединений. Способность вводить большие мощности в зону обработки и гибкость в регулировании параметров техпроцесса в некоторых случаях оказывают решающую роль при выборе методов обработки и изготовлении детали.

В зависимости от вида КПЭ его взаимодействие с материалом может проявляться в различных формах (бомбардировка ионами, разрушение кристаллической решётки электронами), но в итоге всегда сопровождается локальным нагревом поверхности обрабатываемой детали [1]. Тепловые поля распространяются по всему объёму материала в виде тепловых фронтов по координатам x , y , z . Процесс распространения тепловых полей описывается уравнениями математической физики [2, 3].

Использование системы компьютерной алгебры *MathCAD* позволяет формализовать некоторые математические уравнения процессов обработки и тем самым получить наглядные графические зависимости тепловых процессов. Двумерные графики предоставляют данные для анализа влияния тех или иных параметров техпроцесса обработки на распределения теплового поля в обрабатываемом материале.

Теплофизическими параметрами вещества являются плотность материала, теплопроводность и удельная теплоёмкость; параметры обработки КПЭ – радиус пятна луча, скорость сканирования луча по поверхности, мощность излучения. Изменяя параметры обработки,

возможно повлиять на тепловые поля и выяснить какой из параметров в большей и меньшей степени влияет на распределение температур в зоне воздействия пучка.

На рисунке 1 показана зависимость температуры от времени в центре пятна на стадии нагрева. Пунктирной линией обозначена кривая при исходных параметрах техпроцесса. Другие зависимости приведены при изменениях мощности источника или плотности материала относительно исходной величины при постоянстве остальных параметров. Изменяя параметры на одинаковую процентную величину относительно исходных данных возможно оценить степень влияния теплофизических параметров и параметров КПЭ на весь процесс в целом.

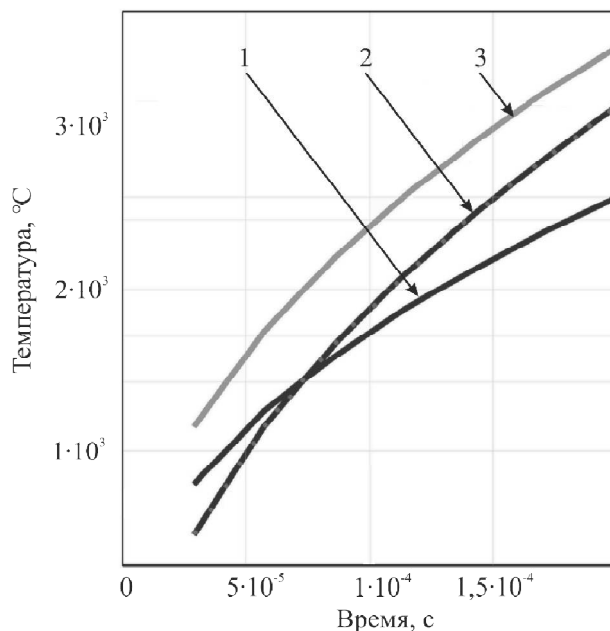


Рис. 1. Зависимости температуры от времени: 1 – исходные параметры; 2 – плотность материала на 30 % меньше исходной; 3 – мощность источника на 30 % больше исходной

Пользуясь данными полученных зависимостей возможно сделать вывод о влиянии теплофизических характеристик вещества и параметров обработки КПЭ на технологический процесс обработки материалов. Полученные результаты помогают управлять техпроцессом и регулировать параметры процесса обработки детали. Возможно установить взаимосвязь степени влияния исходных данных процесса на конечные зависимости.

Модели тепловых полей при обработке материалов КПЭ

Решение любой технологической задачи необходимо начинать с выбора методики расчёта и анализа исходных данных. Физическая модель технологии обработки КПЭ определяется следующими параметрами: а) скоростью $V_{обр}$ обработки материала; б) мощностью P воздействия КПЭ; в) временем $t_{об}$ воздействия в зоне облучения при непрерывной обработке; г) радиусом r_n пятна луча; д) длительностью τ_i воздействия импульса; е) энергией W в импульсе при импульсной обработке.

Дополнительно могут быть представлены данные по размерам детали – $D \times W \times H$ (длина, ширина, высота) и предполагаемая глубина h_z зоны обработки.

Основные теплофизические свойства материала можно узнать из таблиц соответствующих справочников [3-5]: температура $T_{пл}$ плавления вещества, плотность ρ , теплопроводность λ , теплоёмкость c и температуропроводность a , которая связана с предыдущими параметрами формулой $a = \lambda / (c\rho)$.

Следующие параметры помогают определиться с выбором модели расчёта:

1) скорость распространения теплового фронта $V_t = \sqrt{a/t}$ в материале детали за время действия КПЭ;

2) расстояние $h_T = \sqrt{4at}$, на которое распространяется тепловой фронт по поверхности или вглубь материала за время действия КПЭ.

Различают следующие виды источников нагрева:

а) точечный при $r_n \leq h_T$, т. е. необходимо учитывать отвод тепла из-под пятна КПЭ по поверхности детали, который в значительной мере уменьшает температуру нагрева в зоне обработки при прочих условиях;

б) распределённый (пространственный) при $r_n > h_T$. Тогда при расчёте режимов обработки отводом тепла из зоны воздействия лазерного луча за время $t = d_n/V_{обр}$ можно пренебречь ($d_n = 2r_n$);

в) при $V_{обр} \leq V_t$ моделируется точечный перемещающийся источник. Для данной модели при расчёте требуется учитывать отвод тепла по всем трём направлениям x , y и z ;

г) при $V_{обр} > V_t$ имеем мощный быстродвижущийся источник. Тогда в процессе расчёта технологических режимов обработки по направлению x движения лазерного пучка отводом тепла можно пренебрегать. Просчитывается распространение тепла только по направлению y и z в декартовой системе координат, т. е. перпендикулярно движению луча и вглубь материала детали;

д) при толщине обрабатываемого материала намного больше расстояния, на которое распространяется тепловой фронт за время действия КПЭ $H \gg h_T$ реализуется модель полубесконечного тела. В действительных расчётах можно применять условие $\min(D, W, H) > 4h_T$;

е) если любой из минимальных размеров обрабатываемого материала меньше или равен расстоянию $\min(D, W, H) \leq h_T$, на которое распространяется тепловой фронт за время действия КПЭ, то используется теплофизическая модель тонкой пластины – деталь нагревается на весь минимальный размер.

Механизм распространения теплового фронта при воздействии на материал КПЭ показан на рисунке 2: а) вертикальный вид; б) фронтальный вид.

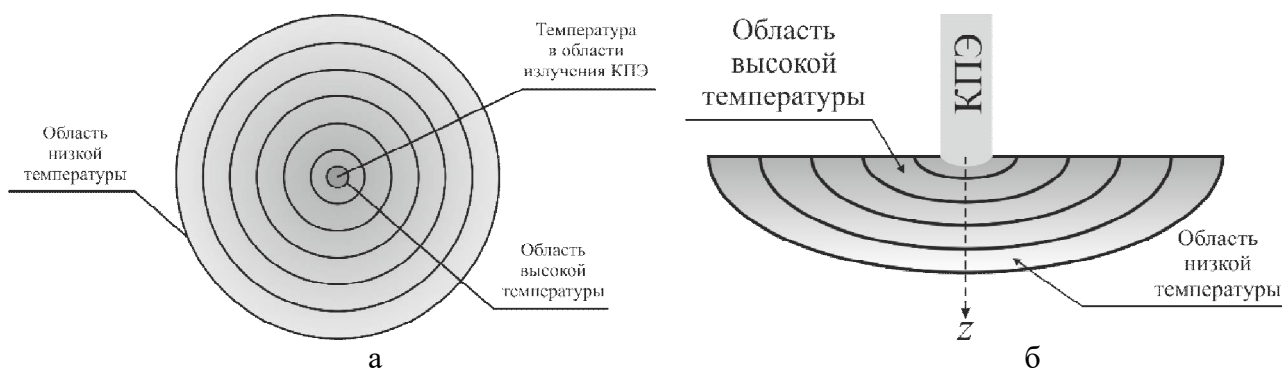


Рис. 2

Следующим этапом расчёта тепловых режимов обработки материалов является анализ теплофизических характеристик. Например, если указан материал железо, то необходимо обратиться к справочной литературе [3-5] для выяснения теплофизических характеристик именно этой марки стали.

При расчёте технологических режимов определяют следующие параметры: температуру $T(z, t)$ на необходимой глубине z заготовки, температура $T(0, t)$ на поверхности детали, глубину закалки $z_{зак}$, скорость охлаждения $V_{охл} = -dT/dt$ материала в зоне обработки, скорость нагрева $V_{наг} = dT/dt$ материала в зоне обработки, градиент температур $\text{grad}(T) = dT/dz$, ско-

рость обработки $V_{обр}$, необходимая энергия или мощность излучения для достижения требуемых результатов обработки и ряд других величин.

Основные формулы для расчёта компьютерных моделей

Объектом моделирования был взят лазерный источник, как наиболее распространённый среди КПЭ и гибкий в изучении инструмент. Инструментом для описания математической модели и построения расчётных зависимостей выбран программный пакет для инженерных расчётов *MathCAD*. Математический аппарат и физика тепловых процессов описаны в литературе [1-3, 9]. Существуют множество вариантов лазерной обработки в зависимости от параметров источника, например:

- а) импульсная лазерная обработка точечным источником;
- б) обработка объёмным точечным источником;
- в) лазерная обработка Гауссовым точечным источником;
- г) лазерная обработка Гауссовым распределённым источником;
- д) лазерная обработка мощным быстродвижущимся источником;
- е) лазерная сварка точечным импульсным лазерным источником.

В работе рассматривались процессы происходящие при импульсной лазерной обработке точечным источником.

Импульсная лазерная обработка однородных материалов при использовании модели полубесконечного твёрдого тела позволяет получить методом интегральных преобразований аналитически точное решение соответствующей тепловой задачи при условии, что интенсивность лазерного источника не зависит от времени [1, 2].

Исходными данными для расчёта являлись: плотность ρ [кг/м³] материала, температура $T_{пл}$ [°C] плавления, теплопроводность λ [Вт/м·K] при $T = 300$ K, удельная теплоёмкость c [Дж/кг·K] при $T = 300$ K, мощность P [Вт] лазерного воздействия, скорость VL [м/сек] сканирования лазерного пучка по поверхности, радиус r_n [мкм] пятна лазерного излучения.

Примеры результатов моделирования в виде графических зависимостей приведены на рисунке 3: а) температура $T(z)$ на стадии нагрева (сплошным – начальный момент времени, пунктиром – окончание лазерного импульса); б) скорость $V(z)$ на стадии нагрева (сплошным – начальный момент времени, пунктиром – окончание лазерного импульса).

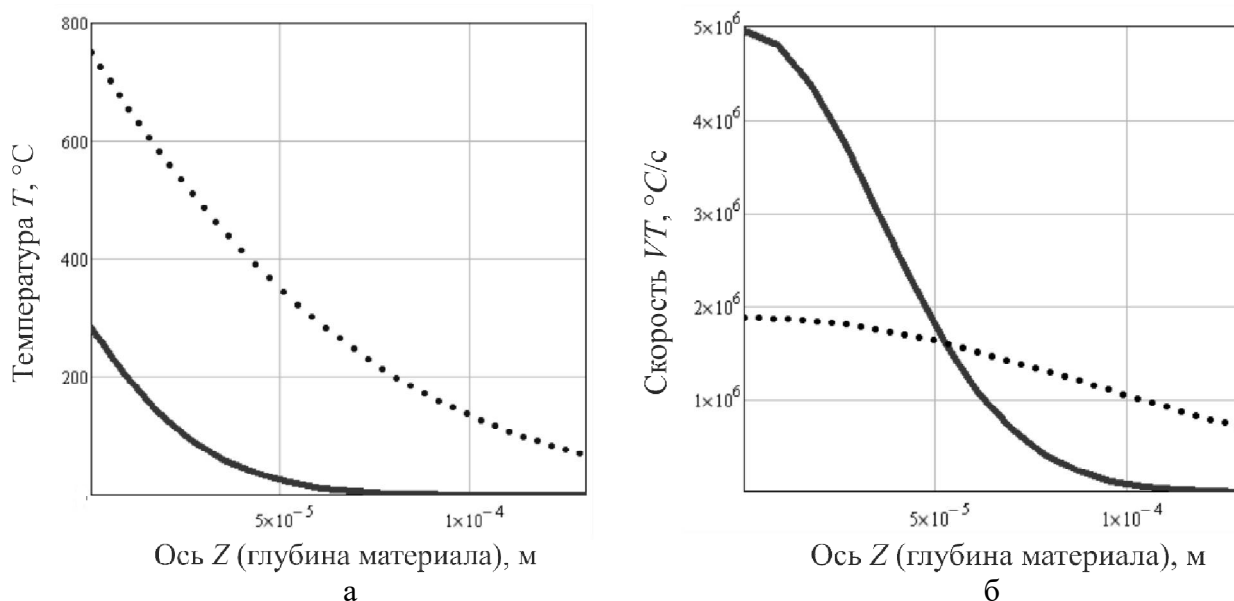


Рис. 3

Ниже приведены формулы, которые используются для моделирования тепловых полей:

– температура нагрева материала, как функция координат в любой момент времени $t \leq \tau_i$ описывается формулой [1]

$$T(z, t) = 2 \frac{A}{\lambda} q \sqrt{at} \left[\operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \right],$$

где A – коэффициент поверхностного поглощения лазерного излучения;

q – плотность мощности лазерного воздействия;

λ – теплопроводность;

a – температуропроводность.

Функция $\operatorname{ierfc}(x)$ представляет собой интеграл от функции интеграла вероятности

$$\operatorname{ierfc}(x) = \int_x^\infty \operatorname{erfc}(x) dx = \left(\frac{1}{\pi^{1/2}} \right) e^{-x^2} - x \operatorname{erfc}(x),$$

и она спадает с увеличением аргумента x более резко, чем функция ошибок $\operatorname{erfc}(x)$ [8].

– температура охлаждения материала после окончания лазерного воздействия, как функция координат в любой момент времени $t \geq \tau_i$ описывается формулой [1]

$$T(z, t) = 2 \frac{A}{\lambda} q \left[\operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \sqrt{at} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) - \operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{a(t-\tau_i)}} \right) \sqrt{a(t-\tau_i)} \left(\frac{z}{2\sqrt{a(t-\tau_i)}} \right) \right],$$

где τ_i – время лазерного воздействия.

– скорость нагрева, как функция координат в любой момент времени $t \leq \tau_i$ описывается формулой [1]

$$V_T(z, t) = \frac{\delta T(z, t)}{\delta t} = \frac{A}{\lambda} q \left(\operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \sqrt{\frac{a}{t}} + \frac{z}{2t} \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \right).$$

– скорость охлаждения, как функция координат в любой момент времени $t \geq \tau_i$ описывается формулой [7]

$$V_T(z, t) = \frac{A}{\lambda} q \left(\operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \sqrt{\frac{a}{t}} + \frac{z}{2t} \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right) - \operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{a(t-\tau_i)}} \right) \sqrt{\frac{a}{t-\tau_i}} - \frac{z}{2(t-\tau_i)} \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{a(t-\tau_i)}} \right) \right).$$

– температурный градиент, как функция координат в любой момент времени $t \leq \tau_i$ – формула [1]

$$\frac{\delta T(z, t)}{\delta z} = - \frac{Aq}{\lambda} \operatorname{ierfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{at}} \right).$$

– температура в центре пятна ($z = 0$) на стадии нагрева [7]

$$T(z, t) = 2 \frac{A}{\lambda} q \sqrt{\frac{at}{\pi}}.$$

– температура в центре пятна на стадии охлаждения [7]

$$T(z, t) = 2 \frac{A}{\lambda \sqrt{\pi}} q \left[\sqrt{at} - \sqrt{a(t - \tau_i)} \right].$$

– скорость нагрева в центре пятна в любой момент времени $t \leq \tau_i$ [1]

$$V_T(z, t) = \frac{A}{\lambda} q \sqrt{\frac{a}{\pi t}}.$$

– скорость охлаждения в центре пятна в любой момент времени $t \geq \tau_i$ [1]

$$V_T(z, t) = \frac{\delta T(z, t)}{\delta t} = \frac{A}{\sqrt{\pi \lambda \rho c}} q \left(\sqrt{\frac{1}{t}} - \sqrt{\frac{1}{t - \tau_i}} \right).$$

Конечным результатом работы компьютерных моделей являются двух и трёхмерные графические распределения тепловых полей в заданных плоскостях или по всему объёму зоны обработки.

В данной работе рассматривался процесс распределения тепловых полей в материалах при воздействии на них импульсного лазерного излучения. Были получены графические зависимости тепловых процессов на различных стадиях обработки. Показана возможность изучения механизмов нагрева и охлаждения материала в зависимости от теплофизических параметров вещества и параметров лазерной обработки.

Заложенный потенциал в моделировании процессов лазерной обработки успешно внедрён в учебный процесс. В процессе работы с компьютерными моделями были выявлены дополнительные возможности, объясняющие некоторые особенности тепловых процессов.

Библиографический список

1. Лазерная и электролучевая обработка материалов: Справочник/Под ред. Н. Н. Рыкалина и др. М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
2. Будак Б. М., Самарский А. А., Тихонов М. Н. Сборник задач по математической физике. М.: Наука, 1972. - 150 с.
3. Веденов А. А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.: Энергоатомиздат, 1985. - 208 с.
4. Марочник сталей и сплавов: Справочник/Под ред. В. Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
5. Таблицы физических величин: Справочник/Под ред. И. К. Кикоина М.: Атомиздат, 1976. - 1008 с.
6. Свойства элементов: В 2 ч. Ч. 1. Физические свойства: Справочник/Под ред. Г. В. Самсонова. М.: Металлургия, 1976. - 600 с.
7. Бертяев Б. И., Завестовская И. Н., Игошин В. И., Катулин В. А., Шишковский И. В. Физические основы моделирования и оптимизации процесса лазерной поверхностной закалки сталей. Труды ФИАН – М.: Наука. - 1989. - Т.198, С. 5-23.
8. Функция ошибок. Свободная энциклопедия «Википедия». – Текст: электронный. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Функция_ошибок
9. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: «Машиностроение», 1989. - 301 с.

УДК 004.932.2; ГРНТИ 20.19.27:

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТОВ С ПОМОЩЬЮ TESSERACT

Р.Н. Дятлов, М.М. Еремин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, er3m1n@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются особенности использования модуля TESSERACT языка python.

Ключевые слова: python, программирование, автоматизация, точность, CV, компьютерное зрение.

THE TESSERACT POSTPROCESSING

R.N. Dyatlov, M.M. Eremin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, er3m1n@yandex.ru*

The summary. This paper discusses the features of using the TESSERACT module in python.

Keywords: python, programming, automation, accuracy, CV, computer vision.

Современные способы обработки информации позволяют обрабатывать большие объемы данных в реальном времени, способствуют объединению систем автоматизации и информатизации в автоматизированные системы управления более высокого и сложного уровня, повышая общую синергетическую ценность системы, нежели чем использование ее компонент по отдельности.

Одним из таких направлений является распознавание текстов с помощью программно-аппаратных средств. Наиболее доступными и популярными инструментами для таких задач являются высокоуровневый язык PYTHON, и его различные модули, такие как PIL[1], TESSERACT.

Проблемой использования TESSERACT является то, что данный модуль выполняет распознавание корректно, когда проекция исходного изображения расположена нормально к точке обозрения объектива, а нарушение данного условия вносит искажение в результат распознавания.

Тем не менее этот недостаток можно устранить, используя OCR TESSERACT через Python, программно меняя исходное изображение для сбора результатов и их анализа.

На исходном изображении – рисунке 1 есть три коротких текста E207TB62, Y129OC62 и K149TY48.



Рис.1. Исходное изображение

Причем тексты E207TB62 и K149TY48 имеют нормальное (перпендикулярное) расположение по отношению к объективу, а текст Y129OC62 имеет расположение, отличное от нормального.

Для обработки полученных используется модуль PIL являющейся библиотекой, предназначенной для работы с изображениями.

Для получения серии экспериментальных данных берутся исходные изображения и производится их обработка с LUT [2] - таблицей сопоставления цвета, позволяющей получить новое изображение с искаженной контрастностью и яркостью с целью дальнейшей обработки в заведомо ухудшенных условиях для распознавания. Затем полученные изображения, пропускаются через систему TESSERACT, на выходе которой появляется результат – строка, являющаяся случайной величиной. Как и у любой случайной величины - у строки можно найти числовую характеристику – мат ожидание, но в данном случае вместо математического ожидания употребляется мода, так как данные, полученные в результате распознавания имеют нечисловую природу. После этого данные подлежат обработке путем прохождения через фильтр.

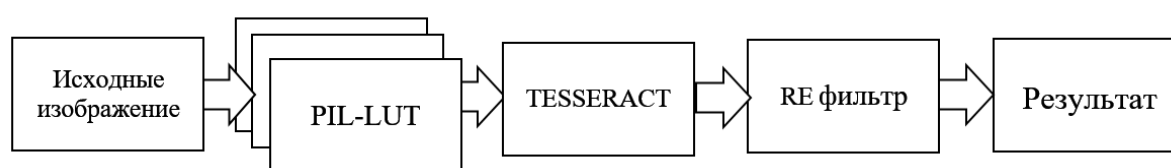


Рис. 2. Структурная схема алгоритма



Рис. 3. Градация контрастности изображения, подвергаемого распознаванию

При нормальном расположении текста случайная величина результата подчиняется закону биномиального распределения, которое подразумевает увеличение частот наступления события около моды. Для проверки этих теории о биномиальном распределении этой величины достаточно посмотреть на диаграммы частот (рис. 4 и рис. 5) и таблице 1. Исходя из вида диаграмм можно судить о сходимости частот к вероятности наступления результата события— числу, к которому приближается отношение количества осуществлений события А, в данном случае – верном распознавании текста, к количеству всех опытов при безграничном увеличении количества экспериментов, что Бернулли доказал в рамках математической модели, требующей, чтобы вероятность того, что максимальное отклонение частоты от вероятности превзойдет заданную сколь угодно малую положительную константу, стремилась к нулю при неограниченном увеличении числа испытаний.

Теорема Бернулли утверждает, что при фиксированном событии отклонение частоты от вероятности стремится к нулю (по вероятности) с ростом объема выборки, т. е. справедливо [3]:

$$P\{|P(A) - v(A)| \geq \varepsilon\} \rightarrow 0, l \rightarrow \infty, \quad (1)$$

где $v(A) = \frac{n(A)}{l}$ — относительная частота наступления события A , в конкретном примере — верных распознаваний номера, а l — число опытов.

Тогда максимальное отклонение вероятности от частоты будет выражено из (1):

$$\pi(l) = \sup (|v(A) - P(A)|). \quad (2)$$

$\pi(l)$ является случайной величиной, тогда при $l \rightarrow \infty$, возникает, что

$$\lim_{l \rightarrow \infty} P(\pi(l) > \varepsilon) = 0. \quad (3)$$

При этом для (1) актуально: $P\left\{|P(A) - \frac{n(A)}{l}| \geq \varepsilon\right\} = \frac{P(A) \cdot (1 - P(A))}{n \varepsilon^2}$.



Рис. 4. Диаграмма частот для сырых данных для текста 149

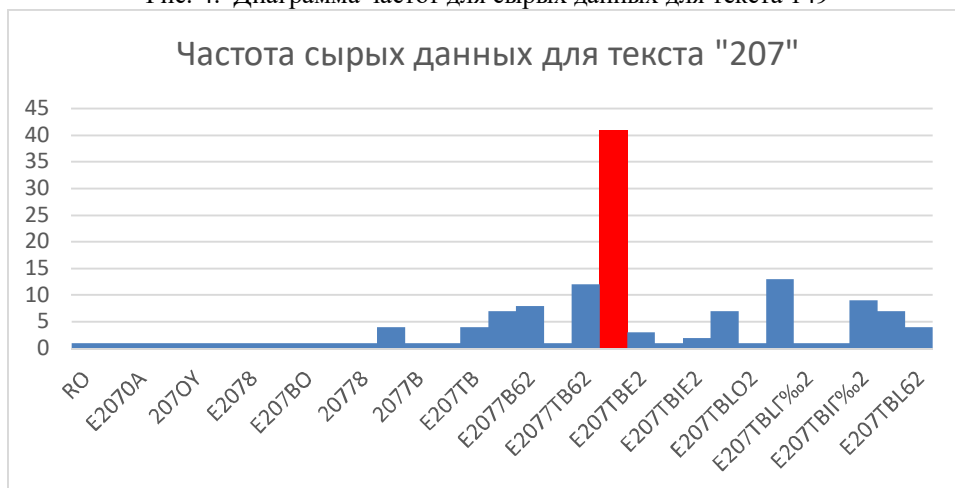


Рис. 5. Диаграмма частот для сырых данных для текста 207

Однако, при не идеальных условиях, связанных с перспективой изображения, происходят аномалии. Примером такой аномалии являются данные, полученные при распознавании текста У129ОС62 и приведенные на рисунке 6 в виде гистограммы и таблице 1. В таких случаях применяется фильтр для строк, после которого остается результат.



Рис. 5. Диаграмма частот для сырых данных для текста 129

Таблица 1. Доли для необработанных текстов

	Текст «207»	Текст «149»	Текст «129»
Количество верных распознаваний	35	41	4
Доля верных распознаваний, %	40	29	3
Количество не верных распознаваний	53	98	99
Доля не верных распознаваний, %	60	71	97

В основе фильтра лежит проверка по длине (8 и 9 знакам в строке) и шаблонам, представленными комбинациями вида: 16/3ц/26/2ц и 16/3ц/26/3ц выполненная с помощью регулярных выражений и давшая результаты, представленные в таблице 2 и на рисунке 6.



Рис. 6. Частоты для обработанных текстов

Таким образом, можно сделать вывод, что в нормальных условиях отношение количества повторений моды случайной величины, обозначающей текст, расположенный на исходном изображении к общему количеству результатов стремится к вероятности появления моды как результата, а при обработке изображений, не отвечающих нормальным условиям, происходит искажение моды результатов, для борьбы с искажением которой был разработан и использован фильтр, отбросивший часть неподходящих значений, тем самым повысив эффективность распознавания текста, результаты которого приведены в таблице 2.

Таблица 2. Доли для обработанных текстов

	Текст «207»	Текст «149»	Текст «129»
Количество верных распознаваний	53	41	4
Доля верных распознаваний, %	90	84	57
Количество не верных распознаваний	6	8	3
Доля не верных распознаваний, %	10	16	43

Библиографический список

1. Э.Мэтиз - Изучаем Python. Программирование игр, визуализация данных, веб-приложения. Санкт-Петербург: ПИТЕР - 2017.
2. Гарсия Б., Суарес Д., Аранда Э., Терсеро С., Грасиа С., Энано В. - Обработка изображений с помощью OpenCV Москва: ДМК- 2016.
3. Орлов А. И., МАТЕМАТИКА СЛУЧАЯ, Вероятность и статистика – основные факты. – Москва: МЗ-Пресс2004.

УДК 621.383.811; ГРНТИ 55.47.29

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

К.Ю. Цветков

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

Аннотация. В работе рассматривается модернизация конструкции изделия, в состав которого входит электронный модуль обработки изображения. Предполагается ряд мероприятий по переходу к новому конструктиву электронного модуля. Приводятся основные задачи, выполнение которых позволит достичь поставленной цели. Конечным результатом является новый конструктив электронного модуля.

Ключевые слова: печатная плата, модернизация конструкции, оптимизация, обработка изображений.

RETROFIT OF ELECTRONIC IMAGE PROCESSING MODULE

K.Yu. Tsvetkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, tsvetkov.k.yu@yandex.ru*

Summary. The work deals with the modernization of the product design, which includes an electronic image processing module. A number of steps are envisaged to move to a new electronic module design. The main objectives for achieving the objective are presented. The end result was a new electronic module design.

Keywords: printed circuit board, design modernization, optimization, image processing.

В данной статье пойдет речь о модернизации конструкции электронного модуля обработки изображения. На данный момент выпускается некоторое изделие, целью которого является отслеживание положение цели в процессе полета, а также корректировка курса самого изделия при слежении за целью. Конструкция и компонентное наполнение данного изделия было разработано достаточно давно, но используется без модернизации и в настоящее время. В связи с тем, что наука и техника развиваются с каждым годом все стремительнее, постоянно разрабатываются и внедряются новые технологии, позволяющие выполнять большее количество операций с меньшими затратами энергии и при этом сами компоненты уменьшаются в габаритах.

По прошествии лет возникают потребности в уменьшении габаритов изделия в целом, а также в дополнении функционала изделия новыми возможностями и в повышении точности его работы. Все это и стало причиной того, что на данный момент вновь ведутся работы по модернизации изделия. Одним из компонентов изделия является электронный модуль, цель которого – обработка изображения, которое поступает с оптического элемента изделия. Конструктивно данная модель представляет собой три печатных платы, связанные между собой шиной, по которой передается информация. Конечной целью всех работ первого этапа станет переход от использования трех печатных плат к использованию всего двух, с уменьшением их размеров [1].

Для осуществления поставленной цели необходимо выполнить ряд задач, возникших при анализе изделия. Первой задачей, которая явно прослеживается, если принимать во внимание темпы развития технологий и компонентов электронной промышленности, – обновление компонентной базы модуля. На данный момент производится значительное количество компонентов, которыми можно заменить используемые на данный момент в изделии. Новые комплектующие обладают большими возможностями, более качественные, а также имеют меньшие размеры. Все это играет значительную роль при проектировании изделий, функционирующих в процессе полета. Из описанного выше можно перейти и ко второй задаче – снижение массогабаритных показателей модуля. Даже незначительное снижение веса компонентов в совокупности позволяет получить выигрыш в весе на значительном уровне. Масса изделий всегда являлась одним из самых важных показателей, в частности и у нас. При снижении общей массы изделия мы можем использовать двигатель меньшей мощности, который будет занимать меньше места, а вместе с тем, мы можем использовать аккумулятор меньшей емкости или оставить прежний и получить большее время работы изделия.

При проектировании и переработке конструкции электронного модуля будет изменен внешний вид каждой отдельно взятой печатной платы. На данный момент мы имеем в изделии набор из трех печатных плат, имеющих форму прямоугольника. В процессе модернизации форма печатных плат была изменена в сторону круга, что также позволяет уменьшить диаметр изделия.

Другой причиной, по которой выполняется замена компонентов на более современные, является создание некоторого «запаса по мощности» у компонентов модуля. Под этим следует понимать запас функциональных возможностей, обеспечиваемых компонентами. Такой термин нельзя отнести к резисторам, конденсаторам и прочим компонентам, так как их значения рассчитываются для каждого конкретного участка цепи. Данный термин можно отнести к элементам печатных плат, которые способны выполнять перечень операций по обработке данных, в частности – микроконтроллеры. В том случае, когда мы выбираем компоненты изделия с запасом по основным характеристикам, у нас появляются некоторые преимущества. Во-первых, запас по основной величине (например, производительность). Это позволит обеспечить работоспособность компонента в случае превышения номинального уровня работоспособности. Во-вторых, в случае дополнения набора выполняемых компонентом функций нам не придется по-новой проектировать изделие, так как заложенный ранее запас характеристик позволит компоненту нормально функционировать. Таким образом, мы рассмотрели основные задачи, которые можно выделить в данной работе.

После определения задач необходимо описать этапы выполнения модернизации конструкции электронного модуля. Как ранее говорилось, сначала необходимо определиться с теми компонентами, которые необходимо обновить (заменить на более современные) с учетом требуемых значений основных характеристик и надежности. Основным критерием при выборе компонентов будет страна-производитель. Предпочтение будет отдаваться тем элементам, которые производятся в России и, безусловно, удовлетворяют требуемым характеристикам.

Вторым этапом в разработке новой конструкции модуля и его проектировании будет размещение компонентов на печатных платах. Перед выполнением этого этапа необходимо определиться с общими размерами каждой отдельной платы. При этом необходимо подоб-

рать такие ее размеры, которые позволят поместить компоненты всего на двух платах, но в то же время, не будут очень большими, что также нежелательно. При определении положений каждого компонента стоит учитывать и места под расположение контактов, на которые будут устанавливаться крепления входных и выходных контактов, по которым будет осуществляться обмен информацией между платами, прием данных от оптического элемента, а также выдача сигналов на управляющие органы изделия. Помимо этого стоит учитывать, что две платы будут располагаться одна под другой и в связи с этим располагать громоздкие компоненты в тех местах, где это не будет мешать другим компонентам модуля.

Третий этап – проведение нормоконтроля. Перед этапом трассировки планы необходимо убедиться в том, что все элементы расположены таким образом, что их контакты располагаются в нужных местах. На соответствие установленным требованиям проверяются и расстояния между элементами и границей плат. Не стоит забывать о том, что проверка на соответствие нормам осуществляется и после завершения проектирования принципиальной схемы модуля. Сам же процесс проектирование схемы электрической принципиальной предполагает серьезную работу по расчету и подбору всех компонентов, которые будут отвечать заявленным требованиям по значениям основных параметров. Этап нормоконтроля завершается утверждением чертежей у нормоконтролеров и означает возможность перехода к следующему этапу – трассировке печатных плат.

Четвертый этап – трассировка печатных плат. После того, как разработчик убедился в правильности расположения компонентов на печатных платах и проверил наличие всех компонентов, можно приступать к «разводке» платы. На сегодняшний день существует множество программ, позволяющих разрабатывать электрические принципиальные схемы, а также выполнять трассировку печатных плат. Различают два вида трассировки: автоматическая и ручная. При автотрассировке пользователь задает параметры проводников, а также базовую ширину проводящих дорожек, после этого программа соединяет все контакты попарно (при правильном задании всех названий контактов). Недостатком данного вида трассировки является не самое удачное расположение токопроводников на поверхностных слоях печатных плат и часто возникает необходимость ручной корректировки проложенных проводников. Достоинством этого метода является экономия времени, так как процесс выполняется значительно быстрее ручной разводки. При выполнении ручной трассировки плат пользователь сам прокладывает все проводники по плате и может выбирать требуемую ширину проводников для каждого сигнала. Недостатком данного метода являются большие затраты времени на выполнение трассировки, однако в таком варианте мы получаем более грамотно разработанный конструктив платы, в котором учтены все особенности прокладки проводников между элементами. После завершения этапа трассировки снова необходимо проверить соблюдение всех требований. Особенно важными являются расстояния между соседними проводниками, расстояния от проводников до крепежных отверстий элементов, а также правильность подвода проводников к контактам элементам.

Завершающим этапом разработки и проектирования модуля является моделирование его работы. В данном этапе можно выделить две составляющих. Первая – моделирование прохождения сигналов. Как ранее говорилось, современные программные продукты имеют множество возможностей, в том числе и проверка работы изделий. На этом подэтапе можно путем моделирования проверить, правильно ли идут сигналы по проводникам, достаточен ли уровень сигналов для работы всех компонентов и прочее. Вторая составляющая позволяет провести моделирование устойчивости конструкции. В программе можно задать, какие усилия прикладываются на конструкцию, проверить устойчивость к вибрации. Результаты расчета наглядно демонстрируют, какие участки конструкции наиболее подвержены разрушению в случае чрезмерных нагрузок, а также есть возможность отследить критические значения показателей, после превышения значений которых наступает разрушение конструкции.

После проведения всех работ по разработке конструкции, подбору компонентной базы, моделированию работы изделия можно оценить затраты на работы. При оценивании

стоимости работ необходимо учитывать стоимость компонентов, которые были использованы при сборке одной единицы изделия, а также расходы связанные с затратами времени работников, задействованных в разработке, отладке и проверке изделия. По результатам расчета затрат до модернизации конструкции и после модернизации была выявлена положительная динамика, свидетельствующая о получении выгоды. Как отмечалось ранее, при проектировании электронного модуля использовалась как отечественная, так и зарубежная компонентная база элементов. Это объясняется тем, что некоторые комплектующие на данный момент не производятся отечественными фирмами или их стоимость слишком высока для использования в данном изделии.

Таким образом, в статье была рассмотрена модернизация электронного модуля обработки изображения. Особое внимание было уделено задачам, которые необходимо решить в процессе модернизации конструкции, а также основные этапы работ, входящие в данный проект.

Результатом выполнения модернизации конструкции электронного модуля стал переход от трех печатных плат к двум с уменьшением их габаритных размеров. В процессе модернизации был обновлен компонентный состав данного модуля за счет выбора современных компонентов, которые обладают лучшими показателями и имеют большую надежность. Помимо этого была учтена возможность дальнейшего расширения функционала за счет запаса в характеристиках отдельных компонентах. Были выполнены этапы проектирования плат, разработке их конструкции, трассировке плат, а также моделирования, которое позволило убедиться в соответствии заявленным требованиям по надежности и устойчивости конструкции модуля. Следующим большим этапом является модернизация и совершенствование программной составляющей данного модуля, что представляет собой отдельный вопрос для обсуждения.

1. Цветков, К.Ю. Электронный модуль обработки изображения опико-электронного прибора / К.Ю. Цветков // Новые информационные технологии в научных исследованиях Материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф.Уткина, 2019. - С. 41-43.

УДК 658.512; ГРНТИ 55.13.15

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ- ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ И ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

С.Б. Арзамасцев, Н.В. Грибов, О.В. Миловзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gribov112@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье рассматривается комплексный подход к построению автоматизации машиностроительного производства от проектирования до изготовления.

Ключевые слова: производственный процесс, система автоматизированного проектирования, проектирование, автоматизация, система ЧПУ.

TO THE ISSUE OF AUTOMATION OF THE DESIGNING-MANUFACTURING PROCESS OF PARTS IN SMALL-SCALE AND SINGLE PRODUCTION

S.B. Arzamastcev, N.V. Gribov, O.V. Milovzorov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, gribov112@yandex.ru*

Abstract. This article discusses the complex approach to building automation of machine-building production from design to manufacture.

Keywords: production process, automated design system, design, automation, NC system.

Под термином «Производственный процесс» понимают совокупность действий работников и технических средств в результате которых сырьё, материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия, поступающие на предприятие, перерабатываются в выпускаемую продукцию в заданном количестве и с заданными характеристиками, качеством и ассортиментом в поставленные сроки.

Каждый производственный процесс состоит из множества этапов.

Каждый из этих этапов выполняется своим подразделением предприятия:

- Проектирование изделия.

Данный этап выполняется отделом главного конструктора, который разрабатывает конструкторскую документацию в электронном виде (3D-модели, рабочие чертежи, спецификации).

- Проектирование маршрутно-операционного технологического процесса, разработка управляющих программы (УП) для станков с ЧПУ.

В отделе главного технолога разрабатываются технологические процессы по конструкторским чертежам, моделям и документации, разрабатываются УП для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), а также проектируются средства технологического оснащения.

- Изготовление изделия.

Изготовление изделия осуществляется в основных производственных цехах с применением станков с программным управлением.

Современно машиностроительное производство функционирует в условиях конкурентной борьбы, в связи с чем для него стали характерными частая сменяемость номенклатуры, выпуск машиностроительных изделий малыми сериями и единично. В связи с этим для создания автоматизированного производства недостаточно только организовать взаимодействие между отделами, обеспечив их «безбумажное» взаимодействие, для выживаемости на рынке необходим комплексный подход.

На сегодняшний день для автоматизации конструкторских работ используют различные CAD (Computer Aided Design) и CAE (Computer Aided Engineering) системы, для автоматизации проектирования технологических процессов применяют разнородные CAPP (Computer Aided Process Planning) и CAM (Computer Aided Manufacturing) системы.

Вопросам автоматизации разработки конструкторской документации, и, в частности разработки 3D-моделей, в последние два десятилетия уделялось, пожалуй, самое большое внимание - как со стороны производителей-разработчиков CAD систем, так и со стороны пользователей в лице самых различных представителей вузов, машиностроительных предприятий и конструкторских организаций [1]. Эти системы постоянно совершенствуются, издаются новые релизы, выпускаются соответствующие руководства пользователя, учебные и методические пособия. Среди российских систем этого класса следует отметить такие системы 3-D моделирования, как Компас 3D (Аскон) [2] и T-Flex CAD 3D (Топ Системы) [3]. Эти компании начали активно работать еще в 90-е годы 20 века, имеют большой опыт разработки и эксплуатации своих систем, многотысячное количество инсталляций на рабочих местах проектировщиков ведущих российских машиностроительных компаний. Помимо наличия многочисленной литературы, компании через своих представителей на местах обеспечивают обучение персонала конструкторских подразделений предприятий, а также способствуют процессу подготовки инженерных кадров в вузах. Все это в большой степени упрощает конструкторское проектирование 3D-моделей в этих CAD системах. Кроме упомянутых на российских машиностроительных предприятиях также широко используются САПР иностранной разработки, такие, как Inventor, Solid Works и др. Они также имеют достаточное методическое обеспечение.

CAPP системы, будучи системами поддержки автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов, представлены исключительно систе-

мами российской разработки, за исключением белорусской системы IPS Techcard. Эти системы по своей сути являются автоматизированными справочниками, обеспечивающими формирование маршрутно-операционного техпроцесса [1]. Уровень автоматизации в этих системах не высок, и работа пользователей в них, главным образом, осуществляется в диалоговом режиме. В некоторых системах, в частности комплексе T-Flex, имеются средства для автоматического проектирования техпроцесса на основе общих техпроцессов и информационных моделей деталей [4-6], однако, в силу сложности и необходимости в соответствующей подготовке пользователя эти возможности мало применяются на практике.

САМ-системы, обеспечивающие автоматизированную разработку управляющих программ, уже давно заняли прочное место в подразделениях технологической подготовки производства. На российских машиностроительных предприятиях используются как системы зарубежной разработки, так и отечественной (ADEM, T-Fex ЧПУ, Sprut CAM). Внедрение этих систем сопровождается, как правило, предварительным обучением персонала. Кроме того, любая такая система обязательно имеет соответствующее методическое обеспечение в виде руководств пользователя, видеоуроков. Остаются нерешенными только вопросы адаптации управляющих программ, синтезированных САМ-системой, к конкретным станкам и системам ЧПУ, что связано со скрытыми от пользователя особенностями математического аппарата, заложенного в систему ЧПУ, необходимостью в экспериментальном исследовании реакции системы ЧПУ на отдельные циклы с применением коррекций на размеры инструмента и выработке рекомендаций по формированию соответствующих циклов [7-10].

Однако, не смотря на достаточно интенсивное и успешное внедрение в российское машиностроительное производство отдельных систем автоматизированного проектирования, общий экономический эффект пока недостаточен. Практика показывает, что внедрение на производстве систем САПР осуществляется не комплексно, что очевидно объясняется как экономическими причинами, так и сложностью этого процесса. Такая "лоскутная" автоматизация приводит к необходимости решения проблем интеграции информационного пространства предприятия. Разнородность систем накладывает ограничение на передачу данных и их редактирование. Поэтому для производства на этапе конструирования и разработки техпроцессов становится насущной необходимостью использование PDM системы, которая обеспечивает активизацию CAD, CAE, CAPP и CAM систем на рабочих местах проектировщиков, формирует единое информационное пространство и позволяет вести управление всеми данными об изделии в разрезе предприятия. Методика выбора PDM систем подробно рассмотрена в [11].

Однако мелкосерийное и единичное производство накладывает свои требования. На этапе проектирования необходимо применить метод, который основан на классификации хранящихся в PDM-системе компонентов изделия (в том числе стандартных деталей). Задача классификации состоит в том, что однотипные детали и технологии (или информация о них) должна быть обозначены именами, которые отражают конструкцию детали по стандартному коду ЕСКД. Основы такой электронной классификации были заложены еще в 80-е годы прошлого века, когда на предприятиях силами мощных подразделений АСУ создавались комплексные системы автоматизированного проектирования, ориентированные на потребности и особенности конкретного предприятия. В настоящее время системы САПР создаются IT-фирмами с ориентацией на возможно более широкий круг потенциальных пользователей. В связи с этим классификация, реализованная в PDM-системе, может быть гораздо более эффективной по сравнению с ее бумажным аналогом, и намного более унифицированной по сравнению с комплексными САПР конкретных предприятий. При классификации изделий следует использовать параметры, отражающие конструктивные свойства деталей, входящих в класс. Детали при занесении в базу должны быть привязаны к технологическим процессам и цеховым подразделениям производства конкретного предприятия. В свою очередь классы необходимо группировать в сложные древовидные схемы. Это, в свою очередь, позволяет

объединить перечень изделий в иерархическую сетевую структуру. Каждая деталь должна снабжаться своим набором параметров, который является общим для всех деталей данного класса, либо является специфичным только для данной детали. Наличие параметров позволяет более четко упорядочить перечень используемых на предприятии деталей и технологий.

Чем больше номенклатура и объем выпускаемых деталей, тем выше потребность предприятия в классификации, которая значительно упрощает работу с различными конструкциями деталей и изделий (или стандартных деталей), соответствующих определенному набору параметров, что приводит к увеличению процентного числа повторно используемых деталей и соответственно к уменьшению сроков проектирования как самих изделий так и технологий их изготовления за счет применения типовых и стандартизованных техпроцессов, и, как следствие, стоимости изделия. Кроме того, с помощью использования стандартного классификатора ЕСКД в PDM-системе возможна организация автоматизированного присвоения обозначений вновь проектируемым деталям, а также эффективная работа с системами автоматизированного управления жизненного цикла.

Помимо параметров самого изделия в PDM-системе целесообразно классифицировать и другие хранящиеся в ней объекты, например конструкторскую документацию, спецификации, содержащие данные об изделиях, технологическую документацию, эксплуатационную документацию, электронную документацию для поддержки жизненного цикла. Примерами могут быть чертежи, эскизы, трехмерные модели, технические публикации и т.п. Каждый тип документа имеет свой набор параметров (номер, автор, дата, версия и др.).

В промышленном производстве в качестве информационной основы используется система обозначений, представленная в «Общероссийском классификаторе изделий и конструкторских документов».

Классификатор изделий и конструкторских документов - классификатор ЕСКД представляет собой систематизированный свод наименований классификационных группировок объектов классификации - изделий основного и вспомогательного производства всех отраслей народного хозяйства, общетехнических документов и их кодов и является составной частью Единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации (ЕСКК ТЭИ). Код классификационной характеристики, присваиваемый по классификатору ЕСКД, позволяет однозначно определить деталь или сборочную единицу с любой степенью обобщения.

В классификатор ЕСКД включены классификационные характеристики всех видов изделий - деталей, сборочных единиц, комплектов, комплексов (ГОСТ 2.101-68 ""ЕСКД. Виды изделий""), на которые разработана и разрабатывается конструкторская документация по ЕСКД и технологическая по ЕСТД, в том числе на стандартные изделия, а также общетехнические документы (нормы, правила, требования, методы и т.д.) на изделия, входящие в Классификатор ЕСКД.

Классификационная характеристика является основной неотъемлемой частью обозначения изделия и его конструкторско-технологической документации. Код классификационной характеристики изделия присваивается по конструктивным особенностям и представляет собой шестизначное число, последовательно обозначающее класс (первые два знака), подкласс, группу, подгруппу, вид (по одному знаку).

Взаимосвязи конструкторских и технологических подразделений в рамках информационного пространства предприятия недостаточно. Необходимо участие в информационном пространстве оборудования с ЧПУ.

Современные системы ЧПУ помимо возможности работы с 3D моделями, встроенными функциями упрощенного программирования обработки типовых поверхностей, имеют встроенные подсистемы системы:

1. Motion Control Information System – система для оптимальной интеграции станков в единую электронную базу данных и предназначена для оптимизации планирования, разме-

щения, исполнения, сокращения подготовительно-заключительного времени, сокращения простоев, упрощения анализа неполадок;

2. Сетевые функции - позволяют интегрировать станки с ЧПУ в единый процесс управления производством и оборудованием. Ведется учет произведенной продукции, контролируется время технологических регламентов, отслеживаются плановые ремонты и техобслуживание оборудования [14];

3. Приложения цехового программирования - CAD/CAM системы цехового уровня, позволяющие создавать управляющие программы на самой стойке системы ЧПУ, в то время как на станке идет непосредственная обработка другой детали;

4. Применение технологии искусственного интеллекта для адаптивного управления и прогнозирования износа инструмента;

5. Система автоматического учета износа инструментов (контроля состояния инструментов) с использованием элементов искусственного интеллекта. Система регулирования жизненного цикла стойкости режущих пластин (инструмента) - следит за длительностью и частотой эксплуатации и автоматически заменяет их в случае превышения эксплуатационных параметров. Встроенная система учета износа инструментов определяет фактическую нагрузку на инструмент косвенно, через нагрузку сервопривода шпинделя и приводов подачи, что позволяет продлить срок службы инструментов до максимума.

6. Remote diagnostics I-Remote - инструментарий для удаленного доступа, диагностики и поддержки систем управления оборудованием [13];

7. Factory Automation Solution - решение для интеграции в общих сетях и в сетях цехового уровня, а также в MES (Manufacturing Execution System - Система планирования производства) и ERP (Enterprise Resource Planning System - Система планирования ресурсов предприятия) системах.

Для оптимизации изготовления большой номенклатуры изделий использование информации в цепочке CAD – CAE – CAM – CAPP – ЧПУ недостаточно. Необходимо добавить систему управления уровня цеха – MES. Система MES специализируется на решении задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства уровня цеха. Вместо системы MES может также использоваться MRP II – система управления стратегией производственного планирования, обеспечения как операционного, так и финансового планирования производства [12]. Данная система включает учёт заказов, планирование загрузки производственных мощностей, планирование потребности во всех ресурсах производства (материалы, сырьё, комплектующие, оборудование, персонал), планирование производственных затрат, моделирование хода производства, его учёт, планирование выпуска готовых изделий, оперативное корректирование плана и производственных заданий.

Таким образом, при концептуальном подходе к автоматизации производственных процессов проектирования-изготовления машиностроительных изделий для мелкосерийного и единичного производства комплексная система САПР должна включать в себя помимо CAD, CAM, CAE систем также систему управления данными об изделии (PDM), систему ЧПУ с прогрессивными встроенными модулями на станочном оборудовании, систему планирования производства уровня цеха (MES) или систему планирования производственных ресурсов (MRP II). Все перечисленные системы должны быть объединены в общем информационном пространстве машиностроительного предприятия.

Библиографический список

1. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР технологических процессов. Конспект лекций. Рязань, 2015. Часть 1.
2. Сайт компании АСКОН // <https://ascon.ru>
3. Сайт компании АО Топ Системы // <https://www.tflex.ru/>

4. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-Flex Технология. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2015. – № 54-1. – С. 133-138/
5. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-Flex Технология // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. междунар. науч.-тех. науч.-мет. конф.: в 4 т. – Рязань: РГРТУ, 2016. – Т. 1. – С. 178-182.
6. Михайлин П.О., Миловзоров О.В. Автоматизация общих технологических процессов в системе T-Flex Технология для обработки деталей на токарно-обрабатывающих центрах // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017: сб. тр. II междунар. науч.-тех. и науч.-метод. конф. в 8 т. – Рязань: РГРТУ. – 2017. – Т. – С. 29-32
7. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Особенности работы системы ЧПУ Fanuc-0i для фрезерных станков при обработке торцевыми фрезами // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. междунар. науч.-тех. науч.-мет. конф.: в 4 т. – Рязань: РГРТУ, 2016. – Т. 1. – С. 283-287.
8. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Особенности работы токарного цикла при удалении припуска с цилиндрической поверхности сложного профиля. Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2018: сб. тр. междунар. науч.-тех. форума в 11 т. – Рязань: РГРТУ. – 2018. – Т. С. 191-196.
9. Грибов Н.В., Миловзоров О.В., Жарков Д.Н. Особенности программирования системы ЧПУ Fanuc-0i при фрезеровании торцовыми фрезами и при токарной обработке // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 8. – С. 9-17.
10. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Концептуальное проектирование операций фрезерования с применением коррекции на радиус для торцевых фрез // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017: сб. тр. II междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. в 8 т. – Рязань: РГРТУ. – 2017. – Т. – С. 58-62.
11. Д.К. Щеглов Методика выбора PDM-системы для предприятия ракетно-космической отрасли.
12. Загидуллин Р. Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. —Старый Оскол: ТНТ, 2011. — 372 с.— ISBN 978-5-94178-272-7. Архивная копия от 13 марта 2013 на Wayback Machine
13. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Построение интерфейса оператора систем ЧПУ с привлечением web-технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – №10. – С. 41-44.
14. Дильман А. М. «Повышение эффективности функционирования промышленного оборудования за счет применения информационной системы для ЧПУ» // Автоматизация в промышленности. – Москва. – 2006. – №11. – С. 9-10.

УДК 621.91; ГРНТИ 55.13.17

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ В СИСТЕМЕ ЧПУ SIEMENS SINUMERIK 840D

Н.В. Грибов, Н. Дронов, О.В. Миловзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gribov112@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы разработки управляющих программ станков с ЧПУ с системой SIEMENS Sinumerik 840D на основе параметрического программирования.

Ключевые слова: система ЧПУ, SIEMENS Sinumerik 840D, параметрическое программирование, управляющие программы.

PARAMETRIC MILLING PROGRAMMING IN SIEMENS SINUMERIK NC SYSTEM 840D

N.V. Gribov, N. Dronov, O.V. Milovzorov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, gribov112@yandex.ru*

Abstract. Issues of development of control programs of CNC machines with SIEMENS Sinumerik 840D system based on parametric programming are discussed.

Keywords: production process, automated design system, design, automation, NC system.

В современных условиях конкурентной борьбы все более актуальным становится сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки машиностроительного производства. Одной из проблем при этом становится быстрая и качественная разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. При этом обработка на станке с ЧПУ должна осуществляться с минимально возможными затратами времени на выполнение холостых перемещений, с применением имеющегося в наличии в текущий момент времени режущего инструмента, с минимальными простоями.

В этой связи становится актуальным выявление возможных некорректных рабочих и холостых перемещений, приводящих либо к лишним затратам времени, либо к браку. Эти недостатки управляющих программ далеко не всегда удастся выявить путем моделирования программы в системе САМ [1-4]. Возникает необходимость в экспериментальном - непосредственно на станке - исследовании возможности реализации наиболее оптимальных с точки зрения производительности в целом циклов, сочетания холостых и рабочих перемещений. Особенно это актуально при использовании стандартных циклов, заложенных в систему ЧПУ, так как математическое обеспечение CNC-системы закрыто для пользователя.

Но если для единичного производства управляющую программу можно и нужно разрабатывать с "нуля", то при наличии в производстве большого количества конструктивно подобных деталей такой подход уже будет неприемлем. В этих условиях наиболее интересным и эффективным методом разработки управляющих программ на станках с ЧПУ становится параметрическое программирование. Этот метод разработки управляющих программ удобно применять для обработки типовых элементов деталей (пазов, карманов, резьбовых отверстий и т.д.). Особенно это актуально для деталей несложной геометрической формы, для выполнения которых требуется минимальное число технологических переходов. К ним относятся, например, цилиндрическая муфта с пазами на торце – рисунок 1.



Рис. 1. Муфта корончатого типа

В управляющей программе, написанной в параметрическом виде, задаются переменные, которым присваиваются те или иные значения размеров чертежа. Переменные могут быть локальными и глобальными.

Локальные переменные пользователя задаются только в пределах одной программы и отменяют свое действие при ее завершении. Число этих переменных неограниченно. Глобальные же переменные располагаются в памяти системы ЧПУ. Таким переменным отводится несколько ячеек памяти, поэтому их использование ограничено, но действуют они для всех программ, в которых встречается та или иная глобальная переменная.

Для примера, составим управляющую программу в параметрическом виде для нарезания пазов на торце детали (рисунок 1) на фрезерном обрабатывающем центре с системой ЧПУ SIEMENS Sinumerik 840d.

В ходе разработки программы выделились следующие логические блоки:

1. Объявление переменных
2. Удаление предыдущего файла с отчетом
3. Вычисление параметров, необходимых для правильной работы программы
4. Обнуление системы координат детали
5. Обработка
6. Замер размеров
7. Доработка
8. Контрольный замер
9. Запись размеров в файл
10. Маркировка номера детали и положения первого паза

1. Объявление переменных

В качестве переменных выступают требуемые размеры чертежа, заготовки, инструмент и его режимы резания. Объявляются переменные пользователя на Sinumerik 840dc помощью команды DEF.

- N0 DEFINTCHISLO_DET – Количество деталей в партии
- N1 DEFREALVNESH_DIAM – Внешний диаметр заготовки
- N2 DEFREALVNUTR_DIAM – Внутренний диаметр заготовки
- N3 DEFREALDLINA_ZAG – Длина заготовки
- N4 DEFINTCHISLO_PAZOV – Нужное число пазов
- N5 DEFREALGLUBINA_PAZA – Номинальное значение глубины паза, согласно чертежа
- N6 DEFREALVERH_PREDEL_GLUB_PAZA – Верхний предел поля допуска глубины паза
- N7 DEFREALNIZ_PREDEL_GLUB_PAZA – Нижний предел поля допуска глубины паза
- N8 DEFREALSHIRINA_PAZA – Номинальное значение ширины паза
- N9 DEFREALVERH_PREDEL_SHIR_PAZA – Верхний предел поля допуска ширины паза
- N10 DEFREALNIZ_PREDEL_SHIR_PAZA – Нижний предел поля допуска ширины паза
- N11 DEFSTRING[20] INS – Название инструмента для обработки
- N12 DEFREALPODACHA – Рабочая подача инструмента в мм/мин
- N13 DEFREALOBOROTI – Скорость вращения шпинделя
- N14 DEFREALPODACHA_NA_GLUBINU – Подача на глубину при обработке
- N15 DEFSTRING[100] STR – Переменная для создания строки, которая будет записана в файл отчета
- N16 DEF INT SCHET=0 – Счетчик пазов
- N17 DEF INT SCHET_DET=0 – Счетчик деталей
- N18 DEFREALWIDTH – Переменная для отображения ширины паза в файле
- N19 DEFREALHEIGHT – Переменная для отображения глубины паза в файле
- N20 DEFINTERR_WRITE – Переменная для отображения ошибки при записи строки в файл
- N21 DEFINTERR_DELETE – Переменная для отображения ошибки при удалении предыдущего файла
- N22 DEFBOOLRESULT – Переменная для отображения результата проверки имеющегося предыдущего файла

N23R15=GETT(INS) – Переменная для автоматического определения номера инструмента

Внешний диаметр, внутренний диаметр и длина заготовки необходимы для визуализации заготовки при моделировании программы, а так же подводов и отводов инструмента при обработке. Размеры пазов нужны как для обработки, так и для вычисления значения размера, с которым будут сравниваться все измерения. Счетчик пазов необходим для подсчета номера паза и записи его в файл вместе с соответствующими ему размерами, а счетчик деталей – для создания соответствующего файла. Переменная R15 необходима для того, чтобы определять номер инструмента, так как вызывается он по названию, а настроечные размеры считывается по его номеру в инструментальном магазине.

2. Удаление предыдущего файла с отчетом

Так как файлы замеров могут оставаться в памяти стойки после обработки предыдущей партии деталей, предварительно необходимо их удалить. Для этого сначала нужно проверить есть ли файл в памяти стойки ЧПУ. Если файл найден, то он автоматически удаляется, если же нет, то выдается сообщение, что файл не найден и он будет создан.

Программная реализация имеет следующий вид:

N24 RESULT=ISFILE ("DETAL_SCHET_DET") – данный кадр запускает проверку наличия файла с соответствующим индексом номера детали

N25 IF (RESULT==FALSE) – ставится условие, если файл не был найден

N26 MSG ("FILENOEXIST") – выводится сообщение, что файл не найден

N27 ELSE

N28 DELETE (ERR_DELETE,"DETAL_SCHET_DET") – если файл найден, то он удаляется

N29 ENDIF – окончание цикла удаления файла.

3. Вычисление параметров, необходимых для правильной работы программы

Для работы программы, а также для моделирования на стойке вводятся следующие параметры:

N31 R0=360/CHISLO_PAZOV – данный параметр необходим для расчета угла поворота системы координат детали, при обработке пазов

N32 R1=GLUBINA_PAZA+((VERH_PREDEL_GLUB_PAZANIZ_PREDEL_GLUB_PAZA)/2) – параметр, который вычисляет глубину пазов, с учетом верхнего и нижнего пределов поля допуска.

N33 R2=((VNESH_DIAM/2)-(VNUTR_DIAM/2))+10 – этот параметр вычисляет длину пазов, учитывая внешний и внутренний диаметр заготовки. Для исключения зареза детали к расчётной длине прибавляется 10 мм.

N34 R3=VNUTR_DIAM/2-5 – учитывая внутренний диаметр заготовки, рассчитывается стартовая координата по оси X и отдалается на 5 мм к центру детали, в целях безопасности обработки.

N35 R4=0 – этот параметр определяет стартовую координату оси Y.

N36 R5=SHIRINA_PAZA+((VERH_PREDEL_SHIR_PAZANIZ_PREDEL_SHIR_PAZA)/2) – параметр который вычисляет ширину пазов, учитывая верхний и нижний пределы поля допуска.

N37 R6=(((VNESH_DIAM/2-VNUTR_DIAM/2)/2)+VNUTR_DIAM/2) – данный параметр определяет координату выхода измерительного щупа по оси X для замера паза.

N38 R7=-R1+2 – параметр, который определяет координату выхода измерительного щупа по оси Z

N39 $R8=R5+(VERH_PREDEL_SHIR_PAZA*0.2)$ – данный параметр необходим для проверки верхнего предела проходного значения ширины паза. Этот параметр равен 20% от расчетной ширины паза, учитывая верхний предел поля допуска, так как учитываются погрешности станка.

N40 $R9=R5+(NIZ_PREDEL_SHIR_PAZA*0.2)$ – параметр учитывает нижний предел проходных значений измерений. Он равен 20% от расчетной ширины паза, учитывая нижний предел поля допуска.

4. Обнуление системы координат детали

При каждой установке детали на станок, происходит разброс координат. Поэтому для того, чтобы все пазы были точными по размерам и расположению относительно центра детали, необходимо проводить обнуление системы координат на каждой детали. Для этого используется стандартный цикл измерения отверстия.

N41 G90G17G54G40G64 – кадр безопасности

N42 WORKPIECE(,"","PIPE",320,0,-DLINA_ZAG,-80,VNESH_DIAM,VNUTR_DIAM)

– цикл описания заготовки, для прорисовки программы.

N43 T="TASTER" – вызов измерительного щупа

N44 M6 – команда на смену инструмента

N45 D1 – данный кадр активирует соответствующие коррекции (длина, радиус)

N46 G0X0Y0 – позиционирование в центре системы координат детали

N47 Z0 – выход в 0 по оси Z

N48 G1 Z-20 F300 – опускание на глубину 20 по Z с подачей 300 мм/мин

N49 CYCLE977(101,1,,1,VNUTR_DIAM,,10,999,0,1,1,,1,"",0,1.01,1.01,-

1.01,0.34,1,0,,1,1) – стандартный цикл измерения отверстия

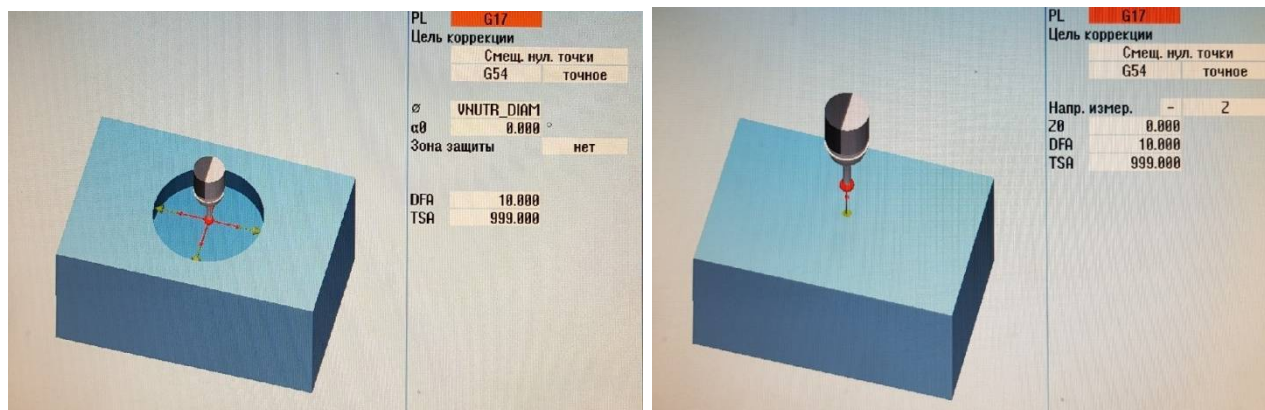


Рис. 2. Схеме измерения по координатам X, Y, Z

N50 G0Z100 – подъем на координату 100 мм по оси Z

N51 X=R6 – выход на расчетную координату для обнуления торца

N52 Z5 – опускание на координату 5 до торца детали

N53 CYCLE978(100,1,,1,0,10,999,3,2,1,"",0,1.01,1.01,-1.01,0.34,1,0,,1,1) – стандартный цикл обнуления торца.

5. Обработка

После того, как все вспомогательные операции выполнены, можно приступить к непосредственной обработке.

В основе обработки лежит стандартный цикл обработки паза. Перед обработкой необходимо измерить используемый инструмент с помощью лазерного датчика и сохранить эти значения, для того чтобы возвращать их, и использовать в качестве отсчета при коррекции на доработку.

Программная реализация процесса обработки:

N54 T=INS – вызов инструмента, который указан в описании переменных

N55 M6 – команда на смену инструмента

N56 D1 – активация корректоров инструмента

N57 S=3000 M3 – включение вращения по часовой стрелке со скоростью 3000 об/мин

для измерения

N58 CYCLE971(2,0,1,3,,1,1,9999,,0,0,1,,,,,0,,1,120) – стандартный цикл измерения длины

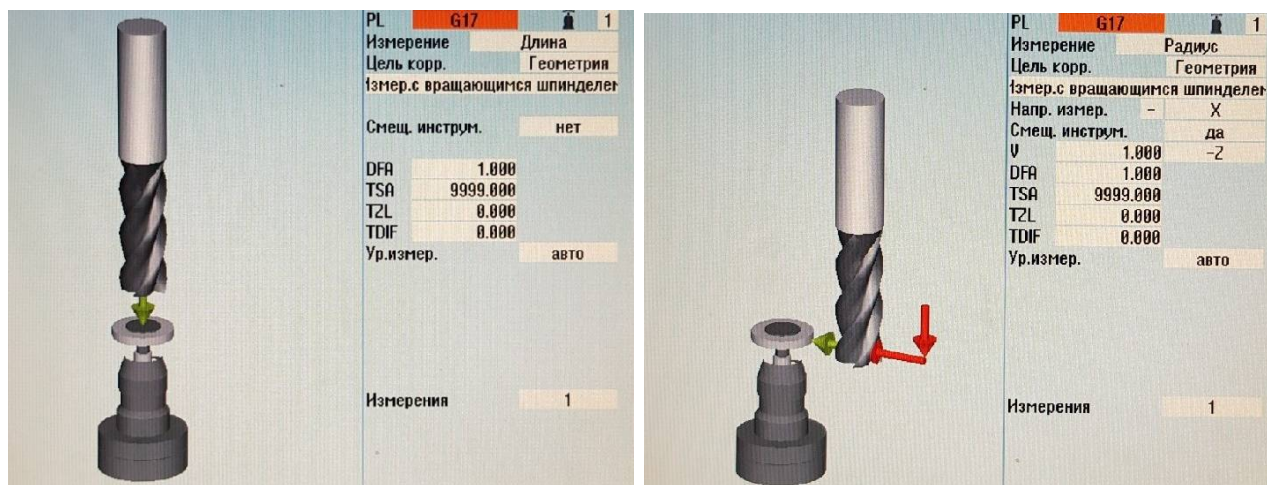


Рис. 3. Измерение инструмента

N59 CYCLE971(2,0,1,1,2,1,1,9999,,0,0,1,,,,,0,,1,22) – стандартный цикл измерения радиуса

N60 S=OBOROTIM3 – включение оборотов, заданных в описании переменных

N61 R11=\$TC_DP6[R15,1] – функция сохранения измеренного радиуса инструмента

N62 R12=\$TC_DP3[R15,1] – функция сохранения измеренной длины инструмента

N63 MM1:

N64

CYCLE899(100,0,3,-
R1,R2,R5,R3,R4,0,PODACHA_NA_GLUBINU,0.5,0,0,PODACHA,0,1005,1100,1,101,,1,2) – стандартный цикл обработки паза

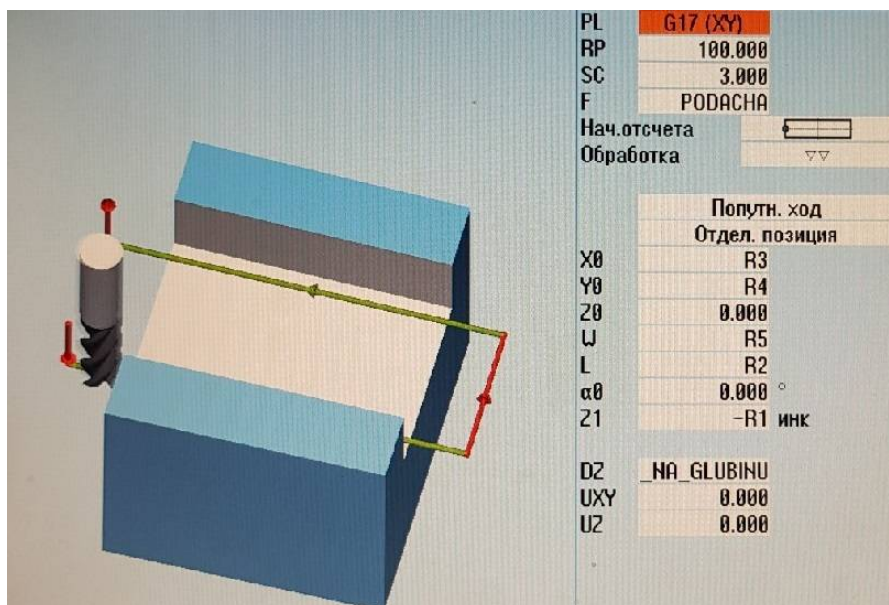


Рис. 4. Параметрическая обработка паза

N65 CYCLE800(0,"DMG",100001,39,0,0,0,R0,0,0,0,0,-1,100,1) – стандартный цикл поворота систем координат

N66 MM2:

N67 REPEATMM1 MM2 P=CHISLO_PAZOV-1 – повтор части программы от метки MM1 до метки MM2Праз

N68 TCARR=0 – отмена поворота системы координат.

6. Замер размеров

После того, как все пазы обработаны, необходимо выполнить замер каждого паза и сравнить их с заданными значениями. Все значения должны лежать в поле допуска, который равен расчетному значению ширины паза $\pm 20\%$ от верхнего и нижнего предела. Если же фактический размер меньше диапазона, то необходима доработка, если же больше, то выводится сообщение об ошибке.

Программная реализация:

N69 MM3:

N70 T="TASTER" – вызов измерительного щупа

N71 M6 – команда на смену инструмента

N72 D1 – активация корректоров

N73 G0 X=R6 Y0 – позиционирование по координатам X и Y для замера паза

N74 Z100 – опускание по Z на координату 100

N75 Z0 – опускание по Z на координату 0

N76 G1 Z=R7+3 F300 – опускание по Z, не доходя 3 мм до дна паза, на подаче 300 мм/мин.

N77 CYCLE978(200,,4000001,1,-GLUBINA_PAZA,10,999,3,2,1,"INS",,0,1.01, VERH_PREDEL_GLUB_PAZA,NIZ_PREDEL_GLUB_PAZA,0.34,1,0,,1,1) – стандартный цикл измерения торца

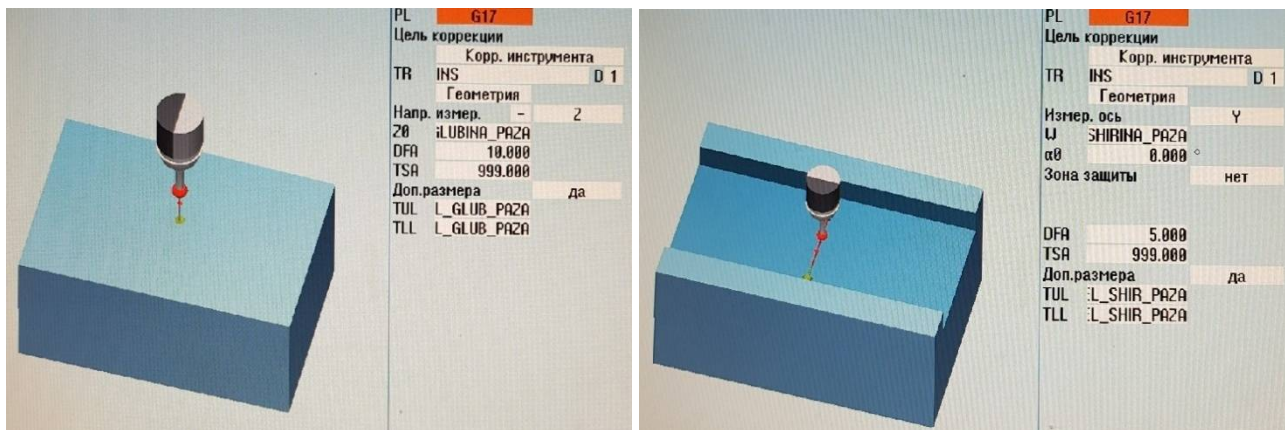


Рис. 5. Контроль размеров паза по координатам X, Y, Z

TUL – Верхний предел глубины паза

TLL–Нижний предел глубины паза

N78 G0Z0

N79 G1 Z=R7 – опускание на координату R7 для замера ширины

N80

CY-

CLE977(203,,4000001,1,SHIRINA_PAZA,,,5,999,0,2,1,,2,1,"INS",,0,1.01,VERH_PREDEL_SHIR_PAZA,NIZ_PREDEL_SHIR_PAZA,0.34,1,0,,1,1) – стандартный цикл измерения расстояния между стенками паза

TUL – Верхний предел ширины паза

TLL–Нижний предел ширины паза

N81 IF _OVR[4]<R9GOTOFMM4 – условие, если значение меньше параметра R8, то данный паз дорабатывается

N82 IF (_OVR[4]>=R9)AND(_OVR[4]<=R8) GOTOFDD– условие, если значение лежит в поле допуска, то происходит переход к следующему пазу.

7. Доработка

Если выполняется условие в кадре N81, то данный паз необходимо доработать. Все корректировки радиуса и длины инструмента вносятся автоматически, после замера паза. Доработка производится на основе стандартного цикла обработки паза.

N83 MM4:

N84 T=INS – вызов инструмента

N85 M6 – команда на смену инструмента

N86 D1 – активация корректоров инструмента

N87 S=OBOROTIM3 – включение вращения шпинделя

N88

CYCLE899(100,0,3,-

R1,R2,R5,R3,R4,0,PODACHA_NA_GLUBINU,0.5,0,0,PODACHA,0,1005,1100,1,101,,1,2) –

стандартный цикл обработки паза.

8. Контрольный замер

После доработки паза, необходимо убедиться в том, что фактические значения размеров теперь лежат в поле допуска. Для этого необходимо повторить процедуру измерения.

N89 T="TASTER" – вызов измерительного щупа

N90 M6 – команда на смену инструмента

N91 D1 – активация корректоров инструмента

N92 G0 X=R6 Y0 – позиционирование щупа для замера

N93 Z100 – опускание по Z на координату 100

N94 Z0 – опускание по Z на координату торца

N95 G1 Z=R7+3 F300 – опускание по Z, не доходя 3 мм до дна паза, на подаче 300 мм/мин.

N96

CYCLE978(200,,4000001,1,-

GLUBINA_PAZA,10,999,3,2,1,"INS",,0,1.01,VERH_PREDEL_GLUB_PAZA,NIZ_PREDEL_GLUB_PAZA,0.34,1,0,,1,1) – стандартный цикл измерения торца

N97 HEIGHT=_OVR[4] – сохранение измеренного значения как длина, для записи в отчет

N98 G0Z0

N99 G1 Z=R7 – опускание на координату R7 для замера ширины

N100

CY-

CLE977(203,,4000001,1,SHIRINA_PAZA,,,5,999,0,2,1,,2,1,"INS",,0,1.01,VERH_PREDEL_SHIR_PAZA,NIZ_PREDEL_SHIR_PAZA,0.34,1,0,,1,1) – стандартный цикл измерения расстояния между стенками паза

N101 WIDTH=_OVR[4] – сохранение измеренного значения как ширина, для записи в отчет

N102 IF _OVR[4]<R9GOTOBMM4 – проверка условия, что значение меньше поля допуска

N103 IF (_OVR[4]>=R9)AND(_OVR[4]<=R8) GOTOFDD – проверка условия, что значение лежит в поле допуска

N104 DD:

N105 \$TC_DP6[R15,1]=R11 – переход к начальным значениям инструмента по радиусу

N106 \$TC_DP3[R15,1]=R12 – переход к начальным значениям инструмента по длине

N107 CYCLE800(0,"DMG",100001,39,0,0,0,R0,0,0,0,0,-1,100,1) – поворот системы координат

N108 SCHET=SCHE+1 – счетчик пазов

9. Запись размеров в файл

Для того, чтобы сформировать файл, необходимо создать строку, которая будет являться шапкой таблицы.

N109 STR=STR<<"PAZ "<<SCHE<<" WIDTH "<<WIDTH<<" HEIGHT "<<ABS(HEIGHT) – в данном кадре производится объединение строк в одну

N110 MSG(STR,0) – с помощью данного кадра происходит вывод полученной строки на экран стойки ЧПУ.

N111 WRITE(ERR_WRITE,"USB1/DETAL_SCHE_DET ",STR) – производится запись строки в файл DETAL_SCHE_DET, который находится на USB1. SCHE_DET представляет собой индекс с номером детали.

N113 STR="" – окончание записи строки

N114 MM5:

N115 REPEATMM3 MM5 P=CHISLO_PAZOV-1 – повторение части программы от метки MM3 до метки MM5 Pраз.

N116 TCARR=0 – отмена поворота системы координат.

10. Маркировка номера детали и положения первого паза

Для упрощения нахождения соответствия между деталью и ее файлом с размерами появляется требование маркировки детали (только для ОТК).

Маркировать предполагается номер детали и первый паз, остальные пазы обрабатываются против часовой стрелки, поэтому зная, где находится первый паз, можно легко определить номера остальных.

Маркировка производится на основе стандартного цикла гравирования.

N116T="GRAVER" – вызов гравировального инструмента

N117M6 – команда на смену инструмента

N118 D1 – активация корректоров инструмента

N119 S5000M3 – включение вращения шпинделя

N120 CYCLE60("DET<#,\$AC_ACTUAL_PARTS>PAZ 1",100,0,3,,0.1,R6-4,R5+2,-60,0,0,2,0.5,75,200,20012000,1252,0,100,11,1) – стандартный цикл гравирования. <#,\$AC_ACTUAL_PARTS> это фактический номер детали.

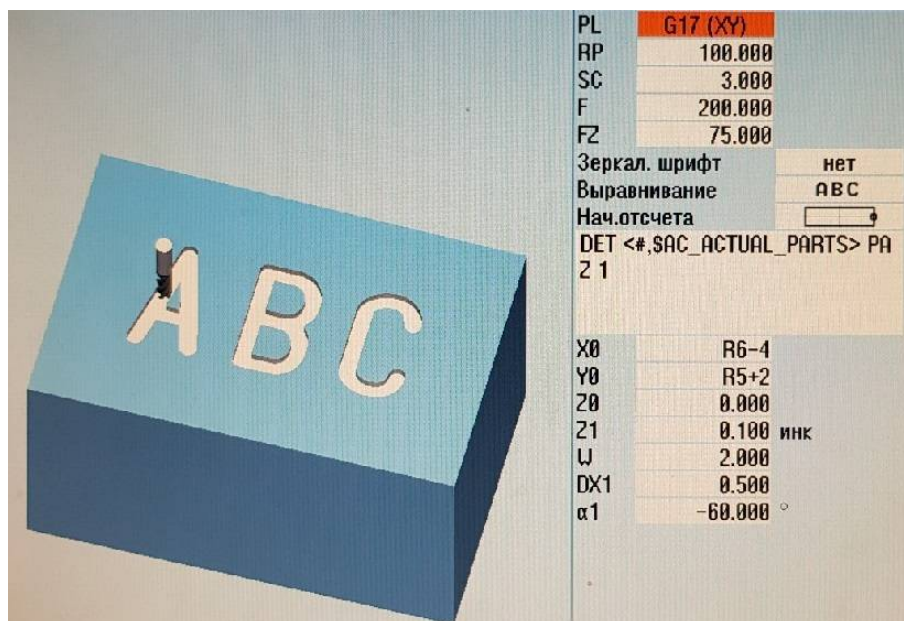


Рис. 6. Гравирование детали

SCHET_DET=SCHET_DET+1 – счетчик деталей

BB:

REPEAT AABBP=CHISLO_DET-1 – повтор программы с самого начала, до тех пор, пока не закончится партия деталей

N121 M30 – конец программы.

Таким образом, получилась универсальная программа для типовых корончатых деталей.

Дополнительным преимуществом параметрического программирования для станков с ЧПУ:

1. Возможность организации сложных вычислений координат инструмента и его перемещений для обработки криволинейных поверхностей, заданных математически в виде сплайнов, функций или поверхностей Безье.
2. Использование переменных (локальных, общих, системных, переменной #0 – «неопределенно»);
3. Конструирование сложных выражений с использованием алгебраических, геометрических и логических функций;
4. Выполнение условных и безусловных переходов внутри кода программы;
5. Написание подпрограмм с параметрами и возможность обращения к ним;

6. Создание библиотеки (каталога) подпрограмм (или самостоятельных программ) для отработки измерительных и технологических циклов.

Библиографический список

1. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Особенности работы токарного цикла при удалении припуска с цилиндрической поверхности сложного профиля // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2018: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума в 11 т. – Рязань: РГРТУ. – 2018. – Т. 6. – С. 191-196.
2. Грибов Н.В., Миловзоров О.В., Жарков Д.Н. Особенности программирования системы ЧПУ Fanuc-0i при фрезеровании торцовыми фрезами и при токарной обработке // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 8. – С. 9-17.
3. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Концептуальное проектирование операций фрезерования с применением коррекции на радиус для торцевых фрез // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. – Рязань: РГРТУ. – 2017. – Т. 1. – С. 58-62.
4. Дронов Н.Ю., Грибов Н.В., Мусолин А.К., Миловзоров О.В. Повышение точности обработки деталей за счет технологических возможностей станков с ЧПУ // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2019 сб. тр. II междунар. науч.-тех. форума: в 10 т. – Рязань: РГРТУ. – 2019. – Т.6. – С. 119-124.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.51.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAD СИСТЕМ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ (VR)

Е.Е. Медведев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, egor5671@gmail.com*

Аннотация. В работе обосновывается необходимость ввода новых технологий на производстве. Приводятся основные достоинства новой технологии, а также принципы её ввода.

Ключевые слова: виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR), системы автоматизированного проектирования (CAD).

USE OF CAD SYSTEMS IN VIRTUAL REALITY (VR)

Ye.Ye. Medvedev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, egor5671@gmail.com*

The summary. The paper substantiates the need to introduce new technologies in production. The main advantages of the new technology, as well as the principles of its introduction, are given.

Keywords: virtual reality (VR), augmented reality (AR), computer-aided design (CAD).

Что такое VR?

В наше время развитие технологий достигает невиданных высот. Сегодня мы уже имеем полностью рабочую VR (virtual reality - виртуальная реальность) инфраструктуру и на горизонте появляется массовый AR (augmented reality - дополненная реальность). Что задает новый принцип работы с трехмерными объектами и пространствами, путем отказа сначала от традиционных 2D мониторов, а после и отказа от мониторов совсем, так как VR создает базу, пригодную для дальнейшего использования в AR, а появления массового AR это дело ближайших 5 лет. Совместное использование VR и AR позволят увеличить как качество итоговой продукции, так и скорость проектирования, а также экономическую эффективность предприятий.

VR уже сегодня используют наиболее передовые производства, например в проектировании автомобилей, он позволяет намного увеличить качество продукции и снизить затраты на производство. Улучшается понимание процессов рабочими без долгого и затратного обучения.

CAD системы в VR

В наше время важно начинать вводить VR технологии на производстве. Начать можно с конструкторского отдела, внедрив VR технологии в системы автоматизированного проектирования (CAD программы).

Горизонт CAD моделирования в VR по настоящему важен. Зачем же это нужно? Для начала VR создает полное 3D пространство, а это значит:

1. Возможность просмотра в 3D сложных деталей, интерьеров машин без отрыва от внешней части.

2. Представление масштаба детали.

3. Наилучшее понимание готового продукта.

Также исчезает проблема, когда на сборке, соединяя детали, по одной плоскости детали подходят, а по другой находятся на значительном расстоянии друг от друга, так как в VR нет плоскостей и легко увидеть все нестыковки сразу, таким образом уменьшив количество брака.

Для наглядности вид 1, где деталь кажется целостной, отчетливо виден стык в нижнем правом углу.

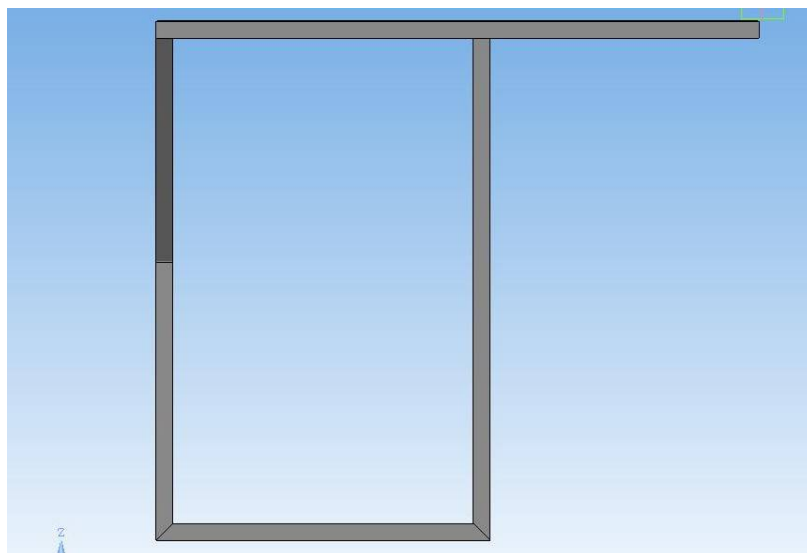


Рис. 1

И та же деталь вид 2, где мы можем наблюдать насколько далеко находится часть детали от основания, хотя на 1 виде мы этот разрыв увидеть не сможем.

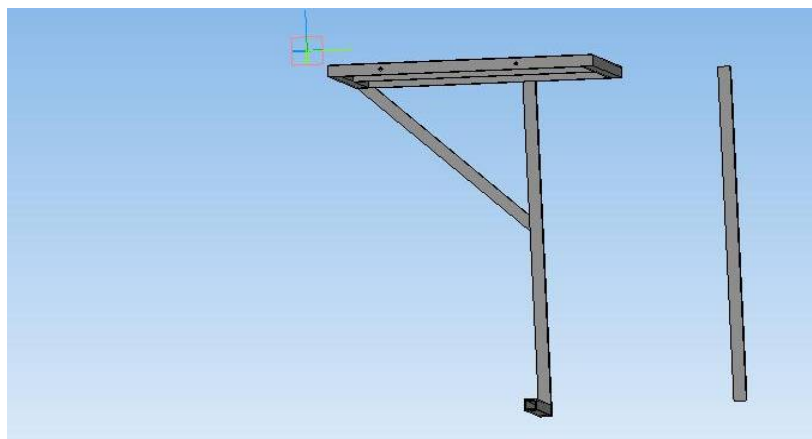


Рис. 2

Важно понимать, что большинство работников конструкторских бюро никогда не сталкивались с VR, поэтому необходимо не только интегрировать VR в CAD систему, но и создать обучающую программу, позволяющую пользователю свободно ориентироваться в VR пространстве, научив его использовать контроллеры, перетаскивать детали в виртуальном пространстве и фиксировать их.

Такую обучающую программу можно написать, к примеру, в межплатформенной среде разработки компьютерных игр Unity компании Unity Technologies.

На сегодняшний день выявляются следующие задачи:

Познакомить работников с VR пространством.

Внедрить в существующие CAD системы VR технологии.

Вводить лучше всего в существующие CAD системы, так как они уже имеют модули для переноса 3D чертежей на 2D бумажный формат, кроме того работникам будет легче ориентироваться в уже знакомой программе.

Чтобы не быть голословными рассмотрим пример. Сегодня для проектирования подвижных средств используется две 3D модели, одна это внешняя часть машины, вторая же внутренняя ее часть. Делается это из-за того, что невозможно на 2D экране смотреть на машину в целом. В VR формате эта проблема исчезает, так как пользователь оказывается буквально внутри настоящей машины и может видеть её так, как она будет выглядеть в реальной жизни. Зайти внутрь, понять размеры и на месте добавить или удалить нужные элементы. Больше не будет проблемы, когда для того чтобы понять, поместится ли какая-нибудь деталь нужно идти в другую часть предприятия и измерять непосредственно рулеткой. Достаточно надеть шлем и увидеть эту машину перед собой. Выбрать любой удобный угол обзора, что не получится с помощью мыши и монитора. Смотреть на 3D объект не через 2D экран, а непосредственно в 3D.

Все это в скором времени будет являться важными атрибутами передового производства, поэтому как можно скорее нужно начать работу по претворению этих планов в жизнь. А по итогу этой работы нужно получить:

1. Обучающую программу. Она позволит пользователю понять принципы работы в виртуальном пространстве, научит использовать контроллеры и покажет как выполнять действия в CAD программе.
2. Приложение для использования шлема в CAD системе. Оно будет создавать среду в которой будет работать конечный пользователь.

Библиографический список

1. Michael Bodekaer. Virtual lab. - М.: TED 2016.
2. Phil Kauffold. Будущее виртуальной реальности. TEDx 2016.
3. Zenka. Knowledge age. TEDx 2016.
4. Ethan Kinney. SOLIDWORKS World 2017 | Bringing CAD to VR. 2017.
6. Справочник инженера-конструктора. Предприятие РЕЗОНИТ г.Москва.

УДК 121.745.35:621.365.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

И.Е. Синицын

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы электродуговой сталеплавильной печи постоянного тока.

Ключевые слова: магнитное поле, электродуговая печь, футеровка, конструкция, стабилизация, дугообразование, электромагнит, дисковые катушки-соленоиды, угольные пластины.

INCREASED EFFICIENCY OF DC ELECTRIC ARC STEEL FURNACE

I.Ye. Sinitsin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan*

Введение

В электродуговых печах постоянного тока (ЭДППТ) плавление металла происходит за счет процесса горения электрической дуги между подовым положительным электродом (анодом) и отрицательным графитовым подвижным электродом (катодом).

Практическое исполнение ЭДППТ, кроме электродов, управляемого выпрямителя и системы управления, включает подвижный печной агрегат, токоподводящие кабели, размещающиеся вместе с печным агрегатом и стальные несущие конструкции.

Токоподводящие кабели вокруг себя создают магнитное поле, определенной интенсивности и направления, которое влияет также на направление горения электрической дуги. Кроме того, имеющиеся несущие стальные конструкции, размещенные рядом с печью, намагничиваются по мере возрастания числа плавов от магнитного поля создаваемого токоподводящими кабелями. Под воздействием 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 плавов металла до восстановительного ремонта, и производительность печи значительно снижается. Решение проблемы увеличения срока службы футеровочного слоя плавильной камеры ЭДППТ является актуальным в литейном производстве.

Цель работы заключается в создании конструкции устройства плавильной камеры для повышения эффективности работы электродуговой печи.

Разработка устройства

Уменьшение локального перегрева футеровочного слоя может быть достигнуто путём воздействия на электрическую дугу электромагнитным полем, создаваемым соленоидами. Соленоиды могут размещаться с внешней или внутренней стороны печи. Известен способ электромагнитного управления направлением горения дугового разряда с помощью трех соленоидов, расположенных вокруг корпуса дуговой печи, угол между которыми составляет 120°. Практическое исполнение данного способа незначительно повысило эффективность печи по числу плавов из-за экранирующего действия металлического корпуса дуговой печи на создаваемое соленоидами внешнее магнитное поле. С целью устранения экранирующего действия металлического корпуса печи на создаваемое соленоидами внешнее магнитное поле предложено соленоиды располагать внутри печи между корпусом и частью футеровочно-

го слоя с соответствующей системой управления [1, 2, 3, 4, 5], рисунок 1, где 9- дисковые катушки- соленоиды, охлаждаемые по трубопроводу 21 от источника хладагента 20 и управляемые блоками 11, 18, 19 системы управления. На рисунке показано: 1- корпус плавильной камеры, 2- слой футеровки плавильной камеры, 4- центральный угольный электрод, 5, 6- подовые электроды, 10- термопары (24 штуки), 17- обрамляющие конструкции.

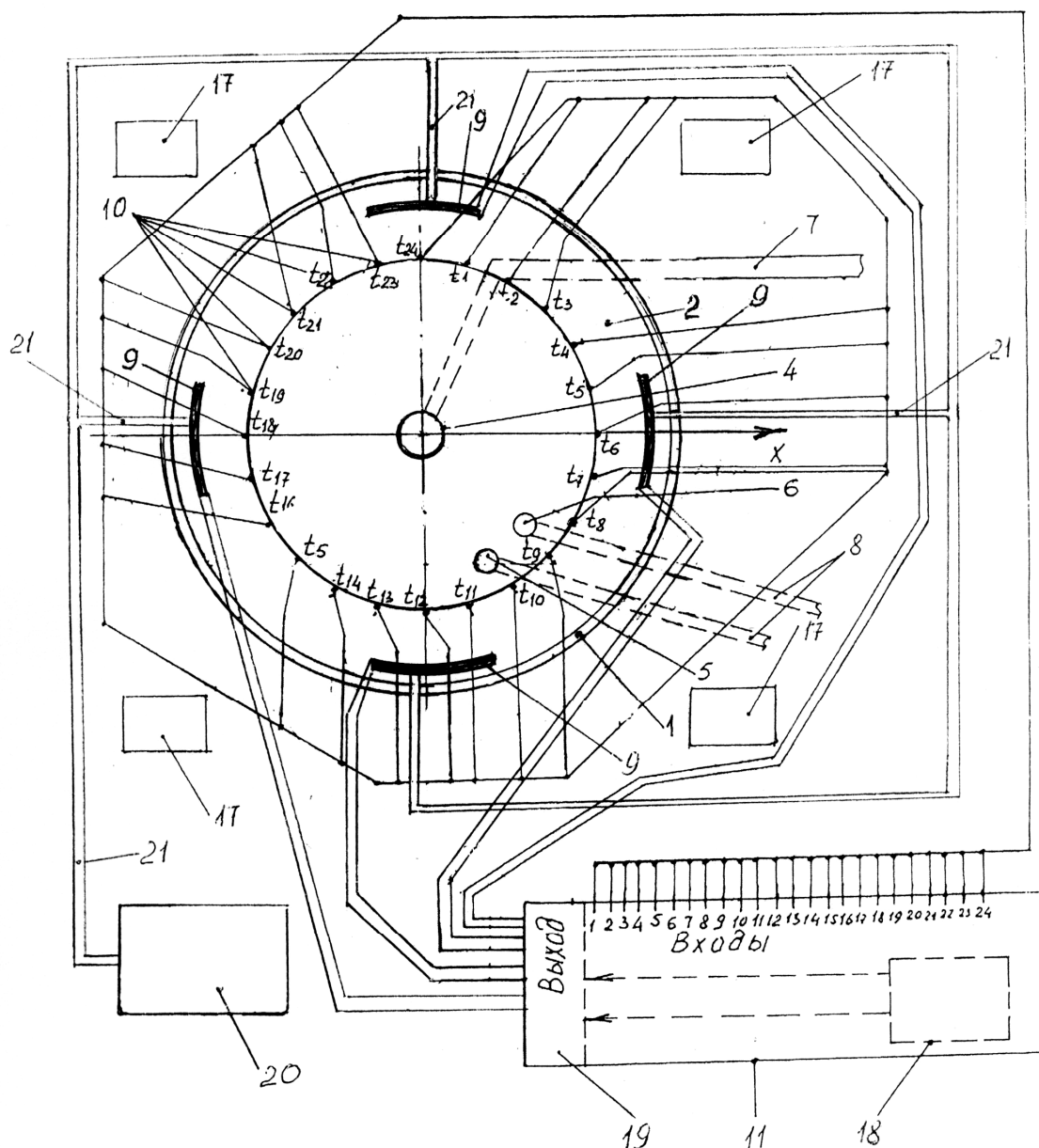


Рис. 1

В силу сложности предложенной конструкции, она не была реализована в производстве, однако вместо этой конструкции реализована другая подобная ей с двумя угольными электродами, расположенными симметрично центра плавильной камеры сверху над расплавом металла рисунок 2. В силу сложности предложенной конструкции, она не была реализована в производстве, однако вместо этой конструкции реализована другая подобная ей с двумя угольными электродами, расположенными симметрично центра плавильной камеры сверху над расплавом металла. Один электрод положительной полярности, другой отрицательной полярности. Подовые электроды в такой конструкции отсутствуют.

Работа печи с такой конструкцией электродов не повысило эффективности работы сталеплавильной печи, так как футеровка стала выгорать вблизи внешних поверхностей угольных электродов в силу круглой формы корпуса.

Для устранения фактора выгорания футеровки корпуса плавильной камеры, в работе предлагается выполнить часть футеровки, расположенную вблизи угольных электродов, заменив огнеупорный кирпич угольными пластинами соответствующего размера с высокими термомеханическими свойствами, как показано на рисунке 2, где: 1, 2- угольные электроды, 3, 4- подводящие кабели, 5, 6- угольные пластины, 7- обрамляющие конструкции.

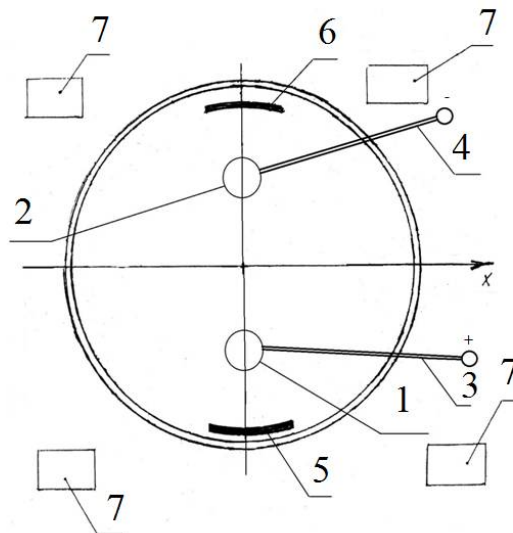


Рис. 2

Заключение

Разработанное устройство корпуса плавильной камеры позволяет решить важнейшую задачу литейного производства — увеличение срока службы электродуговой печи постоянного тока с получением высокого экономического эффекта с повышением эффективности работы электродуговой печи.

Библиографический список

1. Пат. РФ №115453, МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, Д.Е. Корытчинков.
2. Пат. РФ №2486717 МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, Д.Е. Корытчинков.
3. Пат. РФ №152662, МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, В.А. Линьков, А.К. Мусолин, М.Н. Мусолин.
4. Пат. РФ №161578, МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, М.Н. Мусолин.
5. Пат. РФ №2598421 МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, М.Н. Мусолин.

УДК 620.3; ГРНТИ 47.13.07

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ДЛЯ КОЛЛОИДНОЙ САМОСБОРКИ МИКРОПРОГРАММНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КОНВЕЙЕРНЫМ ПРОГРАММИРОВАНИЕМ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК И АПКОНВЕРТИРУЮЩИХ НАНОЧАСТИЦ СТРУКТУРЫ ЯДРО-ОБОЛОЧКА

В.А. Линьков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, musolin.a.k@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается технология изготовления наноразмерных излучательных микропрограммных элементов с программируемой эволюцией спектральных портретов электромагнитного излучения в оптическом диапазоне

Ключевые слова: квантовые точки структуры ядро-оболочка, апконвертирующие наночастицы, самосборка, программирование спектров излучения, оптогенетика, нанофотоника, элементы квантовых компьютеров

NANOSIZED TOLERANCES AND FITS FOR COLLOIDAL SELF-ASSEMBLY OF FIRMWARE ELEMENTS WITH PIPELINE PROGRAMMING OF EMISSION SPECTRA BASED ON QUANTUM DOTS AND UPCONVERTING NANOPARTICLES OF CORE-SHELL STRUCTURE

V.A. Linkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, musolin.a.k@rsreu.ru*

Summary. The work considers the technology of manufacturing nanoscale radiation firmware elements with programmable evolution of spectral portraits of electromagnetic radiation in the optical range

Keywords: quantum dots of core-shell structure, upconverting nanoparticles, self-assembly, programming of radiation spectra, optogenetics, nanophotonics, elements of quantum computers

Допуски и посадки – это основа машиностроения. Без их учета невозможно добиться взаимозаменяемости деталей или качественно работающих серийных изделий. В настоящее время стандарты по допускам и посадкам для производства наноэлектромеханических систем (НЭМС) отсутствуют или находятся в стадии разработки. В данной работе рассматривается один из подходов для осуществления массового производства наноконпозиционных излучающих элементов на основе самосборки по принципу «сфера-конус», где каждая конусообразная нанопора в коллоидном растворе заполняется наносферой с соответствующим диаметром, длиной волны излучения, яркостью и временем излучения. В качестве наносфер могут быть использованы квантовые точки структуры ядро-оболочка [1-12, 17-28, 33, 34] управляемые ультрафиолетовым излучением или апконвертирующие наночастицы структуры ядро-оболочка [13-16, 29-34] управляемые ближним инфракрасным излучением, форма нанопоп может варьироваться от конусообразных до сквозных с конусообразными входами. Предлагаемая публикация создана на основе анализа материалов отражающих процесс эволюционного развития изобретений автора в интервале с 2013 по 2020 год [1-34].

Под используемым в тексте словосочетанием «наноразмерная группа» понимается следующее: наноразмерная группа N_n – это множество наносфер или конусообразных нанопоп, имеющих одинаковые номинальные размеры соответственно внешних и внутренних диаметров, где, n - порядковый номер наноразмерной группы, присвоенный по ранжиру в зависимости от возрастающих номинальных размеров диаметров элементов образующих группу (например: $N_1, N_2, \dots, N_n$). Наноразмерная группа N_n , включающая квантовые точки структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, имеющие одинаковые наружные диаметры, состоит из нескольких флуоресцентно-временных

подгрупп M_n с одинаковыми временными интервалами флуоресценции τ_n квантовых точек в каждой подгруппе, но с различными временными интервалами флуоресценции квантовых точек, входящими в соседние подгруппы.

Под используемым в тексте словосочетанием «флуоресцентно-временная подгруппа» понимается следующее: флуоресцентно-временная подгруппа M_n - это множество квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, имеющие одинаковые геометрические размеры и одинаковые интервалы времени флуоресценции, где, n - порядковый номер флуоресцентно-временной подгруппы, присвоенный по ранжиру возрастания дискретных величин интервалов времени флуоресценции квантовых точек структуры ядро-оболочка ($n = 0, 1, 2, \dots, n-1$).

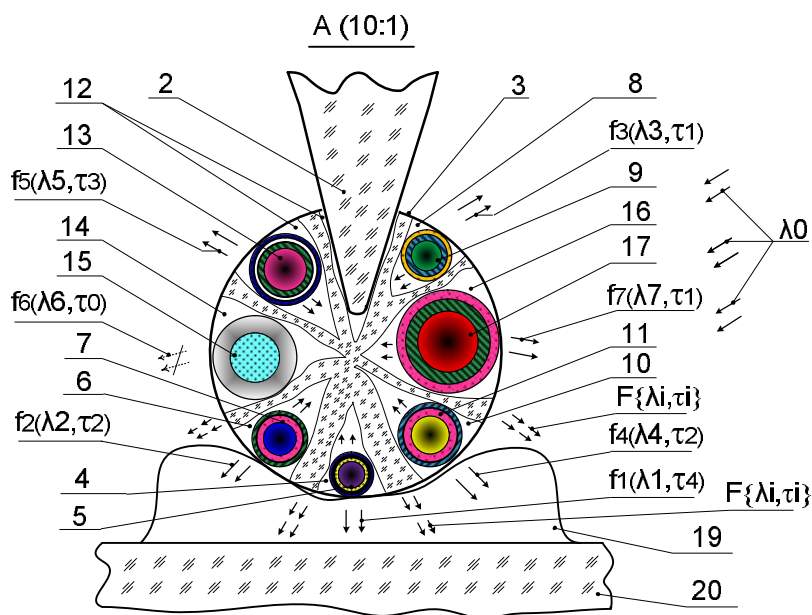


Рис. 1. Излучающий элемент с программируемой динамикой изменения спектральных портретов на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка

Зонд атомно-силового микроскопа с программируемой динамикой изменения спектральных портретов излучающего элемента на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка представлен на рисунке 1, где: кантилевер 1 [10] и прикрепленная к нему зондирующая игла 2; стеклянная сфера с конусообразными нанопорами 3; конусообразная нанопора 4 и вложенная в нее квантовая точка структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 5 четвертой флуоресцентно-временной подгруппы с диаметром, входящим в первую наноразмерную группу; конусообразная нанопора 6 и вложенная в нее квантовая точка структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 7 второй флуоресцентно-временной подгруппы с диаметром, входящим во вторую наноразмерную группу; конусообразная нанопора 8 и вложенная в нее квантовая точка структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 9 первой флуоресцентно-временной подгруппы с диаметром, входящим в третью наноразмерную группу; конусообразная нанопора 10 и вложенная в нее квантовая точка структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 11 второй флуоресцентно-временной подгруппы с диаметром, входящим в четвертую наноразмерную группу; конусообразные нанопоры 12, в одну из которых вложена квантовая точка структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 13 третьей флуоресцентно-временной подгруппы, с диаметром, входящим в пятую наноразмерную группу, а в другой конусообразной нанопоре 12, также входящей в пятую наноразмерную группу, закреплена

вершина зондирующей иглы 2; конусообразная нанопора 14 и вложенная в нее безызлучательная квантовая точка структуры ядро-оболочка 15 нулевой флуоресцентно-временной подгруппы с диаметром, входящим в шестую наноразмерную группу; конусообразную нанопору 16 и вложенная в нее квантовая точка структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 17 первой флуоресцентно-временной подгруппы с диаметром, входящим в седьмую наноразмерную группу; внешний источник электромагнитного излучения для возбуждения квантовых точек структуры ядро-оболочка с длиной волны λ_0 18 [10]; объект диагностирования 19; подложка 20, на которой расположен объект диагностирования 19.

Крупными сдвоенными параллельными стрелками на рисунке 1 указывается направление входящего импульсного электромагнитного излучения для возбуждения квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции λ_0 и преобразованного по длине волны излучения $f_1(\lambda_1, \tau_1)$, $f_2(\lambda_2, \tau_2)$, $f_3(\lambda_3, \tau_1)$, $f_4(\lambda_4, \tau_2)$, $f_5(\lambda_5, \tau_3)$, $f_6(\lambda_6, \tau_0)$, $f_7(\lambda_7, \tau_1)$, где: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ – длина волны флуоресценции квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции соответственно первого, второго, третьего, четвертого, пятого, шестого, седьмого наноразмера, где: $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – интервалы времени флуоресценции квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции соответственно нулевой (безызлучательной), первой, второй, третьей, и четвертой флуоресцентно-временной подгруппы.

Сдвоенными параллельными, перечеркнутыми чертой стрелками, указывается отсутствие излучения с длиной волны равной λ_6 . В данном примере она не генерируется вследствие вложения в конусообразную нанопору 14 безызлучательной квантовой точки 15 структуры ядро-оболочка нулевой флуоресцентно-временной подгруппы, с интервалом времени флуоресценции τ_0 равным нулю, на этапе программирования спектральных портретов стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, согласно технического задания.

Мелкими стрелками на рисунке 1 указывается направление выходящего мультиволнового излучения $F\{\lambda_i, \tau_i\}$, где: $i = 1, 2, \dots, n$. $F\{\lambda_i, \tau_i\} = \{f_1(\lambda_1, \tau_1), f_2(\lambda_2, \tau_2), f_3(\lambda_3, \tau_1), f_4(\lambda_4, \tau_2), f_5(\lambda_5, \tau_3), f_6(\lambda_6, \tau_0), f_7(\lambda_7, \tau_1)\}$ – спектр излучения стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, образованный совокупным излучением всех квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, динамически изменяющийся по времени.

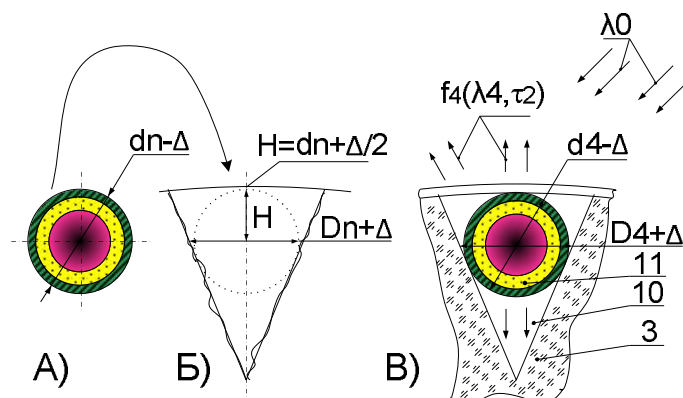


Рис. 2. Схематические изображения сопрягаемых поверхностей квантовой точки структуры ядро-оболочка и конусообразной нанопоры и их допусковые отклонения геометрических размеров, не нарушающие повторяемости спектральных портретов при тиражировании зондов

На фрагменте А) (рис. 2) приведены технические требования к допуску диаметра квантовых точек структуры ядро-оболочка наноразмерной группы N_n , который может коле-

баться на величину Δ от номинального размера $d_n - \Delta$ в меньшую сторону, для осуществления сопряжения с конусообразными нанопорами наноразмерной группы N_n .

На фрагменте Б) (рис. 2) приведены технические требования к диаметру конусообразных нанопор наноразмерной группы N_n , где: конусообразная нанопора, диаметр которой на глубине H по осевой линии от основания конуса равен радиусу ($1/2$ диаметра) квантовой точки структуры ядро-оболочка, $d_n + \Delta / 2$ наноразмерной группы N_n колеблется на величину Δ от номинального размера $D_n + \Delta$ в большую сторону для осуществления сопряжения с квантовыми точками структуры ядро-оболочка наноразмерной группы N_n .

На фрагменте В) (рис. 2) приведены выполненные технические требования сопряжения, предъявленные к паре, состоящей из квантовой точки 11 структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции (фрагмент рис. 1), вложенной в конусообразную нанопору 10, входящие в одну наноразмерную группу N_4 , где представлена квантовая точка 11 структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции диаметром $d_4 - \Delta$, вложенная в соответствующую нанопору диаметром $D_4 + \Delta$ без выхода оболочки квантовой точки структуры за периметр поверхности стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами. Стрелками показано, соответственно, входная длина волны возбуждения квантовой точки λ_0 и функция преобразованной длины волны $f_4(\lambda_4, \tau_2)$. Где: d - номинальный размер наружного диаметра квантовой точки структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции; D - номинальный размер внутреннего диаметра конусообразной нанопоры; n - номер наноразмерной группы; Δ - максимальный размер разбросов диаметров с учетом температурного дрейфа, при котором сохраняется достоверность повторяемости спектральных портретов (т.е. исключается попадание квантовой точки, относящейся к одной группе N_n , в нанопоры N_{n-1} или N_{n+1} , относящиеся к другой рядом расположенной наноразмерной группе).

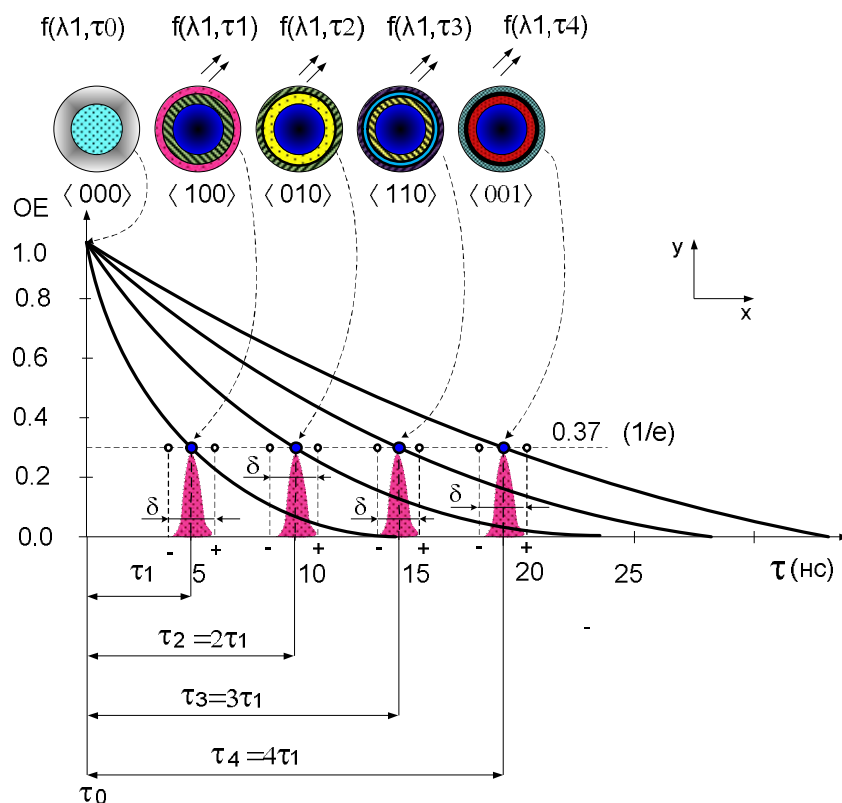


Рис. 3. Временные характеристики флуоресценции квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, и их кодировка, используемая при программировании излучающего элемента

Где (рис. 3): на координате Y - ОЕ - относительные единицы интенсивности излучения квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции в интервале от 0.0 до 1.0; уровень 0.37 ($1.0/e$, где: e - основание натуральных логарифмов) – выбранный уровень, на котором проводится калибровка интервалов времени флуоресценции квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции. На координате X - τ (нс) - длительность времени флуоресценции в наносекундах, где: горизонтальными двухсторонними стрелками указана длительность времени флуоресценции τ_0 ; τ_1 ; τ_2 ; τ_3 ; τ_4 с шагом дискретизации равным τ_1 , соответственно для квантовых точек с излучательными параметрами относящихся к нулевой, первой, второй, третьей, четвертой, флуоресцентно-временным подгруппам, входящим по геометрическим параметрам в первую наноразмерную группу. В верхней части Рис. 3 приведен ранжированный ряд квантовых точек, временные характеристики которых представлены ниже в виде затухающих экспоненциально-образных зависимостей интенсивности излучения от длительности флуоресценции. Пунктирными линиями с одной стрелкой указаны параметры величин временных интервалов флуоресценции каждой квантовой точки структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции, кодируемые, например, в трехразрядном двоичном коде $\tau_1 = \langle 100 \rangle$, $\tau_2 = \langle 010 \rangle$, $\tau_3 = \langle 110 \rangle$, $\tau_4 = \langle 001 \rangle$ (по количеству оболочек и сочетанию материалов оболочек), расположенные на оси X под точками пересечения линий экспоненциально-образных характеристик с уровнем калибровки 0.37 ($1.0/e$). Стрелками с символом « δ » указаны допусковые зоны нормального рассеивания относительно номинальных величин интервалов времени флуоресценции, используемые при проведении калибровки квантовых точек ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, не нарушающие повторяемость спектров излучения при тиражировании зондов. Ширина допусковой зоны « δ » определяется технологией синтеза квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции. Чем качественней технология и выше точность, тем меньше предельный разброс и уже допусковая зона. Шириной допусковой зоны « δ » ограничивается предельное количество флуоресцентно-временных подгрупп на определенном временном интервале (их скупенность). На рисунке 3 приведены соотношения величины ширины допусковой зоны и величины шага квантования по длительности для исключения попадания квантовых точек с близкими параметрами в соседние подгруппы. Чем больше расстояние между соседними подгруппами, тем выше достоверность программируемых спектров. Квантовые точки структуры ядро-оболочка кодируемые как $\tau_0 = \langle 000 \rangle$, т.е. со временем флуоресценции равным 0, являются безызлучательными квантовыми точками структуры ядро-оболочка.

На фрагменте А) (рис. 4) представлен спектральный портрет излучения $F\{\lambda_i, \tau_i\}$ стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, где: на координате Z - ОЕ - относительные единицы интенсивности излучения квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции в интервале от 0.0 до 1.0. На координате Y - τ (нс) - дискретные интервалы времени флуоресценции в наносекундах и соответствующая кодировка дискретных временных интервалов в трехразрядном двоичном коде. На координате X - λ (нм) - длина волны излучения в нанометрах, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ - дискретные длины волн излучения соответственно квантовых точек 5, 7, 9, 11, 13, 17 структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции. Излучение с длиной волны λ_6 отсутствует, т.к. при программировании в конусообразную нанопору 14 вложена безызлучательная квантовая точка 15 структуры ядро-оболочка с интервалом времени флуоресценции τ_0 , равным нулю. $F\{\lambda_i, \tau_i\} = \{f_1(\lambda_1, \tau_4), f_2(\lambda_2, \tau_2), f_3(\lambda_3, \tau_1), f_4(\lambda_4, \tau_2), f_5(\lambda_5, \tau_3), f_6(\lambda_6, \tau_0), f_7(\lambda_7, \tau_1)\}$ – спектр излучения стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, образованный совокупным излучением всех квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции.

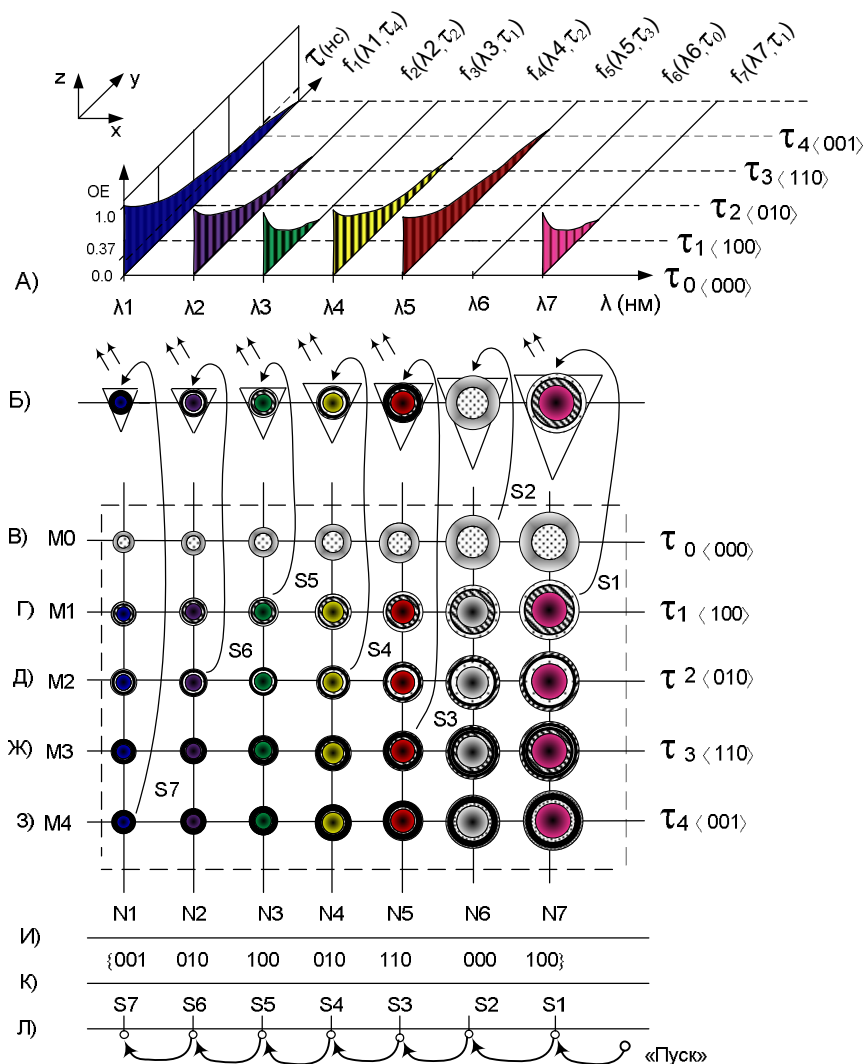


Рис. 4. Схематическое изображение пошагового программирования конусообразных нанопор излучающего элемента квантовыми точками структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции при использовании технологической донорской матрицы

На фрагменте Б) (рис. 4) схематически представлено пошаговое конвейерное заполнение конусообразных нанопор 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 квантовыми точками структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17. Вертикальными фигурными указательными стрелками с символами S_n (где n - номер шага операции программы от 1 до 7) показаны схематические траектории и направления маршрутов перемещения квантовых точек структуры ядро-оболочка из упорядоченной технологической донорской матрицы коллоидных растворов квантовых точек структуры ядро-оболочка в конусообразные нанопоры стеклянной сферы 3.

На фрагментах В) - З) (рис. 4) схематически изображена технологическая донорская матрица, расположенная внутри периметра выделенного пунктирной линией. Технологическая донорская матрица, используемая в процессе программирования, состоит из упорядоченных ячеек с калиброванными ранжированными коллоидными растворами квантовых точек структуры ядро-оболочка. Количество ячеек равно максимальному числу возможных сочетаний, используемых при программировании соотношений геометрических размеров квантовых точек с их излучательными характеристиками (длина волны λ_i и длительность времени флуоресценции τ_i). Матрица состоит из строк М0 - М4, представленных на фрагментах В) - З) (рис. 4) и столбцов N1 - N7, представленных на фрагменте И) (рис. 4). Каждому столбцу

соответствует наноразмерная группа N1 - N7 и соответствующая ей длина волны излучения $\lambda_1 - \lambda_7$, а каждой строке соответствует флуоресцентно-временная подгруппа M0 - M4 и соответствующий интервал времени флуоресценции от τ_0 до τ_4 (кодируемый, например, трехразрядными двоичными кодами от $\langle 000 \rangle$ до $\langle 001 \rangle$).

На фрагменте И) (рис. 4) приведены номера N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7 наноразмерных групп (столбцы технологической донорской матрицы), в которые входят конусообразные нанопоры, квантовые точки структуры ядро-оболочка, с совместимыми по допускам и посадкам диаметрами.

На фрагменте К) (рис. 4) приведено, в качестве примера, двадцати одно разрядное кодовое идентификационное слово $\{001\ 010\ 100\ 010\ 110\ 000\ 100\}$ (сигнатура динамики спектра), согласно которого происходит пошаговое программирование.

На фрагменте Л) (рис. 4) приведены номера шагов программирования (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7), и горизонтальными фигурными указательными стрелками показано направление маршрута заполнения ранжированных конусообразных нанопор ранжированными квантовыми точками структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции от большего диаметра к меньшему диаметру. Где, «Пуск» - начальная точка запуска процесса программирования.

Где (рис. 5), на представленном трехмерном графике на координате Z - ОЕ - относительные единицы интенсивности излучения квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции в интервале от 0.0 до 1.5. На координате X - τ (нс) длительность времени флуоресценции в наносекундах. На координате Y - λ (нм) - длина волны излучения в нанометрах, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \dots, \lambda_7$ - дискретные длины волн излучения соответственно квантовых точек 5, 7, 9, 11, 13, 17 структуры ядро-оболочка с калиброванным интервалом времени флуоресценции. Излучение с длиной волны λ_6 отсутствует, т.к. при программировании в конусообразную нанопору 14 вложена безызлучательная квантовая точка 15 структуры ядро-оболочка со временем флуоресценции τ_0 равным нулю. Динамика процесса изменения сочетаний длин волн от времени представлена виде последовательно изменяющихся спектральных портретов $F\{f_i(\lambda_i)\} = \{f_1(\lambda), f_2(\lambda), f_3(\lambda), f_4(\lambda), f_5(\lambda)\}$, отображенных в дискретные моменты времени с шагом, равным длительности τ_1 , где: $f_1(\lambda) = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_7)$; $f_2(\lambda) = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_7)$; $f_3(\lambda) = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5)$; $f_4(\lambda) = (\lambda_1, \lambda_5)$; $f_5(\lambda) = (\lambda_1)$ - первый, второй, третий, четвертый, пятый спектральные портреты, соответственно, в моменты времени $\tau_0 = 0$; $\tau_1 = 5$ нс; $\tau_2 = 10$ нс; $\tau_3 = 15$ нс; $\tau_4 = 20$ нс.

В начале координаты Y изображен короткий стартовый импульс «СТАРТ n» с длиной волны λ_0 , подаваемый внешним электромагнитным источником возбуждения квантовых точек, который запускает генерацию детерминированных последовательностей спектральных портретов с периодом повторения T, (при условии, если $T > \tau_4$) и следующий за ним стартовый импульс «СТАРТ n+1», запускающий следующий аналогичный пакет спектральных портретов.

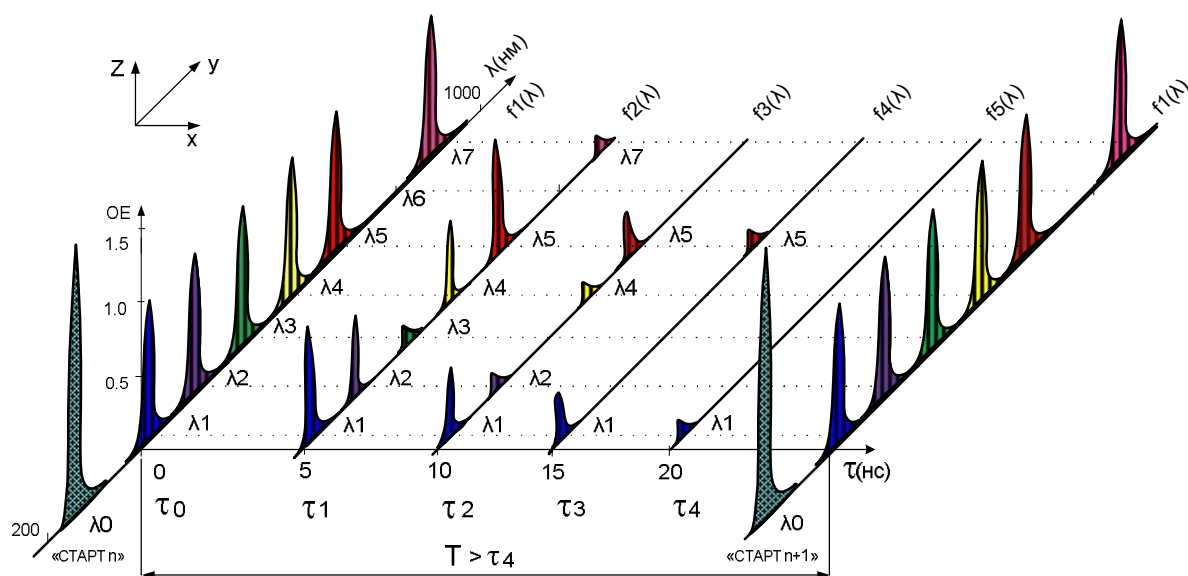


Рис. 5. Трехмерный график, поясняющий динамику процесса изменения спектральных портретов в зависимости от сочетаний, ранжированных по параметрам квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, введенных при программировании в излучающий элемент

Длина волны возбуждения λ_0 квантовых точек 5, 7, 9, 11, 13, 17 структуры ядро-оболочка, с калиброванными интервалами времени флуоресценции, и длины волн преобразованного излучения $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_7$ квантовых точек 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, определяются их диаметром (в основном от 2 до 20 нанометров), сочетанием материала ядра и материала оболочки, их процентном соотношением, спектром пропускания защитной прозрачной полимерной пленки и технологией изготовления самой квантовой точки структуры ядро-оболочка. Длина волны электромагнитного излучения квантовых точек, направленная на объект диагностирования, может находиться, как в оптическом диапазоне, так и за его пределами от ультрафиолетового до инфракрасного спектра излучения. При одном и том же внешнем диаметре квантовой точки, длина волны ее излучения может корректироваться за счет изменения соотношения диаметра ядра и толщины окружающей оболочки, а изменение интервала времени флуоресценции, за счет создания вокруг ядра многооболочных структур из разных материалов. Для превращения излучательной квантовой точки в безызлучательную в структуре квантовой точки создаются дефекты (необратимые) с помощью внешних воздействий которые запускают безызлучательные переходы. В результате квантовая точка становится безызлучательной без изменения геометрических параметров.

Ядро квантовых точек 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции может, например, включать, по меньшей мере, один материал, выбранный из группы, состоящей из CdSe, CdS, ZnS, ZnSe, CdTe, CdSeTe, CdZnS, PbSe, AgInZnS, и ZnO, но не ограничивается ими. Оболочка квантовых точек 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции может включать в себя, по крайней мере, один материал, выбранный из группы, состоящей из CdSe, ZnSe, ZnS, ZnTe, CdTe, PbS, TiO, SrSe, и HgSe, но этими вариантами не ограничивается.

Для реализации излучающих элементов также могут быть использованы, например, известные технологии изготовления апконвертирующих наночастиц структуры ядро-оболочка, повышающие конверсионные свойства композиции, имеющие кубическую структуру (α) или гексагональную структуру (β), композиции α -NaYF₄: Yb, Er @ CaF₂. Рекомендуемый размер

ядра – от 2 до 80 нм, а оболочка – толщиной от 2 до 40 нм. В качестве оболочки могут быть использованы другие материалы, улучшающие преобразовательные функции наночастиц, включающие в себя NaYF_4 (α или β), CaF_2 , LiYF_4 , NaGdF_4 , NaScF_4 , NaYbF_4 , NaLaF_4 , LaF_3 , GdF_3 , GdOF , La_2O_3 , Lu_2O_3 , Y_2O_3 , $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$, YbF_3 , YF_3 , KYF_4 , KGdF_4 , BaYF_5 , BaGdF_5 , NaLuF_4 , KLuF_4 и BaLuF_5 , но не ограничиваться ими. Сочетание компонентов и процентное содержание определяет интенсивность излучения тех или иных пиков в оптическом диапазоне от ультрафиолетового до красной области спектра, генерируемых апконвертирующими наночастицами.

Изготовление нанокompозитного излучающего элемента осуществляется легированием стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, квантовыми точками 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 структуры ядро-оболочка с калиброванными интервалами времени флуоресценции, и выполняется за счет проникновения квантовых точек структуры ядро-оболочка в конусообразные нанопоры 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами. Например, процесс легирования может осуществляться по технологии известного метода за счет погружения элемента из стекла с нанометровыми порами в раствор из двух или более квантовых точек, с последующей сушкой на воздухе и заполнением оставшихся между квантовыми точками пустот смолой. Длительность времени флуоресценции в зависимости от материалов, их сочетаний и технологии получения квантовых точек может колебаться в интервале от единиц пикосекунд до единиц микросекунд. Выборочная разбраковка квантовых точек по длительности флуоресценции может быть осуществлена, например, с помощью устройства, выполняющего обнаружение, классификацию, и разбраковку квантовых точек по длительности переходного процесса выключения квантовой точки [35].

Зонд атомно-силового микроскопа с программируемой динамикой изменения спектральных портретов излучающего элемента на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка работает следующим образом: перед началом работы производится программирование излучающей стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами (рис. 1). Программирование спектра излучения осуществляется переносом квантовых точек структуры ядро-оболочка из технологической донорской матрицы в излучающую сферу. Это происходит за счет последовательного погружения стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, предварительно соединенной с вершиной иглы 2 в ячейки технологической донорской матрицы с ранжированными калиброванными коллоидными растворами квантовых точек с определенными диаметрами и излучательными характеристиками, соответствующими длине волны излучения $\lambda_i = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_7)$ и длительности флуоресценции $\tau_{i,} = (\tau_0, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4)$ на длинах волн λ_i , что поясняется на рисунке 4.

Максимальные допусковые отклонения геометрических размеров сопрягаемых элементов и интервалов времени флуоресценции квантовых точек структуры ядро-оболочка с калиброванными временными интервалами флуоресценции, не влияющие на точность повторяемости спектральных портретов, приведены, соответственно, на рисунках 2 и 3. После каждого погружения стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами в очередной коллоидный раствор, квантовые точки структуры ядро-оболочка заполняют все конусообразные нанопоры, в которые они могут проникнуть, т.е. при первом погружении квантовые точки структуры ядро-оболочка наибольшего диаметра заполняют конусообразные нанопоры наибольшего диаметра, но не могут проникнуть в конусообразные нанопоры следующих групп меньшего диаметра; при втором погружении квантовые точки структуры ядро-оболочка меньшего диаметра заполняют конусообразные нанопоры меньшего диаметра, но не могут проникнуть в конусообразные нанопоры наименьшего диаметра и уже заполненные ранее квантовыми точками структуры ядро-оболочка большего диаметра, и так до полного заполнения конусообразных нанопор минимального диаметра соответствующими квантовыми точками структуры ядро-оболочка, что поясняется на рисунке 4. Последовательность ввода тех или иных квантовых точек в конусообразные нанопоры определяется заданным иденти-

фикационным кодовым словом, например {001 010 100 010 110 000 100}, на основании которого формируется динамически изменяющаяся последовательность спектральных портретов излучения стеклянной сферы 3 с конусообразными нанопорами, необходимая для целенаправленного воздействия на исследуемый объект диагностирования 19. Интервал времени повторения между управляющими стартовыми импульсами (период T рисунке 5) должен быть больше максимальной длительности (например, τ_4) флуоресценции используемых при программировании квантовых точек структуры ядро-оболочка, что необходимо для выдачи идентичных повторяющихся (детерминированных) управляющих кодовых микрокоманд в виде набора спектральных портретов для запуска нанофотонных процессов (например, запуска механизмов регенерации тканей) в исследуемых биологических объектах, или для тестирования и диагностирования нанофотонных систем, а также осуществление новых видов исследований в нанофотонике, оптогенетике, нейрофотонике.

Возможность осуществления программирования спектра излучения с использованием квантовых точек структуры ядро-оболочка с кодируемым дискретным ранжированным рядом интервалов флуоресценции, также дает возможность идентичной повторяемости спектральных портретов при тиражировании зондов. Все это позволяет обнаружить и исследовать отдельные светочувствительные участки биологических объектов и наноструктур, изменяющих свои свойства и размеры под действием только строго определенных последовательностей кодовых наборов длин волн электромагнитного излучения, направленных в определенную точку, без засветок окружающих участков исследуемого объекта.

Библиографический список

1. Зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2541419 C1, 10.02.2015. Заявка № 2013138540/28 от 19.08.2013 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Литвинов В.Г.
2. Зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2541422 C1, 10.02.2015. Заявка № 2013138539/28 от 19.08.2013 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Литвинов В.Г.
3. Зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2584179 C1, 20.05.2016. Заявка № 2015111584/28 от 30.03.2015 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.
4. Зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2587691 C1, 20.06.2016. Заявка № 2015112273/28 от 03.04.2015 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.
5. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2615052, 03.04.2017. Заявка № 2016101287 от 18.01.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.
6. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2615708, 07.04.2017. Заявка № 2016101377 от 18.01.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.
7. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемым спектральным портретом излучающего элемента, легированного квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2629713, 31.08.2017. Заявка № 2016123534 от 14.06.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.
8. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемым спектральным портретом излучающего элемента на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2635345, 10.11.2017. Заявка № 2016123562 от 14.06.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.
9. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемой динамикой изменения спектральных портретов излучающего элемента, легированного квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение

RU 2647512, 16.03.2018. Заявка № 2017110606 от 29.03.2017 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

10. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемой динамикой изменения спектральных портретов излучающего элемента на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2650702, 17.04.2018. Заявка № 2017104575 от 13.02.2017 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

11. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2675202, 17.12.2018. Заявка № 2017146144 от 26.12.2017 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

12. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2681258, 05.03.2019. Заявка № 2018102770 от 24.01.2018 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

13. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, на основе апконвертирующих и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2716848, 17.03.2020. Заявка № 2019120700 от 01.07. 2019 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

14. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, на основе апконвертирующих и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2716849, 17.03.2020. Заявка № 2019122668 от 15.07.2019 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

15. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2716850, 17.03.2020. Заявка № 2019123219 от 18.07.2019 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

16. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2716861, 17.03.2020. Заявка № 2019121734 от 09.07.2019 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

17. Зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 140007, 27.04.2014. Заявка № 2013144345/28 от 02.10.2013 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Литвинов В.Г.

18. Зонд атомно-силового микроскопа с излучающим элементом, на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 140229, 10.05.2014. Заявка № 2013144346/28 от 02.10.2013 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Литвинов В.Г.

19. Зонд атомно-силового микроскопа с излучающим элементом, на основе квантовых точек и магнитных наночастиц структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 156174, 10.11.2015. Заявка № 2015113575/28 от 13.04.2015 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

20. Зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 156299, 10.11.2015. Заявка № 2015113573/28 от 13.04.2015 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

21. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 163240 U1, 10.07.2016. Заявка № 2016102583/28 от 26.01.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

22. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с излучающим элементом на основе квантовых точек и магнитных наночастиц структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 164733 U1, 10.09.2016. Заявка № 2016102892/28 от 28.01.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

23. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемым спектральным портретом излучающего элемента, легированного квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 168939, 28.02.2017. Заявка № 2016124826 от 21.06.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

24. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемым спектральным портретом излучающего элемента на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 170927, 15.05.2017. Заявка № 2016124842 от 21.06.2016 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

25. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемой динамикой изменения спектральных портретов излучающего элемента легированного, квантовыми точками структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 172624, 17.07.2017. Заявка № 2017105633 от 20.02.2017 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

26. Зонд атомно-силового микроскопа с программируемой динамикой изменения спектральных портретов излучающего элемента на основе квантовых точек структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 172625, 17.07.2017. Заявка № 2017105937 от 21.02.2017 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

27. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом на основе квантовых точек и магнитных наночастиц структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 182469, 20.08.2018. Заявка № 2018105165 от 12.02.2018 / Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

28. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 184332, 22.10.2018. Заявка № 2018100773 от 10.01.2018 / Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

29. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом на основе апконвертирующих и магнитных наночастиц структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 192782, 01.10.2019. Заявка № 2019123256 от 18.07.2019 / Линьков В.А., Гусев С.И., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

30. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 192810, 02.10.2019. Заявка № 2019122749 от 15.07.2019 / Линьков В.А., Гусев С.И., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

31. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 192995, 09.10.2019. Заявка № 2019124077 от 23.07.2019 / Линьков В.А., Гусев С.И., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

32. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 193569, 05.07.2019. Заявка № 2019121841 от 09.07.2019 / Линьков В.А., Гусев С.И., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

33. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с разделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками, апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 195784, 05.02.2020. Заявка № 2019136983 от 18.11.2019 / Линьков В.А., Гусев С.И., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

34. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокompозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками, апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на полезную модель RU 195925, 11.02.2020. Заявка № 2019137231 от 19.11.2019 / Линьков В.А., Гусев С.И., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В.

35. Способ обнаружения квантовых точек и устройство для его осуществления: Патент на изобретение RU 2493631 C1, 20.09.2013. Заявка № 2012113955/28 от 11.04.2012 / Линьков В.А., Вихров С.П., Вишняков Н.В., Литвинов В.Г.

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 004.032.2; ГРНТИ 89.25.15

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

С.В. Спицын

АО «Ракетно-космический центр «Прогресс» - филиал Особое конструкторское бюро «Спектр»,
Россия, г. Рязань, spitsyn62@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрена проблематика первичной обработки и анализа траекторных измерений изделий ракетно-космической техники при проведении полигонных испытаний как в режиме реального масштаба времени, так и в послесезонном режиме. Представлена унифицированная информационная модель предметной области.

Ключевые слова: сопровождение ракетных пусков, измерительный комплекс, траекторные измерения.

PROCESSING AND ANALYSIS OF TRAJECTORY MEASUREMENTS DURING ROCKET LAUNCHES

S.V. Spitsyn

JSC "Space rocket center "Progress" – department of Special design bureau "Spectrum",
Russia, Ryazan, spitsyn62@gmail.com

Abstract. The paper considers the problems of primary processing and analysis of trajectory measurements of rocket and space technology products during field tests both in real time and in the post-session mode. A unified information subject model is presented.

Keywords: rocket launches providing, measurement complex, trajectory measurements.

При проведении полигонных испытаний изделий ракетно-космической техники источниками траекторной информации могут являться:

- расчётные траектории, выдаваемые бортовым цифровым вычислительным комплексом (БЦВК), и получаемые по результатам обработки параметров цифровых структур в составе телеметрической информации (ТМИ);
- угловые измерения радиолокационных станций и радиопеленгаторов, преобразуемые в координаты в задачах триангуляции;
- параметры решения навигационной задачи от бортовой навигационной аппаратуры потребителя GPS/ГЛОНАСС, поступающие в ТМИ.

В программном комплексе обработки информации бортовой навигационной аппаратуры потребителя (БНАП) должно быть реализовано следующее:

- расчёт отклонений траектории;
- формирование выходных структур БНАП из ТМИ, поступающей в составе полного потока ЕГНАКУ КА или репортажного потока, обработка БНАП;
- визуализация служебной (диагностической) информации БНАП – в том числе по используемым навигационным спутникам;
- визуализация кинематических параметров на графиках и таблицах;
- визуализация опытной, расчётной и априорной траектории на графиках и географических картах, в том числе с применением геоинформационных систем (ГИС), а также на трёхмерных моделях [1].

Технологически, процесс обработки траекторных данных можно разделить на следующие этапы (рисунок 1) [2]:

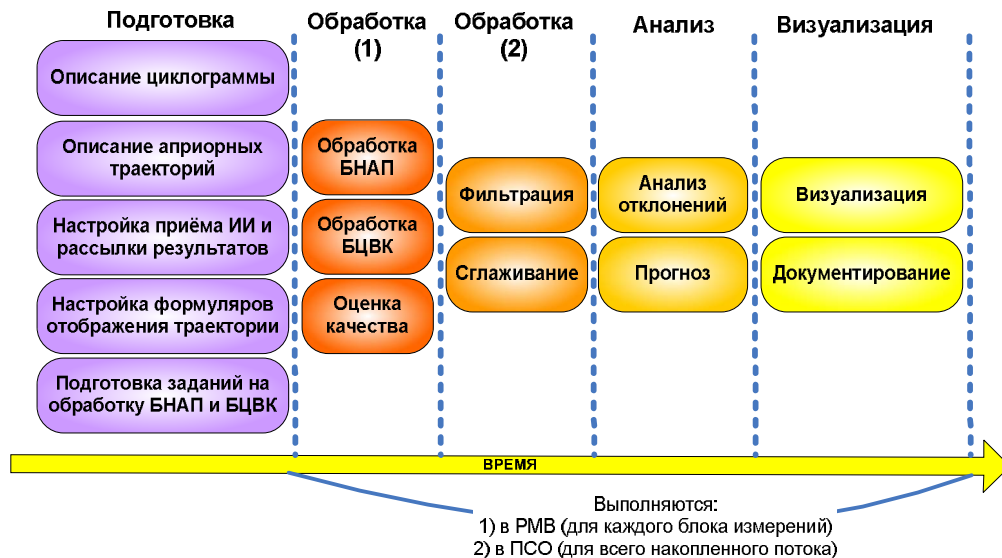


Рис.1. Общая последовательность обработки и анализа траекторных измерений

1) Подготовка исходных данных, при которой осуществляется:

- описание правил извлечения и обработки БНАП – адресов в структуре телеметрического потока и цен младшего разряда для преобразования параметров;
- описание правил рассылки данных от источников к обработчикам и потребителям;
- описание общеземного эллипсоида;
- описание априорной траектории, которая в свою очередь может быть задана как описание в геодезических координатах «Время – Широта – Долгота – Высота» по указанной модели эллипсоида или как эталонная модель в стартовой системе координат (ССК);

2) Описание циклограммы полёта изделия;

3) Первичная обработка, которая заключается в обработке цифровой телеметрической информации:

- обработка БНАП и приведение кадровых структур устройств к унифицированному формату представления – получение опытной траектории по результатам измерений на борту;
- обработка БЦВК и восстановление параметров движения (получение расчётной траектории от системы управления изделием).

На этапе первичной обработки осуществляется оценка качества измерений по служебной информации, зависящей от типов используемой бортовой аппаратуры;

4) Вторичная обработка, в рамках которой проводятся:

- расчёты параметров движения, не предусмотренных в исходном кадре БНАП – ускорения, сферической дальности, геодезических координат (широта, долгота, высота);
- фильтрация аномальных измерений, сглаживание траектории;

5) Анализ, включающий два направления:

- анализ отклонений;
- прогнозирование падения частей конструкции – точки, эллипса рассеивания, траектории полёта (скорректированной по фактическим координатам и скорости);

6) Визуализация на графиках, картах, трёхмерных моделях и составление графических и табличных отчётов.

Технологические стадии обработки-анализа-визуализации могут осуществляться как в реальном, так и в отложенном времени. При этом на последующих режимах могут быть использованы промежуточные результаты, полученные на предшествующих режимах. Отличия между режимами – в объёме и достоверности исходной измерительной информации – от со-

Сущности PART и ATMOSPHERE определяют компоновку конструкции изделия (ссылкой на событие циклограммы, по которому определяется факт отделения), а также параметры атмосферы, которые даются для указанной высоты в районе падения той или иной части при полёте по указанной трассе.

Сущности EVENT OF CYCLOGRAMM и MISSILE определяют изделие и циклограмму, для событий которой задаётся порядковый номер и временной интервал в относительной шкале от окончания точного приведения гиросtabilизированной платформы.

Библиографический список

1. С.В.Спицын, А.В.Товпеко «Алгоритм расчета целеуказаний измерительным средствам». Радиотехника №11(18), 2019., с. 28-34. DOI: 10.18127/j00338486-201911(18)-04
2. С.Ю.Балашов, С.В.Спицын «Особенности обработки, анализа и представления траекторных измерений при проведении пусков изделий РКТ». Вестник РГРТУ №69. Рязань: РГРТУ, 2019., с. 175-184. DOI:10.21667/1995-4565-2019-69-175-184
3. А.В.Товпеко «Архитектура и принцип действия системы управления измерительными средствами при обеспечении ракетных пусков». Вестник РГРТУ №51. Рязань: РГРТУ, 2015.

УДК 621.372; ГРНТИ 47.14.13

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Е.П. Васильев, Нгуен Данг Хоп, Лыу Тхань Дат

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются результаты схемотехнического и электродинамического моделирования микрополосковой антенны модуля передатчика летательного аппарата. Проведен анализ полученных результатов, даются рекомендации по совершенствованию процесса моделирования данного класса антенн.

Ключевые слова: микрополосковая антенна, схемотехническое и электродинамическое моделирование, летательный аппарат.

SYNTHESIS AND ELECTRODYNAMIC MODELING OF MICROSTRIP ANTENNA ARRAY AIRCRAFT

E.P. Vasilyev, Nguyen Dang Hop, Luu Thanh Dat

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru

The summary. The paper considers the results of circuitry and electrodynamic modeling of a microstrip antenna of an aircraft transmitter module. The analysis of the results is completed, recommendations are given for improving the process modeling of this class antennas.

Key words: microstrip antenna, circuitry and electrodynamic modeling, aircraft.

Микрополосковые антенны (МПА) обладают рядом преимуществ, которые обеспечивают их широкое применение в системах, где массогабаритные параметры играют важную роль. К данному классу систем относятся активные фазированные антенные решетки (АФАР), установленные на летательных аппаратах и других подвижных объектах.

На практике использование объёмных антенн, для построения антенных решёток связано с технологическими трудностями реализации жёстких допусков при ограничениях на размеры антенного полотна. Поэтому технология фотолитографирования и печатного монтажа, которая применяется для создания гибридных интегральных схем, является предпочтительной при создании АФАР и цифровых антенн [1].

Конструктивные типы МПА

Рассмотрим, конструктивные типы МПА.

Системы вибраторов находят применение в длинноволновой части микроволнового диапазона. При условии прохождения сигналами одинаковых путей вибраторы целесообразно группировать в квадруполь, питание которых реализуется за счёт подводящих микрополосковых структур.

Полосковые антенны с резонансным возбуждением. Фазовращающие элементы в данных антеннах целесообразно выполнять в виде полуволновых симметрирующих петель.

Печатная ромбическая антенна представляет собой диэлектрическую подложку с металлизацией в виде ромба на верхней поверхности, нижняя металлизированная поверхность подложки заземлена.

Щелевые решётки используются в диапазоне 5...10 ГГц. Щели, расположенные на одной из сторон экранной металлизированной поверхности, возбуждаются полосковым проводником.

Большое многообразие канонических 2D и 3D форм полосковых антенн (прямоугольные, квадратные, в виде окружности, треугольные, кольцевые и др.) [2] расширяет возможности улучшения выходных характеристик (согласования входа, повышение широкополосности и коэффициента направленного действия). Поэтому исследование данного класса антенн на электродинамическом уровне, с целью улучшения основных характеристик, является актуальной задачей.

Объектом исследований являлись МПА которая применяется для реализации антенной решётки в АФАР. Субмодуль решётки представлен на рис.1. В процессе моделирования использовались схемотехническое (матричные методы анализа с использованием аналитических соотношений для базовых элементов) и электродинамическое моделирование (3D-методы моделирования трёхмерных структур) [2].

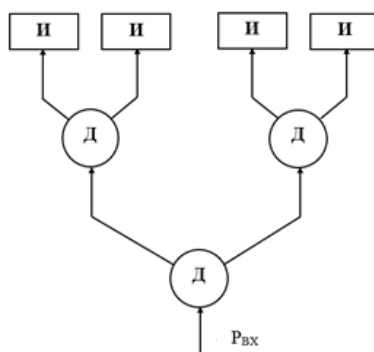


Рис. 1. Модуль с распределительной системой на четыре излучателя (Д – делитель, И – излучатель)

Результаты синтеза МПА

Расчет конструктивных размеров МПА проведен для центральной частоты 9,2 ГГц [3] (c – скорость света; $\epsilon_{эфф}$, $L_{эфф}$ – эффективные диэлектрическая проницаемость и длина):

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}; \epsilon_{эфф} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{1/2}; L_{эфф} \approx \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{эфф}}};$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_{\text{эфф}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.624 \right)}{(\varepsilon_{\text{эфф}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)}; L = L_{\text{эфф}} - 2\Delta L.$$

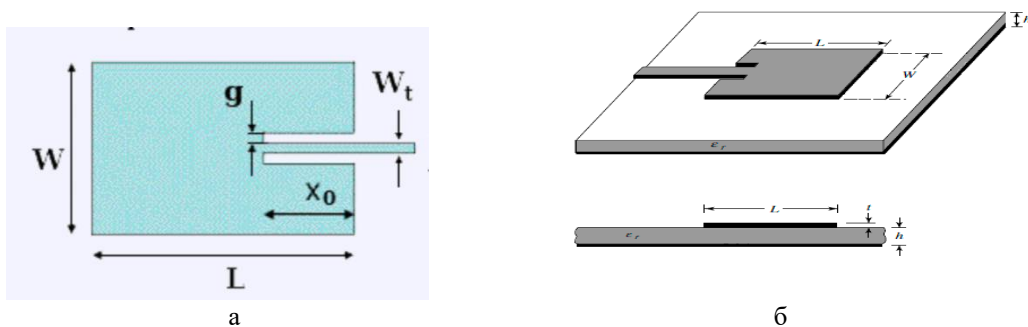


Рис. 2. Конструкция МПА

Основные конструктивные параметры антенны (рис. 2) сведены в таблицу.

Таблица. Конструктивные параметры МПА

Ширина и длина излучателя (мм)		Зазор согласующей щели (мм)	Длина зазора (мм)	Диэлектрическая проницаемость материала подложки	Толщина подложки (мм)	Ширина питающей полосковой линии (мм)	Толщина металлизации (мм)
W	L	g	X ₀	ε _r	h	W _t	t
10,3	6,16	0,14	2,12	6,5	0,76	0,93	0,03

Экспериментальные исследования

Схемотехническое моделирование. Для реализации математической модели МПА, построена схема антенны из отрезков микрополосковых линий (рис.3,а), при этом зазоры между связанными линиями обеспечивают сильную связь.

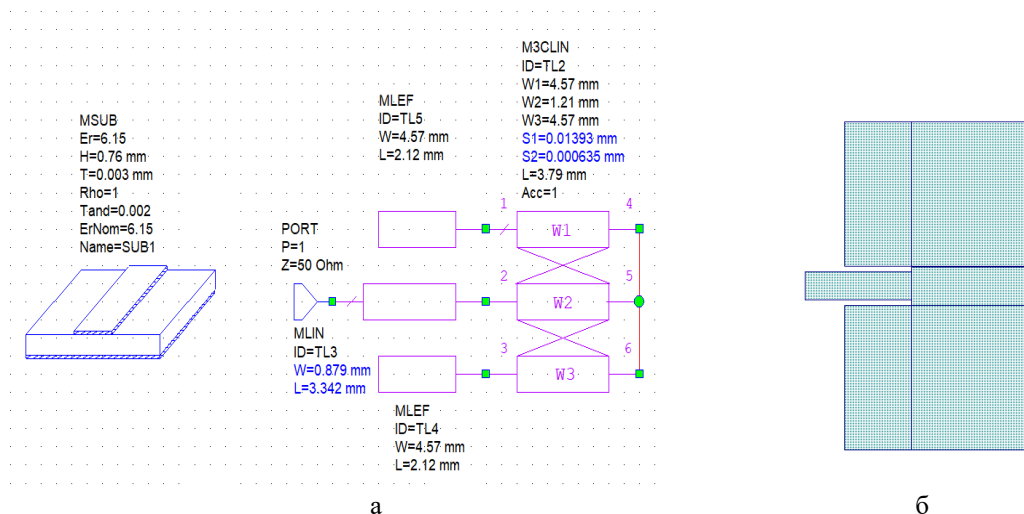


Рис. 3. Схема (а) и топология (б) МПА (схемотехническое моделирование)

Результаты моделирования представлены на рисунках 5, 6. Использована подложка из материала Arlon TC600.

Электродинамическое моделирование. Для проведения электродинамического моделирования на рабочем столе САПР прорисована конструкция антенны (рис. 4).

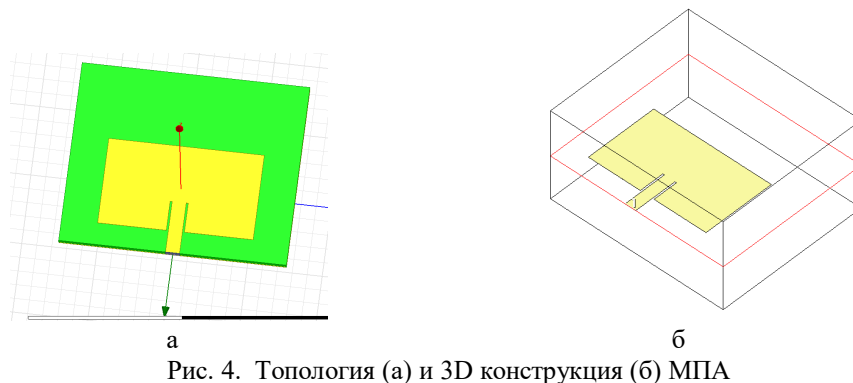
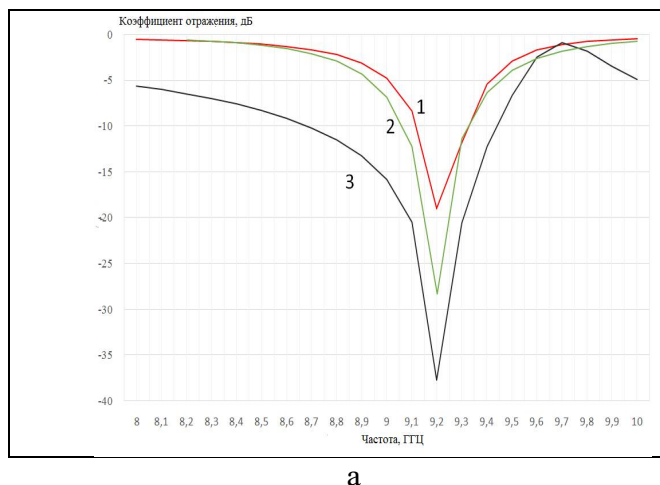
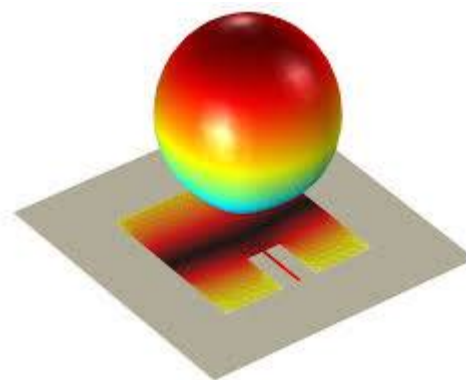


Рис. 4. Топология (а) и 3D конструкция (б) МПА

Это позволило создать электродинамическую модель структуры с учетом граничных условий.



а



б

Рис. 5. Результаты моделирования МПА (1 – метод моментов, 2 – метод конечных элементов, 3 – схематическое моделирование) (а); 3D визуализация диаграммы направленности (б)

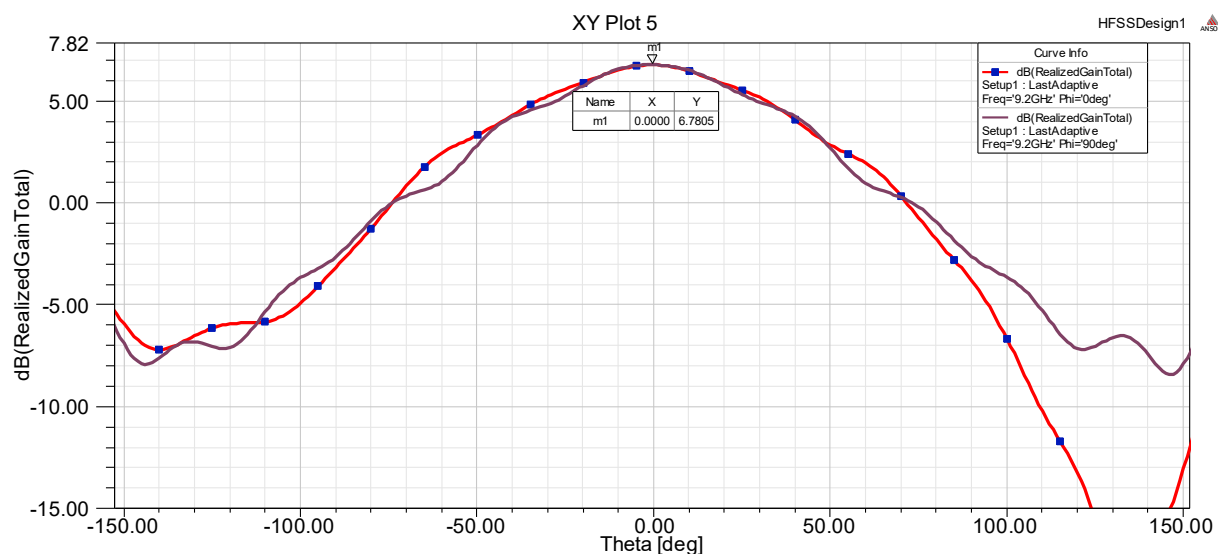


Рис. 6. Диаграмма направленности на центральной частоте 9,2 ГГц при угле места Phi 0 и 90 градусов

Результаты исследования показали, что коэффициент отражения (S_{11}) рассчитанный тремя методами (рис.5,а) оптимален на центральной частоте 9,2 ГГц и различается по минимальному значению, что объясняется большой чувствительностью данного параметра к реализуемой в различных САПР математической модели антенны. Для кривой (рис.5,а-2) полученной методом конечных элементов, который включает адаптивное генерирование и деление ячеек, ширина рабочей полосы по уровню -15 дБ составляет 1,72%. Коэффициент усиления антенны (рис.6) на центральной частоте в направлении максимального излучения 6,78 дБ, что на 2,28 дБ превышает данное значение до оптимизации конструкции МПА.

Интеграция схемотехнических и электродинамических методов моделирования МПА, позволяет на этапе предварительного моделирования и поиска оптимальных новых конструктивно-топологических решений использовать схемотехнический метод, отличающийся быстроедействием. На втором этапе, целесообразно применить для верификации результатов и уточнения результатов моделирования электродинамические методы, требующие значительных затрат машинного времени.

Библиографический список

1. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. – М: Радио и связь, 1986.
2. Банков С. Е., Курушин А. А. Электродинамика для пользователей САПР СВЧ. – М: Салон-пресс, 2017.
3. Microstrip Patch Antenna Calculator. Режим доступа: <https://www.allaboutcircuits.com/tools/microstrip-patch-antenna-calculator/> (дата обращения 20.02.2020).

УДК 621.396.965; ГРНТИ 47.14

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Е.П. Васильев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются активные фазированные решетки (АФАР), их особенности и характеристики. Предложено, для обоснованного выбора архитектуры АФАР, использовать моделирование на системном уровне. Качественно новый подход реализуется в программном модуле Visual System Simulator (VSS).

Ключевые слова: активная фазированная решетка (АФАР), приемопередающий модуль (ППМ), антенная решётка (АР), программный модуль VSS.

JUSTIFICATION FOR CHOOSING A BLOCK DIAGRAM OF AN ACTIVE PHASED ARRAY ANTENNA

E.P. Vasilyev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru*

The summary. The paper considers active phased array antennas (APA), their features and characteristics. It is proposed that for a reasonable choice of the architecture of APA use modeling at the system level. A qualitatively new approach is being implemented in the Visual System Simulator (VSS) software module.

Keywords: active phased array, transceiver module (TM), antenna array (AA), VSS software module.

Широкое применение АФАР для космической и наземной связи обусловлено: практически безинерционным электрическим управлением диаграммой направленности, высокой надежностью системы, возможностями миниатюризации АР и радиоэлектронных модулей, применением технологии гибридных интегральных схем (ГИС) и др.

В качестве недостатков отметим: архитектурную сложность реализации, огромное количество и сложность технологических операций настройки системы, сложность математи-

ческого моделирования устройств и системы, высокие затраты на эксплуатацию и значительную стоимость проектирования и изготовления изделия.

Ряд бортовых АФАР летательных аппаратов обладают широкой диаграммой направленности и имеют пониженный коэффициент усиления. Поэтому применение в АР полосковых антенн вполне оправдано. Это позволяет распространить технологию ГИС на функциональные устройства и, в целом, на субмодули системы (рис. 1).

Для космических систем связи необходимо учитывать то, что космические шумы снижаются с уменьшением длины волны, поэтому для используют диапазон 1-10 ГГц. При этом шумы, обусловленные поглощением электромагнитных волн, увеличиваются с ростом частоты, однако до 10 ГГц их влияние незначительно.

В микроволновых АФАР управление лучём основано на фазовом принципе. В каналы приемника и передатчика включены фазовращатели. Изменение мощности сигнала обеспечивается аттенуаторами (рис. 1,б). В результате изменения мощности и фазы информационного сигнала по определённому алгоритму, в раскрыве АР формируется требуемое амплитудно-фазовое распределение электромагнитного поля.

Структурная схема и принцип работы АФАР

В состав АФАР входят: АР, ППМ и СВЧ распределительная система.

Структурная схема представлена на рис. 1. Микросхемы функциональных устройств, ППМ, приведены на рис. 1,б (коммутатор, усилитель мощности – УМ, малощумящий усилитель – МШУ, делители и сумматоры мощности, адаптеры – согласующие устройства и АР). АР состоит из сотен и тысяч однотипных ППМ в зависимости от дальности действия системы. На распределительную систему подается несколько сигналов высокой мощности, где они делятся на соответствующее количество ППМ. Далее сигнал в каждом ППМ делится на 8 каналов. В каждом канале, в соответствии с заданным амплитудно-фазовым распределением, сигнал изменяется по фазе и амплитуде, усиливается и затем приходит на отдельный излучатель антенной решетки, после чего излучается в пространство.

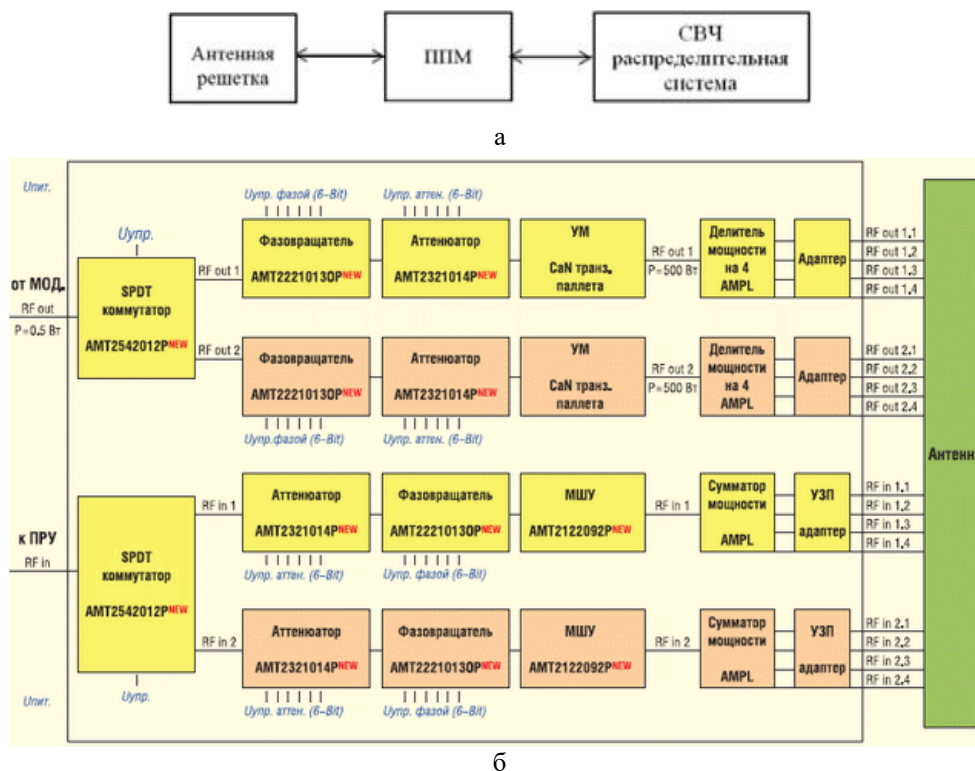


Рис. 1. Структурная схема АФАР (а) и ППМ (б)

Соединение микросхем и АР в соответствии с приведенной структурой, позволяет реализовать требуемые электрические, массогабаритные и экономические характеристики ППМ. Сложность архитектурных решений АФАР порождает проблемы, возникающие в процессе обоснования выбора структуры, схематологических вариантов функциональных устройств, технологии моделирования электромагнитных процессов, с учетом особенностей информационных потоков, технологии организации метрологических исследований и подстройки субмодулей и функциональных устройств.

Обоснование выбора сложной структуры АФАР требует привлечения современных систем визуального проектирования, которые позволяют на этапе перебора возможных архитектурных решений осуществить моделирование электромагнитных процессов, получить зависимость излучаемой мощности сигнала от уровней питающего напряжения, анализировать энергетический баланс радиолиний, симулировать сигналы, которые используются в АФАР.

Программный модуль Visual System Simulator (VSS)

VSS [3] позволяет моделировать структурные схемы АФАР на системном уровне (рис. 2). При этом оценивается излучаемая мощность, энергетические показатели для различных информационных потоков, влияние характеристик функциональных устройств на параметры системы.

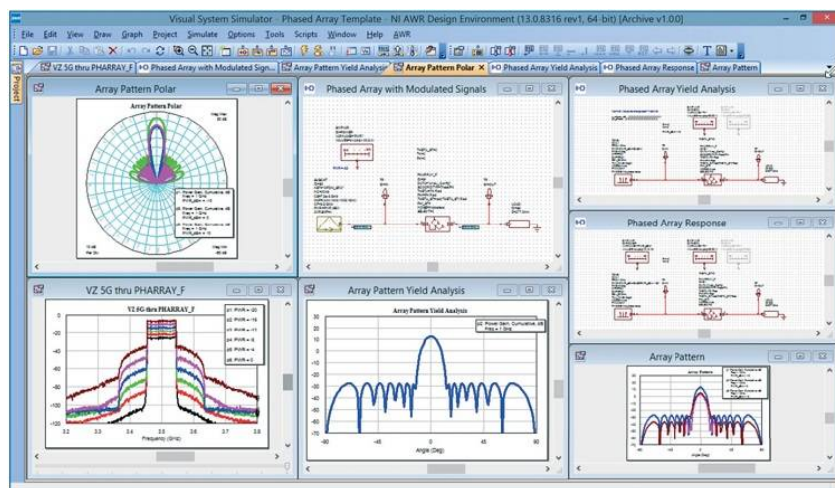


Рис. 2. Моделирование антенных систем программным модулем VSS

При проектировании ППМ на структурном уровне каждое из функциональных устройств описывается ограниченным числом параметров. Последующая схемо-конструктивная реализация устройств является многовариантной задачей. Эта задача решается на более низком иерархическом уровне – схемотехническом и электродинамическом моделировании. При этом реализуются этапы оптимизации и статистического моделирования функциональных устройств. Это позволяет уточнять параметры блока, который в первом приближении описывает функциональное устройство в системе.

Анализ структуры АФАР на системном уровне с использованием VSS переходит на качественно новый уровень. VSS позволяет определить параметры не присущие функциональным устройствам: коэффициент битовых ошибок, мощность в соседних каналах, спектральные составляющие в различных каналах АФАР. Возможен учет взаимного влияния между субмодулями системы. Реализация "ручной подстройки" параметров субмодулей позволяет наблюдать изменение характеристик системы. Результаты моделирования дают возможность получить гармонический состав выходных информационных сигналов, а также линейные и нелинейные характеристики АФАР. VSS использует в качестве критерия инфор-

мационные потоки данных, при этом их цифровые значения вычисляются в дискретные моменты времени.

С повышением требований к характеристикам АФАР по уровню излучаемой мощности, быстродействию сканирования луча, массогабаритным и энергетическим показателям, усложняется структура и схематопологические решения модулей. При этом обоснование выбора архитектуры системы и её отдельных модулей требует математического подхода к принятию решений. Использование САПР компании Applied Wave Research и интегрированных в программу пакетов EMSight, AxiEM, VoltaireXL и VSS позволяет решать задачи обоснованного выбора структуры АФАР в условиях неопределенности. При этом решаются следующие задачи: анализ производительности системы и электромагнитной совместимости; оценка эффективности выбора функциональных устройств и себестоимость проекта.

Библиографический список

1. Вендик О. Г., Парнес М. Д. Антенны с электрическим сканированием. (Введение в теорию). – 2001.
2. Воскресенский Д. И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. – М.: Радиотехника, 2012.
3. Розевиг В.Д., Потапов Ю. В., Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. – М: СОЛОН-Пресс, 2003.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЯДА НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЕЙ ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО МОДУЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Е.П. Васильев, И.В. Садовская

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. Приводится структура модуля усилителя мощности (УМ), реализованного по схеме "бегущая волна". Суммирование и деление мощности микроволнового сигнала в УМ реализовано на оригинальных микрополосковых направленных ответвителях (НО) с фазосдвигающей цепочкой (НО_ФЦ). Анализируются результаты схмотехнического и электродинамического моделирования НО_ФЦ с переходным ослаблением 3дБ, 4,7 дБ, 6 дБ, 7 дБ, 7,78 дБ и 8,45 дБ.

Ключевые слова: усилитель мощности, микрополосковый направленный ответвитель, схмотехническое и электродинамическое моделирование.

MODELING A SERIES OF DIRECTIONAL COUPLERS FOR MICROWAVE TRANSMITTER MODULE AIRCRAFT

E.P. Vasilyev, I.V. Sadovskaya

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru*

The summary. The structure of the power amplifier module (PA) implemented according to the "traveling wave" scheme is given. The summation and division of the microwave signal power in the PA is implemented on the original microstrip directional couplers (DC) with a phase-shifting chain. The results of circuitry and electrodynamic modeling of DC with a transition attenuation of 3 dB, 4,7 dB, 6 dB, 7 dB, 7,78 dB and 8,45 dB are analyzed.

Keywords: power amplifier, microstrip directional coupler, circuitry and electrodynamic modeling.

Одним из наиболее сложных узлов бортовых инфокоммуникационных систем летательных аппаратов является передатчик повышенного уровня мощности. К нему предъявляются повышенные требования по надежности, массогабаритным показателям, технологичности, себестоимости. При этом важно отметить существенное влияние на характеристики данных устройств различных дестабилизирующих факторов (жесткие механические и температурные воздействия, воздействия радиации и др.). Требования к повышению уровня выходной мощности диктуется, в частности, необходимостью увеличения дальности обнаружения летательных объектов и космического мусора. В настоящее время существует ряд подходов к реализации УМ повышенного уровня мощности: использование электронных приборов (клизотроны, магнетроны, лампы бегущей волны) и твердотельных многокаскадных УМ на различных полупроводниковых структурах [1, 2]. При этом, выбор того или иного подхода к реализации передатчика с повышенным уровнем мощности, во многом диктуется компромиссным решением на основе комплексного анализа технического задания.

Цель работы – моделирование схмотехническими и электродинамическими методами делителей-сумматоров на НО_ФЦ с переходными ослаблениями 3дБ, 4,7 дБ, 6 дБ, 7 дБ, 7,78 дБ и 8,45 дБ для построения многокаскадных УМ на полупроводниковых структурах.

Структура и принцип функционирования микроволнового модуля передатчика летательного аппарата

Существует ряд схем построения микроволновых УМ повышенной мощности. Основными схемами соединения транзисторов с НО, являются – бинарная и цепочечная (бегущая волна). При использовании семи GaN транзисторов в цепочечную схему включены шесть делителей и шесть сумматоров (рис. 1). В бинарной схеме применяется чётное число транзисторов, так для восьми транзисторов подключены семь делителей и семь сумматоров. Цепочечная схема позволяет конструктивно расположить ряд субмодулей УМ в линию для результирующего суммирования мощности. Также, в данной схеме гальванически развязаны цепи питания и смещения транзисторов.

Реализованная цепочечная структура субмодуля УМ (рис. 1) состоит из двенадцати делителей-сумматоров мощности с переходными ослаблениями 3дБ, 4,7 дБ, 6 дБ, 7 дБ, 7,78 дБ и 8,45 дБ. Все делители-сумматоры выполнены на микрополосковых НО_ФЦ [3].

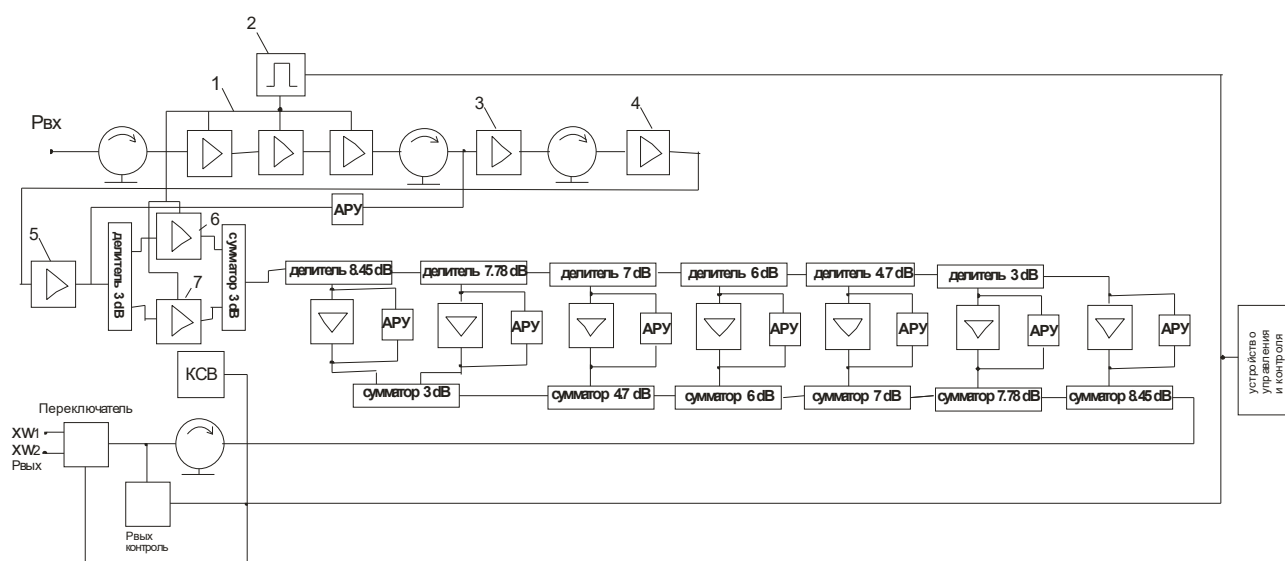


Рис. 1. Структура "бегущая волна" многокаскадного УМ на микрополосковых НО_ФЦ
(1 – предварительные "разгонные" каскады УМ, 2 – модулятор;
3-7 – дополнительные каскады предварительных УМ)

Информационный микроволновый сигнал с усилителей 6 и 7 суммируется и поступает на делитель 8,45 дБ. К выходной мощности субмодуля УМ предъявляются следующие требования: обеспечить равенство и синфазность сигналов на конечной нагрузке; получить равенство и противофазность сигналов на балансной нагрузке НО_ФЦ.

В настоящее время известно около пятидесяти конструктивных вариантов НО в микрополосковом исполнении. Однако, основными недостатками предложенных технических решений, можно считать повышенную сложность технологии изготовления НО с сильной связью, где требуется обеспечение пересечения линий и применение проволочных перемычек, (например, НО Ланге) [4].

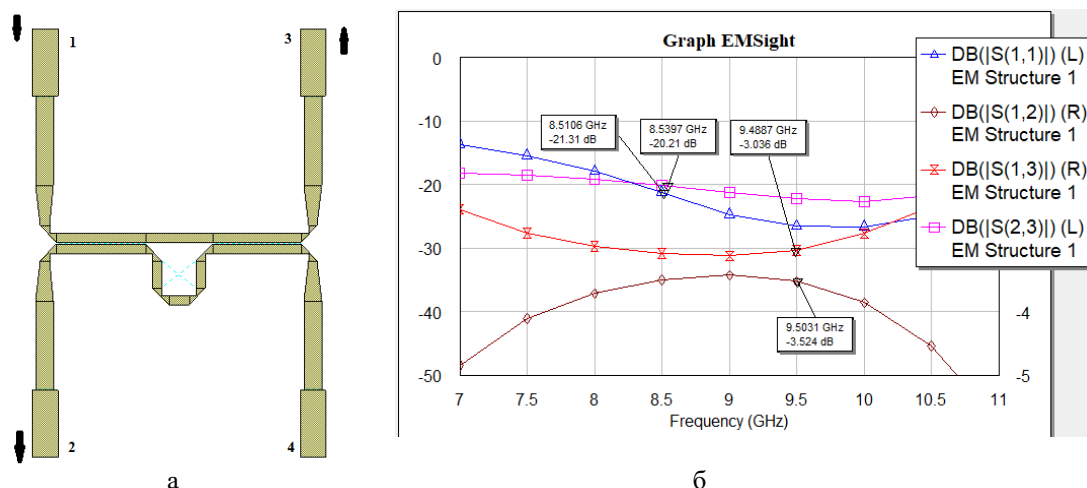


Рис. 2. Конструкция (а) и результаты ЕМ-моделирования НО_ФЦ (б)

Для исключения этого недостатка предложена конструкция НО_ФЦ (рис. 2,а). Результаты ЕМ-моделирования (рис. 2,б) [5], подтверждают возможность практического использования НО_ФЦ.

Данные моделирования ряда НО_ФЦ с требуемыми переходными ослаблениями сведены в таблицу, где

$$\Delta\varphi^0 = |Ang(S(1,2)) - Ang(S(1,3))| - 90^\circ.$$

Таблица. Результаты моделирования ряда НО_ФЦ с заданными переходными ослаблениями

Номинальные значения переходных ослаблений НО_ФЦ	S-параметры (max или min значения, дБ)			Максимальное отклонение фазы $ \Delta\varphi^0 $
	$S(1,1)$	$S(1,2)$	$S(1,3)$	
- 3 дБ	-19,42	-3,3	-3,4	1,03
-4,7 дБ	-15,92	-4,8	-2,1	0,43
-6 дБ	-15,2	-6,3	-1,6	0,79
-7 дБ	-15,88	-7,4	-1,3	0,91
-7,7 дБ	-17,7	-7,7	-1,1	0,91
-8,3 дБ	-18,93	-8,4	-0,9	1,26

Проведенные исследования НО_ФЦ позволяют рекомендовать их к применению в субмодулях УМ L, S и X-диапазонов [6].

Библиографический список

1. Филиппов В. С., Пономарев Л. И., Гринев Ф. Ю. и др. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: учеб. пособие для вузов / Под ред. Д. И. Воскресенского. М: Радио и связь, 1994.
2. Васильев Е. П. Микроволновые модули бортовых систем летательных аппаратов // Материалы IV ВНТК Актуальные проблемы современной науки и производства. Рязань: РГРТУ. 27-29 ноября 2019.
3. 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 01.25.2020).
4. Lange J. Interdigitated Stripline Quadrature Hybrid // IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique. 1969.
5. Дмитриев Е.Е. Основы моделирования в Microwave Office 2009 [Электронный ресурс] // eurointech.ru. – 2011. – Режим доступа: http://www.eurointech.ru/products/AWR/Dmitriev_mwo_2009_1.pdf (дата обращения 01.25.2020).
6. Иванов А. Г., Иванов М. А., Левашев В. Г. Технология мощных передатчиков L-диапазона информационно-измерительных систем авионики // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 3.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ВИДЕОДАННЫХ ОТ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

А.Э. Москвитин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм комплексирования изображений видимого и инфракрасного диапазонов спектра, сформированных геостационарной космической системой наблюдения Земли «Электро-Л».

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, комплексирование, видимый диапазон спектра, инфракрасный диапазон.

VIDEO DATA AGGREGATION FROM GEOSTATIONARY SPACE SYSTEMS EARTH OBSERVATION

A.E. Moskvitin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The paper considers an algorithm for combining images of the visible and infrared ranges of the spectrum formed by the geostationary space system for Earth observation "Electro-L".

Keywords: remote sensing of the Earth, aggregation, visible range of the spectrum, infrared range.

По соглашению со Всемирной метеорологической организацией в России создана геостационарная гидрометеорологическая космическая система «Электро-Л». На каждом спутнике этой системы установлено многозональное сканирующее устройство, обеспечивающее съемку земной поверхности в трех каналах видимого диапазона спектра и в семи каналах инфракрасного диапазона. Каждый канал несет в себе уникальную информацию об отраженном сигнале от земной поверхности, образуя карту распределения яркости объектов наблюдаемой сцены. В силу физических особенностей объекты интереса по разному отображаются в различных диапазонах спектра. Полезной и актуальной является задача формиро-

вания изображения, в котором повышается четкость отображения объектов наблюдаемой сцены за счет объединения данных от всех спектральных каналов [1].

Перед комплексированием изображение каждого спектрального канала I_k ($k, k = \overline{1, K}$, - номер спектрального канала) декомпозируется на низкочастотную и высокочастотную составляющие: $I_k = I_k^{HЧ} + I_k^{BЧ}$. Низкочастотная составляющая $I_k^{HЧ}$ получается путем размытия изображения I_k : $I_k^{HЧ} = F * I_k$, где F – сглаживающий фильтр. В качестве F может быть выбран усредняющий фильтр, либо фильтр размытия по Гауссу. Размеры фильтра определяют порог, отделяющий высокие частоты от низких.

Высокочастотная составляющая $I_k^{BЧ}$ вычисляется как разность исходного и размытого изображений: $I_k^{BЧ} = I_k - I_k^{HЧ}$.

Основную сложность при комплексировании составляет идентификация и обработка так называемых инверсных областей, для которых направления яркостных перепадов и уровни яркости объектов по отношению к окружающему фону противоположны в различных спектральных каналах [2]. Для идентификации инверсных областей на паре изображений I_1 и I_2 разработан алгоритм, выполняющий попарный анализ низкочастотных составляющих этих изображений $I_{1,x,y}^{HЧ}, I_{2,x,y}^{HЧ}$ (x и y – координаты пикселей) с помощью корреляционной процедуры

$$V_{12}(x, y) = \sum_{t=-T}^T (I_{1,x,y+t}^{HЧ} - I_{1,x,y+t-1}^{HЧ}) \cdot (I_{2,x,y+t}^{HЧ} - I_{2,x,y+t-1}^{HЧ}), \quad x = \overline{1, X}, \quad y = \overline{1, Y},$$

где $(2T+1)$ - размер апертуры. Признак инверсии определяется отрицательным знаком $V_{12}(x, y)$. Инверсия определяется для всех пар спектральных каналов и используется при комплексировании путем изменения знака высокочастотной компоненты одного из изображений.

После проведения предварительной обработки низкочастотные составляющие разно-спектральных видеоданных почти не отличаются друг от друга. Основные отличительные свойства несут высокочастотные компоненты.

Низкочастотные составляющие комплексировются путем взвешенного суммирования [3], например, для случая трехзонального изображения:

$$R_{x,y}^{HЧ} = r_1 I_{1,x,y}^{HЧ} + r_2 I_{2,x,y}^{HЧ} + r_3 I_{3,x,y}^{HЧ},$$

где $R_{x,y}^{HЧ}$ - низкочастотная компонента результирующего изображения. Коэффициенты r_1, r_2, r_3 характеризуют степень спектрально-зональных различий одноименных пикселей и формально определяются как

$$r_1 = \frac{|I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{2,x,y}^{HЧ}| + |I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}|}{|I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{2,x,y}^{HЧ}| + |I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}| + |I_{2,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}|},$$

$$r_2 = \frac{|I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{2,x,y}^{HЧ}| + |I_{2,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}|}{|I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{2,x,y}^{HЧ}| + |I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}| + |I_{2,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}|},$$

$$r_3 = \frac{|I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}| + |I_{2,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}|}{|I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{2,x,y}^{HЧ}| + |I_{1,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}| + |I_{2,x,y}^{HЧ} - I_{3,x,y}^{HЧ}|}.$$

Чем больше яркость пиксела одного изображения отличается от двух других, тем с большим весом этот пиксел участвует в формировании элемента результирующего изображения.

Совмещение высокочастотных компонент осуществляется путем определения перепада с максимальной амплитудой:

$$\text{Sign}[R_{x,y}^{Bq}] = \text{Sign}[r_1 I_{1,x,y}^{Hq} + r_2 I_{2,x,y}^{Hq} + r_3 I_{3,x,y}^{Hq}], \quad |R_{x,y}^{Bq}| = \max[|I_{1,x,y}^{Hq}|, |I_{2,x,y}^{Hq}|, |I_{3,x,y}^{Hq}|].$$

Результат комплексирования представляется в виде суперпозиции низкочастотной и высокочастотной составляющих: $R = R^{Hq} + R^{Bq}$.

На рисунке 1 приведен пример комплексирования трех спектральных изображений.

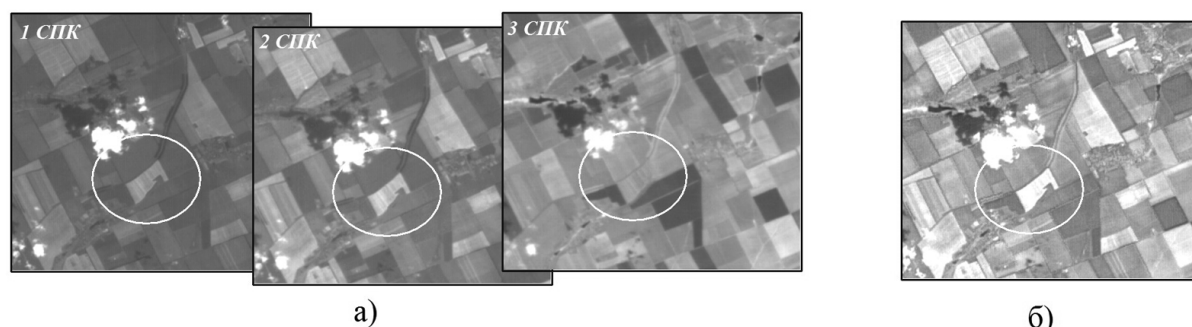


Рис. 1. Результат комплексирования (б) трех спектральных изображений (а)

Для оценки степени повышения качества комплексирования использовались два критерия. Первый критерий (спектральный) основан на том факте, что с ростом разрешающей способности изображения возрастает амплитуда высокочастотных составляющих спектра Фурье:

$$R = \sum_{x=0}^{X/2} i \cdot \sqrt{Rm_{x,x}^2 + Im_{x,x}^2},$$

где $Rm_{x,x}$ и $Im_{x,x}$ – соответственно действительная и мнимая части элемента спектра Фурье с номером x , X – число элементов в строке изображения.

Второй критерий (разностный) основан на том, что при повышении разрешающей способности изображения возрастают амплитуды перепадов яркости между соседними элементами:

$$S = \sqrt{\frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=2}^Y (I_{x,y} - I_{x,y-1})^2}.$$

Рассмотренный алгоритм комплексирования используется отдельно для изображений видимого диапазона и для инфракрасных каналов.

Выполненные исследования на сотнях сеансов съемки КА «Электро-Л» показали, что комплексирование оптических и тепловых изображений позволяет получить снимки, качество которых, измеренное по рассмотренным выше критериям, на 30-40 % выше по отношению к исходным изображениям.

Библиографический список

1. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / под ред. В.В. Еремеева. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.
2. Еремеев В.В., Кузнецов А.Е., Москвитин А.Э. Технологии повышения качества изображений земной поверхности на основе комплексирования спектрозональной видеоинформации // Вестник РГРТУ. 2004. № 14. С. 22-28.
3. Еремеев В.В., Злобин В.К., Москвитин А.Э. Методы и технологии комплексирования спектрозональной видеоинформации // Цифровая обработка сигналов. 2007. № 1. С. 30-36.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ДЕТАЛЬНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

С.М. Ларионов, А.Э. Москвитин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе проводится обзор зарубежного и отечественного опыта в решении задачи повышения пространственного разрешения спутниковых снимков Земли путем комплексирования данных дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, комплексирование изображений, суперразрешение, повышение детальности снимков.

SURVEY OF THE PROBLEM OF EARTH REMOTE SENSING DATA IN ORDER TO INCREASE SATELLITE IMAGES DETAILS

S.M. Larionov, A.E. Moskvitin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The paper discusses foreign and domestic experience in solving the task of increasing the spatial resolution of satellite images of the Earth by fusion of Earth remote sensing data.

Keywords: Earth remote sensing, image fusion, superresolution, image details increasing.

Под комплексированием изображений понимается объединение двух и более снимков одной и той же сцены от различных датчиков с целью получения снимка с улучшенными характеристиками. При этом предполагается, что результат комплексирования дает такую информацию, которую невозможно получить анализируя исходные изображения по отдельности или последовательно. В области дистанционного зондирования пространственное разрешение зачастую является критически важным фактором [1, 2], во многом определяющим качество обработки изображений. Производство и использование матриц с большим числом элементов является технологически сложным процессом [1], поэтому существующие съемочные системы обладают недостаточным количеством фотоприемных элементов [1]. Таким образом, объединение изображений с низким пространственным разрешением для повышения детальности космической съемки является актуальной задачей.

Проблему увеличения пространственного разрешения снимков земной поверхности зачастую называют задачей восстановления/получения суперразрешения (сверхразрешения). Для решения этой задачи используются две и более субпиксельно смещенные [1, 2] друг относительно друга ПЗС-линейки (ПЗС-матрицы). Пусть имеется N исходных изображений с низким пространственным разрешением. Каждое из изображений состоит из M элементов,

представим каждое такое изображение в виде вектора-строки. На рис.1. представлена общая схема комплексирования таких субпиксельно смещенных изображений.



Рис. 1. Общая схема комплексирования субпиксельно смещенных изображений

Подходы к совместной обработке двух (или нескольких) космических снимков для повышения детальности изображения широко представлены в отечественной и зарубежной литературе.

Максимизация апостериорной вероятности

Этот подход основан на максимизации апостериорной вероятности [3]. Общая модель наблюдения включает в себя преобразование оптической системы и шумовые эффекты:

$$Y = Hf + N, \quad (1)$$

где Y – совокупность исходных субпиксельно смещенных друг относительно друга изображений низкого разрешения;

H – матрица преобразования (смещения) оптической системы;

N – шумовые эффекты;

f – изображение высокого разрешения (подстилающая поверхность, сцена).

Согласно предлагаемому методу искомая оценка $\hat{f}$ должна соответствовать максимуму апостериорной вероятности:

$$\hat{f}_{MAP} = \arg \max_F [P(F/Y)], \quad (2)$$

где $P(F/Y)$ – апостериорная вероятность высокодетального изображения F при условии совокупности Y наблюдаемых изображений.

Согласно правилу Байеса, выражение (2) можно переписать в следующем виде:

$$\hat{f}_{MAP} = \arg \max_F \left[\frac{P(Y/F)P(F)}{P(Y)} \right], \quad (3)$$

где $P(Y/F)$ – функция правдоподобия;

$P(F)$, $P(Y)$ – априорной плотности вероятности высокодетального изображения F и совокупности Y изображений с низким разрешением соответственно.

Так как максимум не зависит от наблюдаемых изображений, то:

$$\hat{f}_{MAP} = \arg \max_F [P(Y/F)P(F)]. \quad (4)$$

Поскольку логарифм является монотонно возрастающей функцией, выражение (4) эквивалентно:

$$\hat{f}_{MAP} = \arg \max_F [\log P(Y/F) + \log P(F)]. \quad (5)$$

Из (1) следует, что функция правдоподобия определяется плотностью вероятности шума:

$$P(F/Y) = f_N(Y - Hf). \quad (6)$$

Как правило, поскольку шум предполагается гауссовым, использование натурального логарифма в приведенной выше формуле удаляет экспоненциальный член из плотности вероятности.

Для априорного распределения используется марковское поле, которое имеет плотность вероятности Гиббса:

$$P(F) = \frac{1}{Z} \exp \left\{ -\frac{1}{\beta} U(F) \right\}, \quad (7)$$

где Z – нормализующая константа;

β – "температурный" параметр;

$U(F)$ – "энергия" F .

Если предполагать, что шум гауссовский, а априорное распределение F – выпуклая функция, то решение $\hat{f}_{MAP}$ существует и является единственным, что является достоинством данного подхода. Также к преимуществам данного подхода можно отнести его структуру, позволяющую напрямую включать априорные ограничения, что является важным для поиска качественных решений. Еще одним достоинством описанного подхода является возможность использования эффективных алгоритмов поиска оптимума.

Однако вводимые априорные допущения не всегда являются адекватными в смысле отражения свойств наблюдаемых исходных изображений и искомого результата комплексирования, что является проблемой описанного подхода.

Проекция на выпуклые множества

Согласно подходу на основе проекций на выпуклые множества [4] вначале грубо оценивается приближенное высокодетальное изображение на основе интерполяции исходных снимков низкого разрешения. Наблюдаемые изображения ограничиваются выпуклым множеством. Полученное грубое изображение высокого разрешения проецируется на выпуклое множество. За искомую принимается проекция высокодетального изображения, обеспечивающая минимум квадрата разности между такой проекцией и самим грубым приближением высокодетального изображения.

Исходные наблюдаемые изображения низкого разрешения можно рассматривать как искомое изображение высокого разрешения после геометрических искажений, понижения пространственной дискретизации и добавления шума, что описывается следующим выражением:

$$g(m_1, m_2, l) = \sum_{n_1, n_2} f(n_1, n_2) h(n_1, n_2; m_1, m_2, l) + n(m_1, m_2), \quad (8)$$

где $g(m_1, m_2, l)$ – яркость точки с координатами (m_1, m_2) l -го наблюдаемого исходного изображения;

$f(n_1, n_2)$ – точка с координатами (n_1, n_2) искомого комплексированного изображения высокого разрешения;

$h(n_1, n_2; m_1, m_2, l)$ – функция, связывающая точку (n_1, n_2) искомого комплексированного изображения f высокого разрешения с точкой (m_1, m_2) l -го наблюдаемого исходного изображения (данная функция учитывает геометрические искажения, пространственную дискретизацию, рассеяние точки и т.п.);

$n(m_1, m_2)$ – значение белого гауссовского шума в точке с координатами (m_1, m_2) l -го наблюдаемого исходного изображения;

(m_1, m_2) – координаты точек наблюдаемых исходных изображениях низкого разрешения;

(n_1, n_2) – координаты точек результата комплексирования.

Вначале необходимо оценить грубое приближение искомого комплексированного изображения с повышенным разрешением на основе интерполяции исходных наблюдаемых изображений низкого разрешения.

Наблюдаемые изображения могут быть ограничены выпуклым множеством $C_{n_1, n_2, k}$:

$$C_{n_1, n_2, k} = \{f(m_1, m_2, l) : |r^f(n_1, n_2, k) \leq \delta_0(n_1, n_2, k)|\}, \quad (9)$$

где $\delta_0(n_1, n_2, k)$ – уровень правдоподобия наблюдаемого результата.

Затем определяется проекция $P(n_1, n_2, k)[f(m_1, m_2, l)]$ некоторой точки $f(m_1, m_2, l)$ на выпуклое множество $C_{n_1, n_2, k}$:

$$P(n_1, n_2, k)[f(m_1, m_2, l)] = \begin{cases} f(m_1, m_2, l), & \text{если } -\delta_0(n_1, n_2, k) < r^f(n_1, n_2, k) < \delta_0(n_1, n_2, k) \\ f(m_1, m_2, l) + \frac{r^f(n_1, n_2, k) - \delta_0(n_1, n_2, k)}{\sum_{o_1} \sum_{o_2} h(n_1, n_2; o_1, o_2, k)} h(n_1, n_2; m_1, m_2, l), & \text{иначе} \end{cases} \quad (10)$$

После вычисляется разность между реальным и смоделированным изображением:

$$\begin{aligned} r^f(n_1, n_2, k) &= g(n_1, n_2, k) - \sum f(m_1, m_2, l) \cdot h(n_1, n_2; m_1, m_2, l), \\ \delta_0(n_1, n_2, k) &= c \delta_v(n_1, n_2, k), c > 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\delta_v(n_1, n_2, k)$ – стандартное отклонение шума; c – константа, определяемая соответствующим доверительным интервалом.

Такие настройки определяют искомое комплексированное изображение высокого разрешения, которые соответствуют исходным наблюдаемым изображениям низкого разрешения в пределах определенного доверительного интервала, пропорционального наблюдаемому изменению шума.

Этот подход имеет следующие преимущества [5]:

- простота реализации;
- гибкая модель исходных наблюдаемых изображений в пространственной области;
- возможность для удобного включения априорной информации.

Однако описанный подход имеет и недостатки.

1) Неединственность решения – пространство решений для метода проекций на выпуклые множества определяется как пересечение выпуклых множеств ограничений. Если пересечение не является точечным множеством, то решение не является единственным.

2) Зависимость решения от начального грубого приближения.

3) Высокие вычислительные затраты.

Метод экранирования

Пусть имеется два однострочных субпиксельно смещенных изображения I_1 и I_2 [6]. $I_1(i)$ и $I_2(i)$ – i -е пиксели наблюдаемых изображений (индексация пикселей начинается с 0;). Тогда пиксели однострочного изображения Rez высокого разрешения (результата комплексирования) определяются как:

$$\begin{aligned} Rez(0) &= I_1(0), \\ Rez(2 \cdot i - 1) &= I_2(i - 1) - Rez(2 \cdot i - 2), \\ Rez(2 \cdot i) &= I_1(i) - Rez(2 \cdot i - 1), \\ i &= \overline{1, M'}, M' = M - 1, \end{aligned} \quad (12)$$

где M – число пикселей (размер) исходного однострочного изображения I_1 (размер изображения I_1 равен размеру изображения I_2).

В результате комплексирования в соответствии с выражением (1) получаем изображение с двукратно увеличенным пространственным разрешением по сравнению с исходными снимками.

Данный подход может быть обобщен и на случай нескольких изображений, и на случай многострочных космических снимков.

Наложение и сдвиг спектров

В работе [7] описан способ получения изображения повышенного разрешения из набора снимков одной и той же сцены с малым (субпиксельным) сдвигом друг относительно друга и, как следствие, наложением спектров. Согласно данному подходу, свойства сдвига и наложения спектров используются для формирования системы уравнений, которые связывают коэффициенты дискретного преобразования Фурье наблюдаемых изображений с выборками непрерывного преобразования Фурье неизвестной исходной сцены. Система уравнений решается для коэффициентов частотной области исходной сцены, которая затем восстанавливается с использованием обратного дискретного преобразования Фурье.

Пусть непрерывная сцена обозначается как $f(x_1, x_2)$. Тогда сдвинутые изображения обозначаются как $f_r(x_1, x_2) = f(x_1 + \Delta_{x_1, r}, x_2 + \Delta_{x_2, r})$, $r = 1, 2, \dots, R$. Непрерывное преобразование Фурье сцены обозначается как $F(u_1, u_2)$, непрерывное преобразование Фурье для сдвинутых изображений как $F_r(u_1, u_2)$. Наблюдаемые сдвинутые изображения представляют собой дискретные значения $y_r[m_1, m_2] = f(m_1 T_{x_1} + \Delta_{x_1, r}, m_2 T_{x_2} + \Delta_{x_2, r})$, $m_1 = 0, 1, 2, \dots, M_1 - 1$, $m_2 = 0, 1, 2, \dots, M_2 - 1$. Им соответствуют двумерные преобразования Фурье, обозначаемые как $Y_r[k_1, k_2]$. Непрерывное преобразование Фурье сцены и дискретные преобразования сдвинутых изображений связаны через наложение спектров:

$$Y_r[k_1, k_2] = \frac{1}{T_{x_1} T_{x_2}} \sum_{p_1=-\infty}^{\infty} \sum_{p_2=-\infty}^{\infty} F_r \left(\frac{k_1}{M_1 T_{x_1}} + p_1 f_{s_1}, \frac{k_2}{M_2 T_{x_2}} + p_2 f_{s_2} \right), \quad (13)$$

где $f_{s_1} = 1/T_{x_1}$ и $f_{s_2} = 1/T_{x_2}$ – частота дискретизации соответственно по измерению x_1 и x_2 .

Используя свойство сдвига непрерывного Фурье преобразования, получаем:

$$F_r(u_1, u_2) = \exp(j2\pi(\Delta_{x_1, r} u_1 + \Delta_{x_2, r} u_2)) F(u_1, u_2). \quad (14)$$

Если $f(x_1, x_2)$ имеет ограниченную полосу частот, то существует L_i такое, что $F(u_1, u_2) \rightarrow 0$ для $|u_i| \geq L_i f_{s_i}$, $i = 1, 2$.

Предполагая, что $f(x_1, x_2)$ имеет ограниченную полосу частот, можно использовать смещения, чтобы переписать отношение наложения в матричной форме:

$$\mathbf{Y} = \Phi \mathbf{F}, \quad (15)$$

где $\mathbf{Y}$ – вектор столбец размером $R \times 1$, причем каждый r -й элемент этого вектора представляет собой коэффициент $Y_r[k_1, k_2]$ дискретного Фурье-образа наблюдаемого изображения $y_r[m_1, m_2]$;

Φ – матрица, которая связывает данные дискретного преобразования Фурье наблюдаемого изображения и отсчеты непрерывного Фурье-образа, содержащихся в векторе $\mathbf{F}$ размером $4L_1 L_2 \times 1$.

Таким образом комплексирование данных состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Нахождение дискретного преобразования Фурье исходных наблюдаемых изображений.

Шаг 2. Определить матрицу связи Φ .

Шаг 3. Решение системы уравнений относительно $\mathbf{F}$.

Шаг 4. Обратное преобразование Фурье для нахождения искомого изображения с повышенным разрешением

К преимуществам описанного метода можно отнести его быстродействие. Однако данный подход не учитывает шум измерения, использует предположение об идеальной дискретизации и не рассматривает особенности функции рассеяния точки оптической системы, что существенно ограничивает возможности практического использования такого способа.

Комплексирование на основе автокорреляционных матриц

В [1] авторами предложен алгоритм повышения разрешения на основе использования ПЗС-матриц, смещенных по диагонали друг относительно друга на определённую долю геометрического размера пикселя.

Так как величина такого смещения в общем случае отличается от половины линейного размера пикселя, то на изображении, которое нужно восстановить, задаётся сетка из пикселей разного размера.

Рассмотрим случай для двух исходных снимков. Из пикселей передискретизированного изображения складываются пиксели исходных изображений. Это записывается в виде системы уравнений:

$$Ax = y + e, \quad (16)$$

где A – матрица линейного оператора; x – развернутое в вектор комплексированное (с повышенным разрешением) изображение; y – развернутые в один вектор исходные изображения; e – ошибка преобразования.

Выражение (1) может быть записано в следующем виде:

$$\alpha_1 x_{i,j} + \alpha_2 x_{i+1,j} + \alpha_3 x_{i,j+1} + \alpha_4 x_{i+1,j+1} \approx y_{l,j}, \quad (17)$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_4$ – относительные размеры площади пикселей в комплексированном изображении.

Из системы (1) комплексированное изображение находится по методу наименьших квадратов:

$$\hat{x} = \Sigma_x^{-1} A (A^T \Sigma_x^{-1} A + \Sigma_e)^{-1} (y - A \mu_x) + \mu_x, \quad (18)$$

где μ_x и Σ_x – соответственно априорные среднее и ковариационная матрица вектора x ; Σ_e – ковариационная матрица ошибок.

В предположении однородности изображений ковариационные матрицы состоят из значений автоковариационной функции. Автоковариационная функция ошибок может быть оценена, например, по наблюдениям изображений, смещённых на целое число пикселей.

Вместо автоковариационной функции изображения повышенного разрешения использовалась автоковариационная функция передискретизированного изображения. Это возможно благодаря известной структуре изображенного объекта – оптических шпальных мир разного размера.

Однако такой подход связан с большими вычислительными затратами. Для повышения производительности алгоритма используется обработка изображения в окне. Исключение из обработки пикселей исходных изображений, расположенных далеко от восстанавливаемого пиксела, позволяет уменьшить искажения, вызванные низкочастотной неоднородностью сцены.

Таким образом алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Вычисление автоковариационных матриц исходного и шумового изображений – оценка матриц Σ_x и Σ_e .

Шаг 2. Регуляризированное обращение матрицы A по следующей формуле:

$$B = \Sigma_x^{-1} A (A^T \Sigma_x^{-1} A + \Sigma_e)^{-1}. \quad (19)$$

Необходимо вычислить четыре версии матрицы B . На следующем шаге для вычисления каждого пиксела высокого разрешения используется одна из версий матрицы B в зависимости от чётности координат пиксела, точнее – в зависимости от текущего положения окна.

Шаг 3. Вычисление оценок значения каждого пиксела высокого разрешения. По сути, восстановление изображения высокого разрешения в окне проводится по формуле:

$$\hat{x} = B(y - \mu) + \mu. \quad (20)$$

Но так как используется только центральный элемент восстановленного изображения в окне, вычислять все элементы произведения матрицы и вектора нет необходимости.

Пространственная частота дискретизации увеличивается в два раза по каждому из направлений. Количество пикселей в комплексированном передискретизированном изображении будет в 4 раза больше, чем в исходном изображении.

Этот подход имеет следующие проблемы.

- 1) Необходимо разработать способ оценивания автокорреляционной матрицы результирующего изображения высокого разрешения без предположения об изображенном объекте.
- 2) Необходимо определить оптимальный размер используемого окна. Однако в качестве окон можно использовать результаты сегментации. Это позволит избежать предположения об однородности изображения.
- 3) Борьба с шумом на изображении.

Заключение

Проведенный обзор показал, что каждый из подходов, описанных выше, имеет свои ограничения и сложно подобрать алгоритм, который бы обеспечивал высокое качество результатов комплексирования, требовал малых вычислительных затрат, не зависел от субъективных (эвристически выбранных) параметров и имел единственное решение. Поэтому разработка подходов комплексирования данных дистанционного зондирования с целью повышения пространственного разрешения на сегодняшний день является актуальной проблемой.

Библиографический список

1. Попов М.А. Алгоритм повышения разрешения субпиксельно смещенных изображений / М.А. Попов, С.А. Станкевич, С.В. Шкляр // Математичні машини і системи. 2015. № 1. С. 29-36.
2. Ращупкин А.В. Методы обработки данных дистанционного зондирования для повышения качества выходных изображений // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2010. № 2. С. 124-133.
3. Lee S.L. Regularized adaptive high-resolution image reconstruction considering inaccurate subpixel registration / E.S. Lee, M.G. Kang // IEEE Transactions on Image Processing. 2003. Vol. 12, № 7. P. 826-837.
4. Projections onto Convex Sets Super-Resolution Reconstruction Based on Point Spread Function Estimation of Low-Resolution Remote Sensing Images // C. Fan, C. Wu, G. Li, J. Ma / Sensors. 2017, Vol. 17, Issue 2.
5. Boreman S. Spatial resolution enhancement of low-resolution image sequences: A comprehensive review with directions for future research / S. Boreman, R. Stevenson // Laboratory for Image and Signal Analysis (LISA) Technical Report. Notre Dame: University of Notre Dame. 1998. 64 p.
6. Блажевич, С.В. Повышение разрешения цифрового изображения с использованием субпиксельного сканирования / С.В. Блажевич, Е.С. Селютина // Научные ведомости Серия: Математика. Физика, Белгородский государственный университет – 2014. – № 5 (176), Вып. 34 – С. 186 – 190.
7. Сенов А.А. Глубокое обучение в задаче реконструкции суперразрешения изображений // Стохастическая оптимизация в информатике. 2017. Т. 13, № 2. С. 38-57.

УДК 004.932.4; ГРНТИ 89.57.45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Д.В. Фетисов, А.Н. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, morzitko@gmail.com, sk62@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены алгоритмы повышения разрешения изображений, которые получены в результате съемки со спутника. Также приведены блок-схемы методов автоматического масштабирования изображения через спектральное преобразование и субпиксельной обработки данных через одномерное сканирование. Разработанные алгоритмы были реализованы на языке высокого уровня C# с графическим интерфейсом. Были проведены экспериментальные исследования, благодаря которым были сделаны выводы о работе разработанных программных модулей, их преимуществах и недостатках.

Ключевые слова: космический снимок, автоматическое масштабирование, одномерное сканирование, алгоритм, субпиксельная обработка, разрешение.

EXPERIMENTAL RESEARCH IN THE FIELD OF IMPROVING THE QUALITY OF DIGITAL IMAGES OBTAINED BY AEROFOTO TOTAL IMAGING

D.V. Fetisov, A.N. Kolesenkov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, morzitko@gmail.com, sk62@mail.ru

Abstract. The paper considers algorithms for increasing the resolution of images obtained as a result of satellite imagery. Also flowcharts of methods for automatically scaling an image through spectral conversion and sub-pixel data processing through one-dimensional scanning are shown. The developed algorithms were implemented in a high-level language C # with a graphical interface. Experimental studies were conducted, thanks to which conclusions were drawn about the work of the developed software modules, their advantages and disadvantages

Keywords: space image, automatic scaling, one-dimensional scanning, algorithm, sub-pixel processing, resolution.

1. Введение

Цифровые аэрокосмические снимки земной поверхности [1] так же, как и топографические карты, аэронавигационные карты, планы городов, широко используются для создания электронных карт, являющихся особым описанием пространственных объектов, сгруппированных в тематические слои в геоинформационных системах [6]. Наибольшую ценность подобные изображения представляют из-за того, что содержат более точную и оперативную информацию об участке местности по сравнению с другими источниками. Обработка цифровых аэрокосмических снимков находит широкое применение в различных сферах деятельности человека, поэтому одним из самых важных критериев таких изображений является их качество [2]: чем оно лучше и выше, тем более точно можно провести анализ, сделать выводы и принять необходимые решения.

В связи с этим цель данной работы заключается в:

- изучении способов улучшения качества цифровых аэрокосмических снимков современными методами обработки;
- анализе и выборе нескольких оптимальных методов для применения к снимкам, полученным со спутников;
- разработке программного модуля, реализующего выбранные алгоритмы;
- проведении экспериментальных исследований;
- систематизации результатов исследования.

В настоящей работе предложены два алгоритма, позволяющих повысить качество аэрокосмического снимка, не затрагивая характеристик цифровых спутниковых камер: автоматическое масштабирование изображения через спектральное преобразование [3] и субпиксельная обработка данных через одномерное сканирование [4].

2. Автоматическое масштабирование изображения через спектральное преобразование

Спектральное преобразование позволяет рассматривать изображение как набор пикселей, которые состоят из значений яркостей определенной зоны электромагнитного спектра. То есть в основе методов данного способа повышения качества космических снимков лежит анализ определенных гистограмм и яркостей и последующие преобразования над ними. Важно отметить, что новая информация при этом не создается, все операции производятся с исходной информацией, необходимо лишь провести изначальную рекомбинацию снимков для выделения их ключевых свойств.

Автоматическое масштабирование может производиться в вертикальном или горизонтальном направлениях, с пропорциональным или непропорциональным изменением общего размера растрового или векторного изображения. Масштабирование вторых снимков происходит без потери качества путем кратного увеличения/уменьшения их размеров. Масштабирование растровых изображений является более сложным и сопровождается потерей качества, причем размеры пикселей могут одновременно меняться в одну из сторон (увеличения/уменьшения) или добавляться/уменьшаться, то есть осуществляется некая выборка.

Второй способ представляет особый интерес. Здесь предоставляется возможность создавать пиксели другого цвета через исходные пиксели космического изображения. Такое автоматическое масштабирование реализуется через спектральное преобразование, производимое с матрицей снимка.

Разобьем весь процесс автоматического масштабирования [3] на отдельные этапы.

1 этап. Получение исходного снимка с космического спутника Земли.

2 этап. Преобразование полученного изображения в матрицу цветов с использованием специальных фильтров.

3 этап. Преобразование матрицы цветов снимка в матрицу, содержащую ту же информацию, но в градациях серого.

4 этап. Генерация матрицы преобразований Уолша размера, соответствующего размеру матрицы в градациях серого исходного изображения, согласно следующей формуле:

$$W_N = (h_{uv}^{(w)})_N = (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} r_i(u)v_i}, \quad (1)$$

где W_n – матрица преобразования Уолша порядка N ; u_i и v_i – цифры i -го разряда в двоичном представлении целых чисел u и v соответственно.

Матрица Уолша состоит из элементов, значения которых равны ± 1 . Далее с помощью свойств матрицы Уолша и формул ее получения строится квадратная матрица, каждый индекс которой представляется в двоичном коде, а ее размер равен размерности исходной матрицы космического снимка.

5 этап. Построение спектра матрицы путем перемножения полученной матрицы преобразований Уолша на матрицу в градациях серого и на транспонированную матрицу преобразований Уолша:

$$S = W_N \cdot C_N \cdot W_N^T. \quad (2)$$

6 этап. Восстановление изображения из спектра путем обратной процедуры перемножения матриц:

$$\sum_{i=0}^N \prod_{j=\min}^{\max} (h_{ij})_W \cdot (s_{ij})_C \cdot (h_{ij})_W^T, \quad (3)$$

где $\min, \max = \overline{0, N-1}$.

Степень масштабирования определяется размером сетки пикселей, потому данная процедура схожа с процессом интерполяции, которая заключается в использовании известных данных для получения новых данных в неизвестных точках.

3. Субпиксельная обработка изображения через одномерное сканирование

Одномерное сканирование подразумевает субпиксельную обработку снимков одинакового размера [5], которые были получены в результате фотосъемки со спутника и смещены на часть пикселя в вертикальном и/или горизонтальном положении относительно друг друга. Выходное изображение с улучшенным качеством будет содержать по строкам и/или столбцам $2n+1$ – пикселей, где n – количество строк и/или столбцов исходных снимков. Пусть имеется два исходных снимка размером 50×50 пикселей. При совмещении изображений и их смещении на половину пикселя по горизонтали получим результирующее изображение размером 101×50 . Необходимо отметить, что первая строка нового изображения остается от первого старого снимка, а последняя строка – от второго снимка, а значит улучшения качества в этих строках не будет происходить. Такая особенность является несущественной при обработке снимков больших размеров.

На рисунке представлена блок-схема алгоритма субпиксельной обработки изображений через одномерное сканирование [7] на основе двух снимков, которые получены с помощью аэрокосмической съемки и смещены относительно друг друга в вертикальном направлении. В блок-схеме используются следующие переменные:

- *matr1*, *matr2* – два исходных снимка, которые представлены в виде матрицы;
- *matr_new* – результирующее изображение, которое представлено в виде матрицы;
- *p* – вспомогательная переменная;
- *i*, *j* – переменные циклов.

Представленный выше алгоритм просматривает все строки и столбцы снимков, однако в виду того, что улучшение качества изображения не происходит в первой и последней строках и/или столбцах, то их можно не включать в выходное изображение. Тогда количество строк и/или столбцов с $2n+1$ сокращается до $2n-1$. Но необходимо учесть, что для корректной работы алгоритма требуется сохранить первую строку, поскольку она участвует в процессе формирования выходного изображения. Поэтому итоговое количество строк и/или столбцов результирующего изображения становится равным $2n$.

4. Анализ эффективности разработанных алгоритмов, повышающих качество изображений

Для анализа эффективности представленных алгоритмов, которые повышают качества изображений, полученных в ходе аэрокосмической съемки, произведен ряд экспериментов в разработанном программном модуле на языке программирования C#. Для его исполнения с помощью графических элементов интерфейса необходимо:

для автоматического масштабирования через спектральное преобразование в левой форме загрузить снимок земной поверхности, задать размер сетки матрицы и выполнить процедуру повышения качества, нажав на соответствующую кнопку «Выполнить»;

- для субпиксельной обработки через одномерное сканиро-

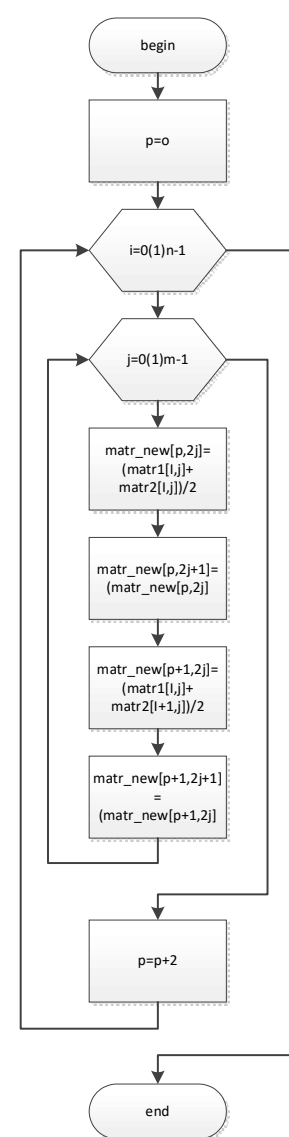


Рис. Блок-схема алгоритма одномерного сканирования изображений

вание в правой форме загрузить два снимка земной поверхности, которые смещены на половину пикселя относительно друг друга, затем выполнить процедуру повышения качества, нажав на соответствующую кнопку «Выполнить».

Результатом работы программного модуля разработанных алгоритмов являются новые изображения повышенного качества, которые можно просмотреть в отдельном окне.

Для проведения экспериментов в качестве исходных данных выбраны четыре цветных снимка одинакового размера, попарно смещенных относительно друг друга. Быстродействие процедуры автоматического масштабирования определялось относительно размерности выходной сетки пикселей, а одномерного сканирования - относительно двух изображений в сетке размером 128x128 и их последующим масштабированием в 2, 4 и 8 раз, сопровождаемое потерей качества. Результаты экспериментов приведены в таблице ниже.

Таблица – Результаты проведения экспериментов

Размер сетки	128x128 1:1	64x64 1:2	32x32 1:4	16x16 1:8
Автоматическое масштабирование через спектральное преобразование				
1 снимок	138 мс	100 мс	93 мс	88 мс
2 снимок	144 мс	113 мс	105 мс	99 мс
Субпиксельная обработка через одномерное сканирование				
1 пара снимков (горизонтальное смещение)	71 мс	54 мс	46 мс	39 мс
2 пара снимков (вертикальное смещение)	73 мс	51 мс	45 мс	41 мс

Согласно полученным экспериментальным данным, оба разработанных алгоритма позволяют повысить качество снимков, полученных в результате аэрокосмической съемки, причем качество выходного изображения, ранее подвергнутого изменению масштаба, незначительно уступает качеству исходных снимков. Скорость выполнения автоматического масштабирования изображения, как и одномерного сканирования, увеличивается с уменьшением размера сетки пикселей, что является преимуществом обоих алгоритмов. Если сравнить непосредственно время выполнения алгоритмов между собой, то одномерное сканирование превосходит автоматическое масштабирование примерно в 2 раза. Это можно объяснить тем, что в последнем есть недостаток, который заключается в большом количестве операций, производимых с матрицами: основное время затрачивается на перемножение и сложение двумерных массивов данных между собой. А при одномерном сканировании временные задержки идут только на сложение матриц, остальные вычислительные процессы требуют незначительной трудоемкости.

Выводы

В работе рассмотрены два подхода к повышению качества изображений, полученных с помощью фотосъемки со спутников: автоматическое масштабирование через спектральное преобразование и субпиксельная обработка через одномерное сканирование. В обоих алгоритмах, реализация которых также представлена на языке высокого уровня C# с графическим интерфейсом, удалось достигнуть повышения качества изображений, но с различными временными затратами. Автоматическое масштабирование позволяет наглядно визуализиро-

вать данные, а спектральное преобразование со своими различными параметрами существенно влияет на результирующее изображение. В свою очередь, одномерное сканирование является быстрым и простым методом улучшения качества изображения, оно не требует больших вычислительных ресурсов и устойчиво к шумам.

Изображения, полученные в результате работы алгоритмов, весьма полезны при обработке данных в интерактивном режиме, когда исследователю необходимо быстро обнаружить неоднородности объекта анализа для последующего исследования или принятия определенных управленческих решений.

Разработанные алгоритмы обработки аэрокосмических снимков также обладают высоким потенциалом для дальнейшего исследования, например, можно повысить их производительность, используя многопоточное распараллеливание [8], или применить дополнительные фильтры и обработчики для повышения качества уже улучшенных изображений.

Библиографический список

1. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Алгоритм субпиксельной обработки цифровых изображений через одномерное сканирование // Современные технологии в науке и образовании (СТНО-2019), Международный научно-технический форум, Сборник трудов, Том 6. 2019. С. 164-169.
2. Блажевич С.В., Селютина 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.
3. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Спектральный анализ аэрокосмических изображений в системах мониторинга недропользования // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании». СТНО-2017 – Рязань, 2017г. – С.160-164.
4. D.V. Fetisov, A.N. Kolesenkov, O.A. Bodrov, T.A. Fetisova. Sub-Pixel Processing of the Digital Images of the Remote Sensing of the Earth // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2019 - DOI: 10.1109/MECO.2019.8760047.
5. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н., Бабаев С.И., Фетисова Т.А. Разработка модели субпиксельной обработки аэрокосмических снимков при дистанционном зондировании Земли // Научный вестник НГТУ Science Bulletin of the NSTU, Том 75, № 2, 2019, с. 89–100.
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.
7. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н., Бабаев С.И., Фетисова Т.А., Скворцова Т.С. Одномерное сканирование как метод субпиксельной обработки данных в задачах мониторинга природных ресурсов // Сборник научных трудов «Известия ТулГУ», выпуск 2, г. Тула, 2019 г., с. 185-187.
8. Фетисова Т.А., Фетисов Д.В. Модель двухуровневого распараллеливания генетического алгоритма на графических процессорах // XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» НИТ-2019, г. Рязань, 2019, с. 177-179.

УДК 004.627; ГРНТИ 50.39.15

АДАПТИВНОЕ СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОТЕРЯМИ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СПУТНИКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.В. Курагин, А.Н. Колесенков

Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина

Россия, Рязань, krgn2003@mail.ru,

Аннотация. В работе рассматриваются алгоритмы обработки изображений на спутниках, предлагается архитектура обучаемой нейронной сети для уменьшения потерь.

Ключевые слова: адаптивное сжатие, свёрточные нейронные сети.

ADAPTIVELY LOSSY IMAGE COMPRESSION FOR ONBOARD PROCESSING

A.V. Kuragin, A.N. Kolesenkov

Ryazan State Radio Engineering University, named after V.F. Utkin

Россия, Рязань, krgn2003@mail.ru,

Abstract. The paper deals with algorithms for processing images on satellites, and propose the architecture of a trained convolutional neural network to reduce losses

Keywords: adaptively compression, convolutional neural networks.

Сжатие данных всегда является ключевой проблемой для нисходящих каналов связи. Более эффективные кодеки со сжатием изображений являются обязательным требованием для космических аппаратов, поскольку все более сложные средства визуализации и дистанционного измерения различных параметров забивают полосу пропускания. Хотя кодеки уменьшают объем передаваемых данных, многие из них требуют больших вычислительных ресурсов.

Использование готовых компонентов (COTS) обеспечило должную надежность оборудования и программного обеспечения, увеличило вычислительную мощность на несколько порядков, что позволило краткосрочным и низкоорбитальным миссиям применить новые методы в обработке данных и энергоэффективности [1]. Например, интенсивно стали использоваться интеллектуальные методы сжатия изображений. Выделяют два типа алгоритмов сжатия данных: без потерь и с потерями [2]. Сжатие без потерь применяется в основном для данных телеметрии. Алгоритмы сжатия изображений с потерями широко используются там, где необходима высокая компрессия, которая приводит к потере некоторой информации и наличию так называемых «визуальных артефактов». JPEG стал самым популярным стандартом сжатия изображений с потерями [3].

Предлагаем два алгоритма сжатия для применения на современном спутниковом оборудовании: (1) сквозное сжатие изображения на основе нейронной сети (CNN-JPEG); и (2) адаптивное сжатие изображений посредством обнаружения характерных точек. Интеллектуальные сети обработки данных могут помочь преодолеть ограниченную пропускную способность нисходящей линии связи, поскольку они могут адаптироваться к данным и более эффективно их сжимать. Недавние исследования нейросетевых подходов к сжатию изображений с потерями показали значительное улучшение качества изображения по сравнению с традиционными кодеками, такими как JPEG и JPEG-2000, при этом обеспечили большую пропускную способность. Важно отметить, что в отличие от традиционных кодеков, алгоритмы машинного обучения не зависят от данных, и могут быть адаптированы на основе обучения. Спутники наблюдения Земли являются идеальным вариантом для апробации различных подходов [4].

В своей работе мы более подробно остановимся на первом алгоритме. Сквозное сжатие изображения на основе нейронной сети CNN-JPEG, использует гибридный подход, объединяющий свёрточные нейронные сети (CNN) [5] и JPEG. Свёрточные нейронные сети похожи на обычные нейронные сети. Они состоят из нейронов, которые обладают способно-

стью к обучению. В кодере изображение вводится в трехслойную CNN для получения компактного изображения, которое затем кодируется в формат JPEG. Алгоритм сжатия изображений JPEG можно разделить на несколько этапов. Входные изображения проходят через следующий процесс [6]:

1. Деление изображения на поле размером 8×8 , состоящее из квадратов;
2. Преобразование поля размером 8×8 двумерных изображений в 64 разрядные одномерные изображения;
3. Дискретное преобразование Фурье [7] изображения 64×1 , чтобы получить амплитуда и фаза на разных частотах;
4. Исключение более мелких элементов в результатах (человеческий глаз не заметит этих предметов);
5. Хаффмановское кодирование результатов для обеспечения сжатия.

Этот метод имеет следующие недостатки:

- 1) после дискретного преобразования Фурье значение пикселя на краю изменяется, заставляя изображение быть прерывистым.
- 2) изображение непрерывно преобразуется в большое растровое изображение, и не возможно преобразовать часть изображения в формат двоичной строки.

Мы предлагаем базовую концепцию обучения CNN для сжатия изображения. Чтобы преобразовать изображение в двоичную строку и потом конвертировать его обратно, на CNN нужен один ответственный за кодирование и один - для декодирования. Обзор предлагаемой нами архитектуры представлен на рисунке 1.

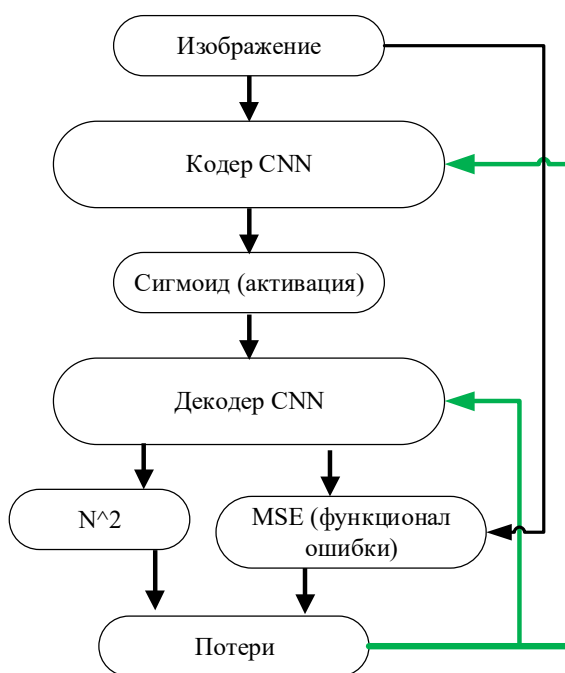


Рис. 1. Архитектура обучения CNN

Из входного изображения мы извлекаем объекты с помощью кодера CNN. Для уменьшения потерь при декодировании, вызванных гауссовым шумом [8], увеличивают выходного сигнала кодера. Код в конечном счете заполнится 0 или 1. Зеленая стрелка показывает путь к уменьшению ошибок обновления. В декодере более глубокий 20-слойный CNN восстанавливает исходное изображение.

Можно заметить, что сигмовидный выход не использует 0 и 1, но используются различные оттенки серого. Именно из них декодер восстанавливает изображение. Если мы би-

наризуем сигмовидный выход, то информация полностью теряется. Но мы можем заставить нейронные сети представлять информацию, используя 0 и 1 вместо других значений путем увеличения шума. Если мы добавим гауссов шум перед сигмоидной функцией, то кодер и декодер начнут противостоять шуму только для информации, закодированная с 0 на 1. После добавления гауссовского шума архитектура становится похожей на представленную на рисунке 2.

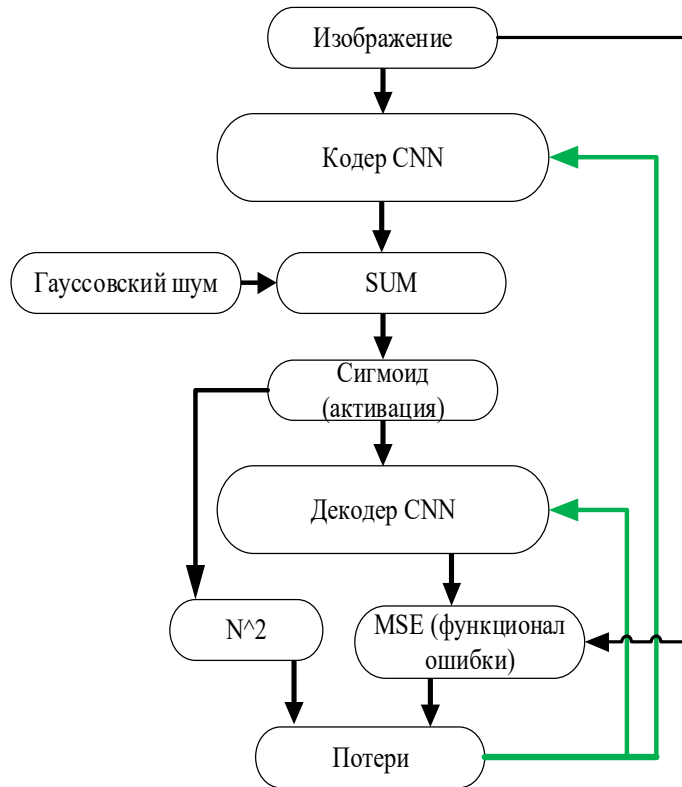


Рис. 2. Архитектура обучения CNN с добавлением гауссовского шума

Мы представили архитектуру свёрточных нейронных сетей для JPEG изображений, предложили стратегию обучения сети, адаптируемую к другим типам изображений, а также показали возможность уменьшить потери в изображениях, вызванные гауссовским шумом.

На практике CNN-JPEG показывает на 24% более высокое среднее PSNR (пиковое соотношение сигнал / шум) и на 31% выше среднего SSIM (индекс структурной симметричности) по сравнению со стандартным JPEG для набора данных, собранных в программе космических испытаний - миссия Хьюстон 5 на борту Международной космической станции.

В качестве второго алгоритма предлагаем адаптивную структуру сжатия изображений на основе JPEG, который использует обнаружение ориентированных точек Oriented FAST и Rotated BRIEF [9] для адаптивной настройки степени сжатия. Чтобы динамически регулировать искажение скорости на основе содержимого функции, коэффициент качества JPEG регулируется на основе линейной зависимости с количеством характерных точек. Это адаптивное сжатие обеспечивает компромисс между PSNR / SSIM и объединенным размером файла для пакета изображений по сравнению со сжатием со статическим коэффициентом качества JPEG.

Библиографический список

1. Курагин А.В., Колесенков А.Н. Перспективы развития кластеров малых космических аппаратов // Тезисы докладов Седьмой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. С. 12-13.
2. Z. Wang, A. C. Bovik, and L. Lu, «Why is image quality assessment so difficult?» in IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process., 2002
3. S. Souders, «HTTP Archive - Interesting Stats», 2016. [Online]. Available: <http://httparchive.org/interesting.php>.
4. Курагин А.В., Колесенков А.Н. Обзор перспективных методов обработки данных наблюдения земли // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 7–8 ноября 2019 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – В 6 т.; Т. 4. – Казань: изд-во ИП Сагеева А.Р., 2019. С.111.-114.
5. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети. учебник для ВУЗов – СПб: издательство «Лань СПб», 2019.- 216 с.
6. Курагин А.В. , Колесенков А.Н., Таганов А.И. Стратегическая дорожная карта для передовых космических вычислений // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (VI Козловские чтения), том 1; под общ. ред. Р.Н. Ахметова. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2019. С.224-225.
7. Воропаева Н. В. Дискретное преобразование Фурье в обработке сигналов. учеб. пособие / Н. В. Воропаева, С. Я. Новиков, М. Е. Федина. — Самара : Изд-во «Самарский университет», 2015. — 48 с.
8. Kartik Audhkhshi, Osonde Osoba, Bart Kosko, «Noise-enhanced convolutional neural networks», 2015.
9. Ивашечкин А. П., Василенко А. Ю., Гончаров Б. Д. Методы нахождения особых точек изображения и их дескрипторов // Молодой ученый. — 2016. — №15. — С. 138-140.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Н.В. Макарова, А.И. Таганов, М.И. Цыцына

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы применения современных моделей и методов для оценивания качества и функциональной надежности программных средств информационных систем на этапе их проектирования.

Ключевые слова: программные средства, метрики качества, показатели функциональной надежности, модели анализа надежности.

EVALUATING QUALITY AND FUNCTIONAL RELIABILITY SOFTWARE TOOLS FOR INFORMATION SYSTEMS

N.V. Makarova, A.I. Taganov, M.I. Tsitsina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, alxtag@yandex.ru*

The summary. The paper deals with the application of modern models and methods for evaluating the quality and functional reliability of information systems software at the stage of their design.

Keywords: software tools, quality metrics, functional reliability indicators, reliability analysis models.

В современных условиях рынка вопросам обеспечения качества и функциональной надежности корпоративных информационных систем (ИС) придается все большее значение по причине высокой конкуренции. При этом качество программных средств (ПС) информационных систем формируется по всем стадиям его создания на основе использования современных информационных технологий, инженерных методов, средств автоматизации и соблюдения необходимых рекомендаций и требований международных, государственных и корпоративных стандартов [1-5]. Современные инженерные методы создания программного

обеспечения ИС ориентированы на повышение качества ПО, для достижения которого к настоящему времени сформировались эффективные методы определения требований к качеству, подходы к выбору и усовершенствованию моделей метрического анализа показателей качества, методы количественного измерения показателей качества на этапах жизненного цикла. Однако исследования вопросов обеспечения функциональной надежности программных средств в составе вопросов обеспечения качества информационных систем еще полностью не завершены и в этом направлении специалисты активно работают.

Подход к расчету надежности функциональных структур

В работе рассматривается подход к построению формализованного подхода, нацеленного на решение задачи формализации и автоматизации процесса оценивания качества и функциональной надежности программных средств информационных систем по стадиям их жизненного цикла. При этом под качеством ПО понимается совокупность свойств, определяющих полезность программы для пользователей в соответствии с функциональным назначением и предъявленными требованиями. В дополнение к известному понятию качества под функциональной надежностью ПО понимается совокупность свойств, которые определяют способность программного обеспечения с приемлемым уровнем безошибочности правильно преобразовывать исходные данные в результаты при данных условиях, сохраняя выходные результаты в допустимых пределах.

Практика показала, что система показателей качества и функциональной надежности ПО информационных систем должна отвечать ряду требований [1, 6]:

1. Каждый показатель качества и функциональной надежности должен быть измерим.
2. Каждый показатель качества и функциональной надежности должен допускать возможность экспериментальной проверки.
3. Вся система выбранных показателей качества и функциональной надежности должна отражать дискретность случайных процессов.
4. Показатели функциональной надежности должны быть привязаны к единой количественной мере.
5. Система показателей качества и функциональной надежности должна обладать свойством гибкости для обеспечения свертывания модулей расчета по уровням иерархии системы.
6. Система показателей качества и функциональной надежности должна содержать как единичные, так и комплексные показатели и др.

В дополнение к указанным требованиям к построению системы показателей качества и функциональной надежности ПО следует также отметить ряд принципов, которыми надо руководствоваться при формировании необходимой для программной инженерии системы показателей качества и функциональной надежности [1-6]. К этим принципам можно отнести:

1. Принцип соответствия структуры алгоритма расчета структуре алгоритма функционирования исследуемой ИС при выполнении каждой функции.
2. Принцип выделения в алгоритме расчета иерархических уровней, объединенных в иерархическую структуру.
3. Принцип совмещения пространства состояний и пространства событий исследуемого процесса.
4. Принцип разделения структур ИС на иерархически упорядоченные множества функциональных структур и частей. Здесь функциональная часть (ФЧ) представляет материальный объект определенного функционального назначения, а функциональная структура (ФС) представляет материальное воплощение определенного информационного процесса путем формирования совокупности множеств ФЧ, объединенных согласно алгоритму данного процесса.

На основе указанных требований и принципов можно утверждать, что представленная в международных стандартах в области качества [3-5] многоуровневая модель качества может являться информационной основой для разработки необходимых средств автоматизации с целью обеспечения эффективной поддержки процесса оценивания качества и функциональной надежности по стадиям жизненного цикла разрабатываемого программного обеспечения информационных систем. В многоуровневой модели качества на первом уровне располагаются такие характеристики качества ПО как: функциональные возможности, функциональная надежность, удобство применения, эффективность, сопровождаемость, переносимость. Второму уровню соответствуют атрибуты для каждой характеристики качества, которые детализируют разные аспекты каждой характеристики. Третий уровень модели предназначен для измерения качества с помощью метрик, каждая из которых определяется как комбинация между измерением атрибута и шкалы измерения значений атрибутов. Четвертый уровень модели качества ПО содержит оценочные элементы метрик, которые используются для оценки количественного или качественного значения каждого отдельного атрибута качества программного обеспечения.

При этом, при формализации задачи расчета надежности, модель функциональной надежности информационных систем является предметом проводимых здесь исследований. Согласно определению, приведенному в официальных документах, функциональная надежность представляет собой совокупность свойств, которые определяют способность ПО с заданным уровнем безошибочности правильно преобразовывать исходные данные в необходимые результаты. К атрибутам функциональной надежности ПО относятся: безошибочность, правильность, защищенность, контролируемость, устойчивость к ошибкам, безотказность, пригодность к восстановлению и готовность.

Для формализации процесса оценивания функциональной надежности ПО целесообразно все множество известных моделей разделить на группы по их назначению и способу построения [1, 6, 7]. По назначению все модели надежности ПО можно подразделить на прогнозирующие, оценочные и измерительные. Прогнозирующие модели надежности основываются на определении технических характеристик создаваемой программы, и по способу построения обычно являются эмпирическими. Оценочные модели надежности основываются на серии тестовых прогонов и проводятся на этапах тестирования ПО. Измерительные модели надежности предназначены для измерения надежности ПО в процессе его сопровождения в составе информационной системы. Эти модели основываются на статистических данных, полученных в результате множества прогонов программы.

Вышеизложенные принципы, требования и рассмотренные в литературе особенности решения задач расчета безошибочности работы ФС, основанные на известных подходах [1, 6-8], принятых в задачах оценки сложности алгоритмов и расчета времени их реализации на вычислительных средствах, позволяют построить необходимый алгоритм расчета надежности функциональных структур.

Алгоритм расчета надежности функциональных структур

Предлагаемый здесь алгоритм расчета надежности ФС основывается на том, что оцениваемые функциональные структуры, независимо от конкретного содержания входящих в них операций, имеют общие алгоритмические свойства. Каждая ФС имеет начало и конец, причем переход из начального состояния в конечное состояние вычислительного процесса осуществляется за конечное число шагов. При этом модели вычислительных процессов могут описываться взвешенными графами, в которых характеристики переходов могут задаваться на основе статистических данных или экспертным способом [6-8].

Для представления модели ФС введем в рассмотрение конечный ориентированный граф $G(X, \Gamma)$ с взвешенными дугами, отождествляемый с поглощающим случайным вычисли-

тельным процессом, к которому сводится модель процесса. Специфика объекта моделирования позволяет определить основные свойства взвешенного графа процесса следующим образом:

- вершины графа (X – множество вершин) соответствуют событиям, отождествляемым с началом и окончаниями выполнения операций, входящих в процесс;
- дуги графа (Γ – множество дуг) отождествляются с выполняемыми операциями процесса;
- веса дуг соответствуют характеристикам функциональной надежности вычислительного процесса;
- веса дуг предполагаются независимыми;
- вершины графа имеют выход типа "исключающее ИЛИ";
- множество вершин X представляется в виде $X = x_0 \cup \pi \cup A$,

где x_0 – входная вершина, соответствующая принятию решения о начале выполнения процесса (если граф имеет несколько входных вершин, то вершина x_0 является фиктивной);

A – множество поглощающих (выходных) вершин, каждая из которых характеризует завершение процесса с различными исходами;

π – множество промежуточных (переходных) вершин, которые находятся между входной и поглощающими вершинами;

- граф $G(X, \Gamma)$ может иметь петли и замкнутые контуры соответствующие циклически повторяющимся совокупностям операций.

Задача расчета надежности ФС, моделируемой взвешенным графом $G(X, \Gamma)$, сводится к укрупнению этого графа и анализу надежности, т.е. к преобразованию типа:

$$G(X, \tilde{A}) \longrightarrow G(X^*, \tilde{A}^*),$$

где $G(X^*, \tilde{A}^*)$ – укрупненный граф, в котором промежуточные вершины отсутствуют, т.е. $X = x_0 \cup A$, $\pi = \emptyset$, а веса дуг, направленных из вершины x_0 в вершины множества A , представляются в виде функциональных зависимостей от весов дуг исходного графа $G(X, \Gamma)$, что позволяет вычислить значения надежности ФС, связанные с переходами из x_0 в A .

При укрупнении графа $G(X, \Gamma)$ должны применяться специальные правила эквивалентных преобразований для последовательных дуг, параллельных дуг и дуг-петель. В качестве формализованного представления таких правил укрупнения указанного графа могут быть использованы алгоритмические подходы и практико-ориентированные методы и алгоритмы, представленные для задач анализа надежности алгоритмических процессов [7] и функциональной надежности информационных систем [6]. Подобные модели и алгоритмы преобразования графовых моделей рассмотрены также для решения задачи анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости [8-10] и при соответствующей их модификации также могут быть использованы для решения задачи оценивания качества и функциональной надежности программных средств информационных систем. Отсюда можно сделать вывод, что построение алгоритма расчета надежности функциональных структур информационных систем является фактически решаемой задачей на основе использования существующего опыта решения подобных задач.

Библиографический список

1. Липаев В.В. Надежность программных средств / Липаев В. В. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
2. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению.
4. ГОСТ 2895-89. Оценка качества программных средств. Общие положения.

5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 16326-2002. Программная инженерия. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207.
6. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 216 с.
7. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.
8. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 168 с.
9. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. № 11. С. 115-118.
10. Таганов А.И. Методы идентификации, анализа и сокращения проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости // Информационные технологии. 2011. № 9. С. 22-27.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.И. Таганов, М.И. Цыцына

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются современные практико-ориентированные методы анализа и прогнозирования структурной надежности информационных систем на этапе их проектирования с использованием методов IDEF и CASE-технологий.

Ключевые слова: информационная система, показатели надежности, структурная надежность, методы анализа надежности, прогнозирование надежности.

METHODS FOR ANALYZING AND PREDICTING STRUCTURAL RELIABILITY OF INFORMATION SYSTEMS AT THE DESIGN STAGE

A.I. Taganov, M.I. Tsitsina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, alxtag@yandex.ru*

The summary. The paper considers modern practice-oriented methods for analyzing and predicting the structural reliability of information systems at the stage of their design using the methods of IDEF and CASE-technologies.

Keywords: information system, reliability indicators, structural reliability, reliability analysis methods, reliability forecasting.

Современные интегрированные информационные системы (ИС), предназначенные для поддержки жизненного цикла высокотехнологичной продукции в CALS, имеют достаточно сложную и многоуровневую структуру построения, которая включает в свой состав многофункциональные программно-аппаратные комплексы, осуществляющие сбор, преобразование, накопление, обработку, передачу информации, а также управление подчиненными объектами [1-3, 8]. В процессе создания таких сложных ИС используется целый комплекс современных моделей, методов, инструментальных средств и инженерных методик, ориентированных на решение широкого перечня задач, и в том числе задач на этапе структурного проектирования, связанных с построением алгоритмов, программ и систем, с определением составляющих систему компонент и выделением связей между ними, осуществлением декомпозиции сложных задач (объектов, систем) на относительно независимые друг от друга подзадачи (части, подсистемы) и др. При многоэтапном итерационном проектировании та-

ких сложных ИС широко применяются современные методы программной инженерии и информационных технологий, таких как, хорошо известные методы IDEF и поддерживающие их CASE-технологии и CASE-средства [1, 3].

Современные CASE-технологии существенно ускоряют и повышают качество проектных работ, позволяют специалистам проанализировать в проекте большее количество структурных вариантов построения сложных ИС с целью выбора лучшего варианта. Так в составе современных CASE-средств на этапе структурного проектирования ИС поддерживается процесс функционально-стоимостного анализа (АВС) бизнес-процессов, который по стоимостным и временным критериям позволяет специалистам более обоснованно подойти к решению проблемы выбора наиболее рациональной структуры построения разрабатываемой информационной системы [1-3, 7].

Следуя примеру применения методологии АВС, можно утверждать, что для достижения высокой надежности функционирования интегрированных ИС необходимо в составе функций современных CASE-технологий иметь соответствующие модели, методы и средства автоматизации решения задач, связанных с анализом и прогнозированием структурной надежности альтернативных вариантов системного построения ИС с целью выбора лучшего варианта. При этом согласно теории систем понятие варианта структуры отражает наиболее существенные взаимоотношения между элементами и их группами (подсистемами), которые мало меняются при изменениях в системе и обеспечивают существование системы и ее основных свойств. В этом контексте можно считать, что на ранних этапах проектирования задачами структурной надежности является обеспечение надежного фундамента и способности сложной информационной системы выполнять предусмотренные функции в реальных условиях работы и технического обслуживания.

Вследствие важности задач структурного проектирования в статье приводятся результаты обзора моделей, методов и алгоритмов анализа и прогнозирования структурной надежности применительно к объектам информационных систем. Структурная надежность ИС рассматривается здесь как классическая надежность, в рамках которой решались и в настоящее время решаются задачи обеспечения надежного фундамента для функционирования систем. Основная особенность задач анализа и прогнозирования структурной надежности состоит в сложности структур интегрированных информационных систем, что приводит к большой размерности моделей анализа надежности.

Процедура анализа и прогнозирования структурной надежности ИС

Современная процедура процесса анализа и прогнозирования структурной надежности ИС, рассматриваемая на основе существующего инженерного опыта, экспериментальных исследований и положений различных стандартов, в общем случае может включать следующие основные шаги и задачи [2, 4, 8]:

1) Определение исследуемой ИС, функциональных связей, условий и режимов ее функционирования, включая все интерфейсы и процессы.

2) Определение всех требований к проекту ИС и целей обеспечения структурной надежности и работоспособности ИС, режимов ее эксплуатации, особенностей и характеристик системы, а также условий окружающей среды и требований по обслуживанию. Формулировка признаков отказа (сбоя) системы, признаков и критериев отказов, связанных с функциональной спецификацией ИС и условиями применения.

3) Упорядочивание и распределение требований проекта ИС и целей обеспечения структурной надежности по подсистемам, определенным на системной стадии проекта.

4) Анализ проекта информационной системы на основе методов надежности и соответствующих данных эффективности. Здесь анализ структурной надежности системы должен разделяться на задачи качественного анализа и задачи количественного анализа надежности. При этом качественный анализ должен содержать: исследование функциональной

структуры ИС, анализ механизмов отказов, определение причин неисправностей и механизмов морального старения, определение перечня возможных методов диагностики неисправностей и др. В свою очередь количественный анализ надежности должен включать: разработку моделей структурной надежности и числовых оценок показателей структурной надежности; проведение анализа характеристик критичности и чувствительности.

5) Прогнозирование и анализ выполнения заявленных целей и требований структурной надежности для рассматриваемого проекта, содержащее решение задач по оценке структурной надежности ИС по этапам жизненного цикла программного проекта.

Показатели структурной надежности информационных систем

Основными факторами и рекомендациями выбора показателей надежности объектов ИС могут являться [2, 8]: минимальное число показателей надежности; наглядность и удобство в практическом применении; простой физический смысл показателей; возможность проведения на этапе проектирования доказательных оценок; задание показателей надежности в количественной форме; должны учитываться условия применения информационных систем.

Применяемые в проектной практике показатели структурной надежности в зависимости от класса типовых систем (объектов) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели структурной надежности информационных систем

Класс системы	$P(t)$	$\alpha(t)$	$\lambda(t)$	$\omega(t)$	T_{cp}	T_0
1	-	-	-	+	-	-
2	+	+	+	+	+	+
3	+	+	+	-	+	-
Класс системы	$Q_B(t)$	$\alpha_B(t)$	$\mu(t)$	T_B	K_r	$K_{ог}$
1	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+
3	-	-	-	-	-	-

В таблице использованы обозначения: «1» – сложные стационарные системы непрерывного использования с восстановлением отказов; «2» – бортовые системы многоразового использования; «3» – бортовые системы одноразового использования; «+» - рекомендуемые к использованию показатели надежности; «-» - не рекомендуемые показатели; $P(t)$ - вероятность безотказной работы; $Q(t)$ - вероятность отказа; $\alpha(t)$ - частота отказов; $\lambda(t)$ - интенсивность отказов; T_{cp} - математическое ожидание времени наработки до отказа; $Q_B(t)$ - вероятность восстановления; $\alpha_B(t)$ - частота восстановления; $\mu(t)$ - интенсивность восстановления; T_B - среднее время восстановления; $\omega(t)$ - параметр потока отказов; T_0 - средняя наработка на отказ; K_r - коэффициент готовности; $K_{ог}$ - коэффициент оперативной готовности.

Методы анализа и прогнозирования структурной надежности ИС

Современная теория и практика теории надежности разделяет методы анализа надежности на основные методы и технические методы анализа надежности [2, 4-10]. К основным методам анализа надежности относятся: анализ структурной схемы надежности; прогнозирование интенсивности отказов; марковский анализ; анализ дерева событий; анализ сети Петри; анализ режимов и последствий отказов FMEA; анализ человеческого фактора; исследование HAZOR; анализ прочности и напряжений; статистические методы надежности и др. К техническим методам анализа надежности относятся: исследование ремонтпригодности; анализ паразитных контуров схемы; анализ наихудшего случая; имитационное моделирование отклонений; разработка программного обеспечения по надежности; анализ конечных

элементов; ограничение допустимых значений и выбор частей; анализ Парето; диаграмма причин и следствий; анализ отчета об отказах и система корректирующих действий. Также для анализа надежности используются модифицированные методы: анализ причин/следствий - комбинация ЕТА и FTA; динамический FTA - расширение FTA, когда некоторые события представляются при помощи марковских моделей; функциональный анализ отказов - специальный вид FMEA; двоичные диаграммы решений, используемые главным образом для эффективного построения дерева неисправностей.

На практике выбор адекватного метода анализа и прогнозирования структурной надежности выполняется, как правило, на ранних этапах разработки соответствующего класса проекта ИС и при этом, каждый метод исследуется на применимость согласно следующих критериев: сложность системы и новизна системы; качественный или количественный анализ; единичные или многократные неисправности и отказы; распределение требований надежности; квалификация исполнителя; работоспособность инструментальных средств и др. Однако ни один из указанных методов анализа надежности не решает всех задач для всестороннего анализа надежности реально используемых систем в CALS-технологиях.

Для проведения анализа структурной надежности сложных или многофункциональных ИС, как показывает практика, необходимо применять несколько методов анализа. При этом использование обоснованных комбинаций нисходящего и восходящего методов анализа может быть эффективным и позволяет обеспечить полноту анализа надежности. Так для анализа архитектуры информационной системы и распределения показателей надежности наиболее рациональными на практике являются следующие восходящие методы [4]: анализ дерева событий (ЕТА); анализ видов и последствий отказов (FMEA), исследование опасности и удобства использования (HAZOP). Среди нисходящих методов это: анализ дерева неисправностей (FTA); марковский анализ; анализ сети Петри; таблица истинности (анализ функциональной структуры); анализ структурной схемы надежности (RBD). Среди указанного перечня перспективных методов анализа надежности на основе проведенного анализа по критерию эффективности и программной реализуемости предпочтение отдано следующим методам: методу анализа структурной схемы надежности [5]; методу разработки надежности программного обеспечения [2]; методу моделирования и анализа надежности алгоритмических процессов [7, 9] и марковский анализ [6]. Основные характеристики указанных методов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Методы анализа и прогнозирования структурной надежности ИС

Метод анализа надежности	Цель применения	Достоинства	Ограничения
Анализ структурной схемы надежности	Метод применяют на стадии определения концепции системы для разработки структурной схемы надежности системы; является графическим изображением представления логической схемы системы через подсистемы и/или компоненты и позволяет изобразить пути успеха работоспособности системы в виде логических связей подсистем/компонентов.	Структурную схему надежности создают непосредственно по функциональной диаграмме системы; метод пригоден для многих типов структурной конфигурации системы; пригоден для полного анализа вариантов при изменении параметров эффективности системы; метод позволяет строить необходимые модели для оценки вероятностных характеристик надежности и работоспособности системы.	Метод не позволяет проводить полный анализ неисправностей; требует построения вероятностной модели для каждого элемента диаграммы; направлен прежде всего на анализ работоспособности системы и не распространяется на общий анализ работоспособности системы.

Продолжение таблицы 2

Разработка надежности программного обеспечения	Применяют для прогнозирования надежности программного обеспечения на основе статистических методов; для определения формы функции интенсивности отказов и оценки ее параметров по наблюдаемым данным; применяют в процессе испытаний при принятии решения о прекращении испытаний (решение, что критерий приемки выполнен) или для прогнозирования надежности при эксплуатации.	Программное обеспечение может быть рассмотрено при прогнозировании надежности; цели и критерии испытаний могут быть определены и проконтролированы.	У метода отсутствует подход для выбора функций интенсивности отказов; сложный сбор и подготовка данных о надежности программного обеспечения.
Марковский анализ	Марковский анализ применяют для оценки надежности функционально сложных систем со сложными стратегиями ремонта и технического обслуживания; представление поведения системы с помощью марковской модели требует определения всех возможных состояний системы предположительно изображенных на диаграмме состояний и переходов; должны быть определены (постоянные) интенсивности перехода из одного состояния в другое (интенсивности отказа или ремонта, интенсивности события и т.д.).	Обеспечивает гибкую вероятностную модель для анализа поведения системы; может быть адаптирован к сложным избыточным конфигурациям, сложной стратегии технического обслуживания, сложным моделям обработки неисправностей (неустойчивые неисправности, скрытые неисправности, реконфигурации), деградиционным режимам работы и общим причинам отказов; дает вероятностные решения для модулей, которые будут использованы в других методах, таких как методы структурной схемы надежности и дерева неисправностей; позволяет точно моделировать последовательность событий определенного вида или порядка появления.	Зависит от количества компонентов системы, и количество состояний экспоненциально возрастает; модель требует соответствующего программного обеспечения для анализа; показатели средней наработки на отказ и средней наработки до отказа, не могут быть получены на основе марковской модели.
Моделирование и анализ надежности алгоритмических процессов	Метод применяется для структурной оптимизации алгоритмических процессов, под которыми понимается развернутая во времени последовательность действий, операций или работ, выполнение которых обеспечивает достижение цели; типичными представителями алгоритмических процессов являются процессы функционирования, процессы автоматизированной обработки информации.	Обеспечивает моделирование надежности многомерных алгоритмических процессов (анализ ошибок разных типов, моделирование надежности операторов, логических условий, алгоритмических структур, моделирование надежности в условиях нечеткости).	Метод требует трудоемкой адаптации для решения типовых задач анализа и прогнозирования структурной надежности информационных систем на этапе их структурного проектирования; предъявляются высокие требования к профессиональной и математической подготовке специалистов для применения этого метода при оптимизации алгоритмических структур ИС.

Рассмотренные в работе современные практико-ориентированные методы анализа и прогнозирования структурной надежности информационных систем на этапе их проектирования позволяют сделать конструктивные выводы о важности и целесообразности разработки необходимых программных средств автоматизации проектной деятельности и расширения функциональных возможностей современных CASE-технологий на основе формализации и автоматизации решения задач структурного проектирования сложных информационных систем и анализа их структурной надежности.

Библиографический список

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
2. Липаев В.В. Надежность программных средств / Липаев В. В. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
3. Маклаков С.В. Создание информационных систем с ALLFusion Modeling Suite. – М.: Диалог – МИФИ, 2003. – 432 с.
4. ГОСТ Р 51901.5-2005 Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
5. ГОСТ Р 51901.14-2005 Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности.
6. ГОСТ Р 51901.15-2005 Менеджмент риска. Применение марковских методов.
7. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 168 с.
8. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 216 с.
9. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.
10. Таганов А.И., Жуков Д.А., Псолянц В.Г. Математическая формулировка задач контроля и сокращения проектных рисков малых космических аппаратов формата CubeSat // Научно-технический журнал «Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета». - Рязань, 2014. № 4 (выпуск 50). Часть 1. С. 77-83.

УДК 520.8 ГРНТИ 41.51.41

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ.

И.В. Бодрова, Д.И. Симонов, О.А. Бодров

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dimboxu@gmail.com

Аннотация. Фундаментальным направлением в исследовании процессов, происходящих в околоземном пространстве (ОКП), является контроль степени засоренности ОКП и разработка новых методов регистрации объектов космического мусора, определение их физических и оптических характеристик, а также поиск решения глобальной проблемы очистки околоземных орбит. Проведен анализ существующих математических моделей для расчета оптических параметров покрытий космических объектов и представлены возможности создания информационной системы автоматической регистрации этих параметров.

Ключевые слова: фотометрические методы, математическая модель, параметры Стокса, информационная система.

MATHEMATICAL MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM OF AUTOMATIC REGISTRATION OF OPTICAL PARAMETERS FOR COVERING OBJECTS

I.V. Bodrova, D.I. Simonov, O.A. Bodrov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina,
Russian Federation, Ryazan, bodrovamilyutina@mail.ru

Abstract. A fundamental direction in the study of processes occurring in near-Earth space is the control of the degree of debris in the spacecraft and the development of new methods for recording space debris, determining their physical and optical characteristics, as well as finding a solution to the global problem of cleaning near-Earth orbits. The existing mathematical models for calculating the optical parameters of the coatings of space objects are presented and the possibilities of creating an information system for the automatic registration of these parameters are presented.

Keywords: photometric methods, mathematical model, Stokes parameters, information system.

Краткая история загрязнения околоземного пространства

Активное освоение космоса началось с 4 октября 1957 года, когда произошел первый космический запуск «Спутника-1». С тех пор совершено около 5500 тысяч запусков в космос, каждый из которых сопровождался выбросом на орбиту Земли неисправных искусственных объектов и их фрагментов – космического мусора. Помимо побочных продуктов запусков, на орбите Земли остаются неисправные спутники и космические аппараты. Таким образом, по подсчетам специалистов космической отрасли, сегодня на орбитах находится 21 тыс. крупных фрагментов космического мусора диаметром больше 10 см, и 500 тыс. диаметром до 10 см, общая масса в околоземном пространстве оценивается в 6300 тонн, скорость полёта отдельных объектов может достигать 56 000 км/час. По данным Европейского космического агентства, 41% космического мусора - обломки, потерянные инструменты, 22% - не функционирующие космические аппараты, 13% - побочные продукты экспериментов и научных проектов, 7% - фрагменты ракет-носителей. На действующие космические аппараты приходится 7% отходов, связанных с освоением космоса человечеством. Таким образом, 93% тел на орбите являются мусором [1].

Такое количество мусора на орбите Земли приводит к следующим проблемам:

- возможность повреждения и вывода из строя действующих космических аппаратов,
- падение обломков на Земную поверхность,
- усложнение расчетов, при запуске космических аппаратов.

Современная наука не позволяет совершать космические запуски без выброса космического мусора и не имеет инструментов для масштабной очистки орбиты Земли.

Таким образом, на первый план выходит проблема регистрации космического мусора, для минимизации наносимого им ущерба и создания «фундамента» для устранения этой проблемы.

Современные средства мониторинга околоземного пространства

В современных условиях, для регистрации объектов необходимо использовать средства мониторинга пространства. Объект мониторинга – космический мусор, астероиды и опасные космические тела – охватывают широкий диапазон орбит и имеет самые различные составляющие, а следовательно только широкий ассортимент средств наблюдения сможет обеспечить необходимую точность регистрации объектов.

К наземным средствам мониторинга относятся радиолокационные и оптические устройства, позволяющие вести наблюдения вплоть до геостационарных орбит.

Наземные радиолокационные станции, работающие в диапазоне от миллиметрового до метрового, осуществляют в настоящее время непрерывный обзор около космического

пространства. Следует отметить, что именно планетные радиолокаторы позволили измерить на низких орбитах концентрацию и распределение частиц с размерами, большими 2 мм. Постоянный контроль частиц космического мусора на низких орбитах осуществляется, главным образом, с помощью РЛС «Nystak» (США) и «Fgan» (Германия) [2].

Оптические средства являются одними из основных средств мониторинга ОКП, позволяющим обнаруживать, сопровождать, распознавать космические тела размерами от 5 см на LEO до 1 м на GEO. Но эффективность использования этих средства напрямую зависит от условий наблюдения [3].

Так же стоит заметить, что получаемая средствами оптических систем информация и информация, полученная вследствие радиолокационного мониторинга, не конкурирует, а дополняет набор данных об ОКП [4].

Для обнаружения объектов так же необходимо решить обратную задачу фотометрии, то есть определить размеры, формы и оптические свойства поверхностей по результатам фотометрических и поляриметрических исследований.

Стоит отметить, что известна информация о составе объектов, которые отправлялись в космическое пространство [5]. Используя эти данные можно определить следующие характеристики объектов:

- пространственные характеристики: ориентация в пространстве, ось вращения, нугации объекта;
- форма и размер объекта;
- структурные характеристики: количество различных компонентов объекта, их взаимное расположение, расстояние между компонентами;
- физические характеристики покрытия объекта: параметры покрытия, показатель преломления материала поверхности объекта, степень изношенности материала покрытия [6].

Математические модели отражения светового пучка

В рамках работы ставилась задача использования существующих и разработки новых математических моделей отражения светового потока от поверхностей космических объектов с учетом поляризации.

Световой пучок, распространяющийся в среде, представляет собой электромагнитное поле. Если рассматривать световую волну в некоторой точке пространства $z=0$ и в момент времени $t=0$, то модельно можно описать световую волну вектором Джонса:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x e^{i\varphi_x} \\ A_y e^{i\varphi_y} \end{pmatrix}.$$

В свою очередь компоненты вектора Стокса являются линейными комбинациями комплексных координат вектора Джонса. Используя эти данные и построив матрицу светового потока, можно вычислить параметры Стокса для двух случаев:

- при отражении от диэлектрической поверхности

$$\vec{S}' = \begin{pmatrix} \frac{J+Q}{2} \\ \frac{J-Q}{2} \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_1|^2 \\ |E_2|^2 \\ 2\operatorname{Re}(E_1 \overline{E_2}) \\ 2\operatorname{Im}(E_1 \overline{E_2}) \end{pmatrix},$$

где $\bar{S} = (J, Q, U, V)^T$ - вектор Стокса, а его компоненты являются действительными.

при отражении от металлической поверхности

$$\begin{pmatrix} J \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{|r_1|^2 + |r_2|^2}{2} & \frac{|r_1|^2 - |r_2|^2}{2} & 0 & 0 \\ \frac{|r_1|^2 - |r_2|^2}{2} & \frac{|r_1|^2 + |r_2|^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \operatorname{Re}(r_1 \bar{r}_2) & -\operatorname{Im}(r_1 \bar{r}_2) \\ 0 & 0 & \operatorname{Im}(r_1 \bar{r}_2) & \operatorname{Re}(r_1 \bar{r}_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_0 \\ Q_0 \\ U_0 \\ V_0 \end{pmatrix},$$

где $\bar{S} = (J, Q, U, V)^T$ - вектор Стокса отраженного излучения,

$\bar{S}_0 = (J_0, Q_0, U_0, V_0)^T$ - вектор Стокса падающего излучения.

Учитывая, что физический смысл параметров Стокса (J – полная интенсивность светового потока, Q – степень поляризации, U – определяет плоскость поляризации, V – степень эллиптичности светового потока), мы косвенно приходим к решению задачи фотометрии.

Регистрация и расчет параметров Стокса фотометрическими методами осуществляется с помощью измерений интенсивности отраженного и поляризованного светового потока на модифицированной оптической установке модуляторного типа, в которой поляризационные приборы расположены между фотоприемником и исследуемым объектом [7].

Операторные матрицы приборов имеют вид:

$$M(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix} \text{ - операторная матрица модулятора.}$$

$$A(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\varphi & \sin 2\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ - операторная матрица анализатора.}$$

$$P = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ - операторная матрица поляризатора.}$$

Тогда общая операторная матрица приборов будет иметь вид:

$$L = P \times A \times M,$$

После прохождения через указанные приборы компоненты вектора Стокса преобразовываются согласно операторному уравнению:

$$\overline{S'} = P \times A \times M \times \overline{S},$$

где $\overline{S'} = (J', Q', U', V')^T$ - вектор Стокса прошедшего через фотометрические приборы светового потока,

$\overline{S} = (J, Q, U, V)^T$ - вектор Стокса отраженного излучения (до прохождения через приборы).

Компоненты вектора Стокса отраженного излучения находились из решения системы линейных уравнений:

$$I_k(\theta_2, \phi_2) = \frac{1}{2} (J + Q \cos 2\varphi_k + U \sin 2\varphi_k \cos \gamma_k + V \sin 2\varphi_k \sin \gamma_k), k = 1, 2, 3, 4$$

4. Постановка задачи создания информационной системы регистрации, сортировки, учета оптических параметров отраженной световой волны

Таким образом, обнаружение космического мусора и расчет оптических поляризационных параметров их покрытий предстает решаемой задачей. Кроме того, применяя алгоритм получения представленных формул, с использованием параметров Стокса, можно создать информационную систему для регистрации объектов в околоземном космическом пространстве. В качестве исходных данных для системы можно взять параметры светового потока, угол между направлением на излучатель и нормалью, угол между направлением на приемник и нормалью. Такой подход может помочь избежать негативных последствий существования космического мусора.

Библиографический список

1. Муртазов, А.К. Использование ПЗС-приемников для мониторинга околоземного пространства и астрономических объектов [Текст] / А.К. Муртазов // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы астрономии». – Одесса, 2007. – С. 29.
2. Муртазов, А.К. Распознавание космического мусора по результатам его оптических наблюдений [Текст] / А.К. Муртазов // Материалы Международной научно-технической конференции «Космическая защита Земли - 2000». – Евпатория, 2000. – С. 84.
3. Дмитриев, А.Л. Оптические системы передачи информации [Текст] / А.Л. Дмитриев – СПбГУ ИТМО, 2007. - 96 с.
4. Romashkin, W. Introduction to Astronomical Photometry using CCDs/ W. Romashkin. – University of Oclohoma, 2006. -175p.
5. Бочкарев, Н.Г. Роль малых и средних телескопов в астрономии [Текст] / Н.Г. Бочкарев // Международный симпозиум «Астрономия 2005 – современное состояние и перспективы развития». Тезисы докладов – М.: Труды ГАИШ, 2005. Т. LXXVIII– С. 29.
6. Коротаев, В.В. Поляризационные приборы [Текст]: учебное пособие / В.В. Коротаев. – СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2012. – 104 с.
7. Еремеев, В.В. Современные направления работ по анализу и повышению качества космических изображений поверхности Земли [Текст] / В.В. Еремеев // Цифровая обработка сигналов – 2012. -№1. – С. 38-44

УДК 528.85; ГРНТИ 89.57.35

АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-РАЗЛОЖЕНИЯ

А.В. Бендарский, О.А. Бодров, А.П. Капранов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,

Российская Федерация, Рязань, retap71@gmail.com

Аннотация. В работе проведен анализ алгоритмов сжатия гиперспектральных аэрокосмических снимков. Приводятся их основные особенности, достоинства и недостатки, а также рассмотрены принципы сжатия информационных сигналов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, сжатие гиперспектральных данных, вейвлет-разложение

ALGORITHMS FOR COMPRESSING HYPERSPECTRAL DATA USING WAVELET DECOMPOSITION

A.V. Bendarskiy, O.A. Bodrov, A.P. Kapranov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,

Russia, Ryazan, retap71@gmail.com

The summary. The paper analyzes the compression algorithms of hyperspectral aerospace images. Their main features, advantages and disadvantages are given, and the principles of information signal compression are considered.

Keywords: remote sensing, hyperspectral data compression, wavelet decomposition.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) представляет собой наблюдение поверхности Земли с использованием авиационных и космических средств, которые оснащены различными типами съемочной аппаратуры для получения информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры. У бортовой системы аппаратов, производящих съемку, имеется функция предварительной обработки полученных данных и дальнейшая передача на станцию приема данных ДЗЗ. Основными потребителями подобных данных являются:

- 1) метеорология;
 - 2) лесное и сельское хозяйство;
 - 3) мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- и другие.

Существует два принципа работы съемочной аппаратуры – мультиспектральные (в снимках спектр распределен неравномерно) и гиперспектральные (в снимках имеется непрерывный диапазон спектра с шагом фиксированной длины). В данный момент в области аэрокосмического мониторинга особенно развивается оборудование для гиперспектральной съемки и соответственно методы обработки подобных данных. Это связано с большими возможностями для дешифрования и интерпретации исходя из непрерывных спектров, которые могут дать гиперспектральные снимки, в отличие от мультиспектральных. Однако существуют сложности с обработкой и передачей гиперспектральных снимков исходя из их объема. Например, одним из основных космических аппаратов, используемых для получения гиперспектральных изображений, используемых в РФ, является космический аппарат (КА) «Ресурс-П». Его гиперспектральная аппаратура имеет следующие характеристики:

- размер сцены вдоль трассы (L_1) – 25 км;
- размер сцены поперек трассы (L_2) – 25 км;
- радиометрическое разрешение (g) – 14 бит;
- линейное разрешение на местности, соответствующее элементу матричного фотоприемника (Δl) – 25 м;
- число регистрируемых спектральных каналов (b) – 96-255 каналов.

Исходя из данных характеристик можно вычислить информационную производительность гиперспектральной системы. При кадровой съемке объем информации в одной сцене, регистрируемой бортовой гиперспектральной оптико-электронной системой, определяется следующим выражением [1]:

$$I = L_1 L_2 g b / \Delta l^2, \quad (1)$$

где L_1 – разбег сцены вдоль трассы;

L_2 – размер сцены поперек трассы;

g – радиометрическое разрешение;

Δl – линейное разрешение на местности, соответствующее элементу матричного фотоприемника;

b – число регистрируемых спектральных каналов.

Вычислив объем информации в одной сцене для «Ресурс-П», мы получим $I=1.07 - 2$ Гбит. А суммарный суточный поток данных ДЗЗ, формируемый КА оценивается величиной до 0.5 Тбайт и более [2]. Исходя из вышесказанного задача сжатия гиперспектральных изображений является крайне актуальной. Для решения этой задачи существует множество подходов, одним из которых является использование вейвлетов. В данной работе был произведено сравнение основных используемых алгоритмов для сжатия гиперспектральных снимков с использованием вейвлет-разложения. Результаты сравнения и описания алгоритмов и приведены в таблице.

Таблица 1. Сравнение алгоритмов сжатия гиперспектральных изображений

Гиперспектральный алгоритм сжатия	Параметры для сравнения		
	Используемые методы	Основное свойство	Описание
AT-3D-SPIHT (сжатие без потерь \ с потерями)	Пакетное вейвлет-преобразование	Высокий коэффициент сжатия и скорость кодирования	Обладает высокой производительностью из-за использования ассиметричных деревьев и один из универсально эффективных по степени сжатия
3D-SPECK (сжатие без потерь)	Вейвлет-преобразование	Высокий коэффициент сжатия	Эффективнее других алгоритмов сжимает высокочастотную часть изображения
3D-BEZW (сжатие без потерь \ с потерями)	Вейвлет-преобразование	Высокий коэффициент сжатия и скорость кодирования	Сочетает в себе достоинства алгоритмов EZW и SPIHT. Обладает низкой сложностью вычислений и наиболее эффективный по степени сжатия без потерь
Гибридное преобразование (преобразование Карунена-Лоэва (KLT) + дискретное вейвлет-преобразование (DWT)) (сжатие без потерь)	Гибридное использование вейвлет-преобразования и статистического кодирования	Высокий коэффициент сжатия	Низкая сложность кодера и имеет способность исправлять однобитовые ошибки
Блочные операции с использованием графического ядра (GPU) (сжатие с потерями)	Вейвлет-преобразование (Дискретное косинусное преобразование)	Сглаживание искажений и скорость кодирования	Имеет крайне высокую производительность кодера в случае использования специализированного графического ядра

AT-3D-SPIHT

Данный алгоритм также называется методом разбиения множества в иерархических деревьях (Set Partitioning In Hierarchical Trees (SPIHT)) [3]. Этот алгоритм отличается тем, что вне зависимости от этапа декодирования – полученное изображение будет наилучшим относительно объема информации о данном изображении. Кроме того, данный алгоритм использует вложенное кодирование. Данное свойство определяется следующим образом: кодер, который использует вложенное кодирование создает два изображения, которые различаются по размеру и меньшее изображение полностью совпадает битами с большим.

Алгоритм сжатия в данном случае состоит из двух шагов:

- 1) над исходным гиперспектральным изображением выполняется трехмерное дискретное вейвлет-преобразование (3D-DWT). Это преобразование основано на кратномасштабном разложении Маллата [3];
- 2) далее применяется кодер AT-3D-SPIHT, который использует пирамидальную структуру вейвлет-коэффициентов, где существуют значительные корреляции между полосами.

Схема данного алгоритма представлена на рисунке. 1

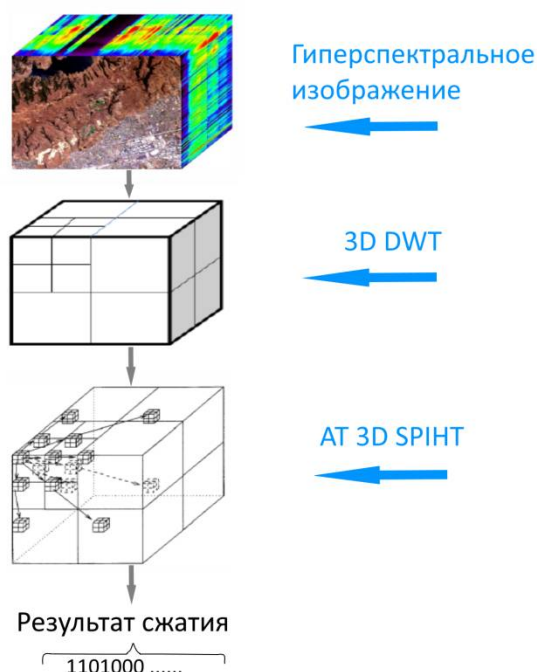


Рис. 1. Алгоритм сжатия AT-3D-SPIHT

3D-SPECK

Данный алгоритм описан в [4] (Set Partitioning Embedded bloCK). Рассматриваемый алгоритм схож с AT-3D-SPIHT, однако в отличие от него использует симметричные вейвлет-деревья. Основным элементом данного алгоритма является использование трехмерного дискретного вейвлет-преобразования, что позволяет полностью использовать межзонную корреляцию в блоках гиперкуба. Основная идея состоит в разбиении гиперкуба на блоки, которые в зависимости от наличия значимых пикселей разбиваются на более меньшие.

Процесс сжатия состоит из 3 этапов: инициализация, сортировка, уточнение. В процессе инициализации происходит трехмерное дискретное вейвлет-преобразование. На этапе сортировки производится разделение вейвлет-коэффициентов на два списка исходя из некоторого порогового значения:

- 1) список незначимых наборов (List of Insignificant Sets);
- 2) список значимых пикселей (List of Significant Pixels).

Данная операция требуется для выявления областей избыточности, которые в последствии можно использовать во время кодирования. Затем происходит уточнение, в процессе которого самый весомый элемент из списка значимых пикселей является результатом. Далее операции сортировки и уточнения повторяются. Затем полученная последовательность данных сжимается.

3D-BEZW

Этот алгоритм использует ассиметричный алгоритм двойного дерева BEZW (Binary Embedded Zerotrees of Wavelet transforms) для сжатия мультиспектральных изображений. Этот алгоритм предложен в [5] и использует целочисленное преобразование Карунена-Лоэва (IKLT) и целочисленное дискретное вейвлет-преобразование (IDWT) для получения трехмерного целочисленного обратимого гибридного преобразования и декорреляции спектральной и пространственной информации. Схема данного метода представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Схема алгоритма 3D-BEZW

Гибридное преобразование

Данный алгоритм описан в [6]. Алгоритм состоит из следующих этапов:

- 1) гиперспектральное изображение разделяется на слои и кластеризуется и делится на фрагменты;
- 2) к кластерам применяется целочисленное преобразование Карунена-Лоэва для получения полос IKLT в спектральной области данного изображения;
- 3) к полученным полосам IKLT применяется целочисленное дискретное вейвлет-преобразование для декорреляции пространственных данных в пространственной плоскости.

Блочные операции с использованием графического процессора

Основным элементом данного алгоритма является двумерное дискретное вейвлет-преобразование. Однако вместо вычислений исключительно на центральном процессоре используется многопоточная обработка и использованием графического и центрального процессора. Преимуществом и одновременно проблемой данного алгоритма является использование специализированного графического процессора, что требует дополнительной доработки алгоритма IDWT, однако сама структура специализированных графических ядер, таких как, например, CUDA показывает большую эффективность чем обычные центральные процессоры.

Заключение

Существует большое разнообразие алгоритмов сжатия гиперспектральных изображений с помощью вейвлет-разложения, однако еще не создано единое алгоритмическое решение данной проблемы, которое было бы универсально применимо. Исследователи в основ-

ном сочетают или модифицируют существующие алгоритмы для наибольшей эффективности исходя из характеристик гиперспектрального снимка. В связи с этим разработка специализированных универсальных алгоритмов сжатия под различные КА является актуальной задачей на данный момент.

Библиографический список

1. Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исследование Земли и космоса. 2014. №1. С.4–16.
2. Schowengerdt R. A. Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing. — N. Y.: Academic Press, 2007. — 558 p
3. Christophe, E., Mailhes C., & Duhamel, P. (Dec. 2008). Hyperspectral image compression: Adapting SPIHT and EZW to anisotropic 3-D wavelet coding. IEEE Transactions on Image Processing, 17(2), 2334- 2346
4. Ngadiran, R., Boussakta, S., Bouridane A., & Syarif, B. (2010). Hyperspectral Image Compression with Modified 3D SPECK. Proceedings of IEEE CSNDSP 2010
5. Cheng K. J., & Dill, J. (Sep. 2014). Lossy to lossless dual-tree BEZW compression for hyperspectral images. IEEE Trans. on GeoScience and Remote Sensing, 52(9), 5765-5770
6. J. M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, 1993, pp. 3445-3462

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ СНИМКОВ НА ОСНОВЕ БАРКОДОВ

Д.Е. Андрианов, С.Е. Еремеев, Ю.А. Ковалёв

*Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых*

Российская Федерация, Владимир, yurko02@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются алгоритмы обработки и анализа снимков на основе баркодов. Описана работа каждого алгоритма, его преимущества и возможности применения.

Ключевые слова: баркоды, персистентная гомология, топология, симплексы.

ALGORITHMS ANALYSIS AND PROCESSING BASED ON BARCODES

D.E. Andrianov, S.V. Eremeev, Y.A. Kovalev

*Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,
Russia, Vladimir, yurko02@mail.ru*

The summary. The paper considers algorithms for processing and analyzing images based on barcodes. The operation of each algorithm, its advantages and application possibilities are described.

Keywords: barcodes, persistent homology, topology, simplexes.

В настоящее время существует множество подходов для обнаружения объектов на цифровых снимках. Однако многие задачи обнаружения объектов до сих пор нуждаются в цифровой обработке, например, выделение зданий, анализ лесных местностей, обнаружение газовых выбросов (бугров) на растровых снимках.

Часто проблема обнаружения и сопоставления объектов на снимках, заключается в том, что алгоритмы учитывают только геометрические особенности объектов, но не учитывают их топологию. Особенно эта проблема актуальная для объектов на снимках за разные временные промежутки, на разных ракурсах съемки и на различных масштабах.

Актуальность работы состоит в том, что в данный момент отсутствует оптимальный алгоритм, который может обнаруживать и сопоставлять объекты на снимках без потери дан-

ных и с учетом топологии объекта, т.к. множество алгоритмов используют геометрические характеристики.

Алгоритм поиска различий у пространственных объектов, изменяемых во времени, на основе Баркода

Он позволит отображать видоизменение пространственных объектов во времени, отслеживать изменения и прогнозировать их дальнейшую эволюцию. Также алгоритм позволяет оценивать временные трудозатраты для анализа и обработки объектов [1].

Рассмотрим баркоды для двух видоизмененных объектов. Баркод первого объекта запишем как

$$B_1 = \{(x_i^1, l_i^1)\},$$

где $i = 1 \dots n$ - номер дыры, n - количество дыр, x_i^1 - это координата начала дыры баркода первого объекта, а l_i^1 - это длина дыры баркода первого объекта [2].

Формула баркода B_2 для второго объекта выглядит следующим образом

$$B_2 = \{(x_j^2, l_j^2)\},$$

где $j = 1 \dots m$ - номер дыры, m - количество дыр, x_j^2 - это координата начала дыры баркода второго объекта, а l_j^2 - это длина дыры баркода второго объекта.

Затем вычисляется разность данных баркодов ΔB по формуле

$$\Delta B = B_2 - B_1 = \{(x_k^\Delta, l_k^\Delta)\},$$

где $k = 1 \dots m$ - номер дыры, m - это дыры, которые имеют различия между первым и вторым баркодом, $x_k^\Delta = (\{x_j^2, x_i^1\})$ - это множество координат первого и второго баркода, если номера дыр не равны $i \neq j$, а $l_k^\Delta = l_j^2 - l_i^1$ - это разница длин дыр у первого и второго баркода.

Данная разность позволяет отобразить видоизменение данных объектов во времени.

Алгоритм идентификации временных эволюций пространственно-распределенных объектов на основе Баркодов

Основу алгоритма составляют методы компьютерной топологии с использованием комплекса Чеха. Он позволит определять объекты при их изменении в разные временные промежутки и на разных масштабах. Алгоритм подробно описывает все случаи расположения линий баркодов относительно друг друга [2].

Пусть $B(X) = \{(x_i^X, l_i^X)\}$, где $i = 1 \dots n$ является номером дыры, а n - количество дыр $B(Y) = \{(x_j^Y, l_j^Y)\}$, где $j = 1 \dots m$ является номером дыры, а m - количество дыр. Это баркоды первого и второго объектов соответственно.

Пусть X, Y - это пространственные объекты состоящие из последовательности точек x, y . $P = X - Y$ является разностью объектов, которые представляют набор координат $p = \{p_1, p_2 \dots p_k\}$, где точка $p_i = (x_i, y_i)$, а $(i = 1 \dots k)$ - это количество точек. Тогда

$$X = \{p_1^X, p_2^X, \dots, p_q^X\} \text{ и } Y = \{p_1^Y, p_2^Y, \dots, p_q^Y\}.$$

Функция f находит значения координат объектов по их баркодам

$$f(x, l) = \{p_{\alpha_1}, p_{\alpha_2}, \dots, p_{\alpha_q}\},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q \in N$, N – это множество натуральных чисел, q – количество точек.

Отсюда можно вычислить множество точек P равное объединению баркодов пространственных объектов

$$P = \bigcup_{i=1}^n (x_i^X, l_i^X) = X, \quad P = \bigcup_{j=1}^m (x_j^Y, l_j^Y) = Y.$$

Алгоритм построения трехмерных баркодов

Построение баркода B происходит по аналогии с 2D баркодами как описано в работе [3]. Баркод объекта $B = \{(x_i, l_i)\}$, где, $i = 1, 2, \dots, n$ – номер дыры, n – количество дыр, x_i – это координата начала дыры баркода объекта, а l_i – это длина дыры баркода объекта.

Отличительной чертой является добавление третьей составляющей в баркод – времени t . С учетом добавленного времени, баркоды за разные промежутки объединяются на каждом радиусе в единую составляющую (происходит объединение начал координат и длины баркодов за все известное время). Это позволит отобразить временную эволюцию объекта в 3D баркоде.

Пусть $B_{3D}^t = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ – это последовательность баркодов одного и того же объекта или пространственной сцены в момент времени $t_1, t_2, \dots, t_n$ соответственно, причем $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ ($n \in N$).

По аналогии определением баркода $B_{3D}^s = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ на разных масштабах является последовательность баркодов одного и того же объекта или пространственной сцены на определенном масштабе $s_1, s_2, \dots, s_n$ соответственно, причем $s_1 < s_2 < \dots < s_n$ ($n \in N$).

Если баркоды рассчитывались для изображений, на которых находится несколько объектов, то трехмерные баркоды можно отобразить в виде матрицы:

$$A(B_{3D}^t) = \begin{bmatrix} B_{1,1}^t & B_{1,2}^t & \dots & B_{1,k}^t \\ B_{2,1}^t & B_{2,2}^t & \dots & B_{2,k}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{n,1}^t & B_{n,2}^t & \dots & B_{n,k}^t \end{bmatrix},$$

где n – количество баркодов объектов, а k – это временные промежутки.

Алгоритм позволяет описывать пространственные характеристики объектов в виде значений, что позволит производить интегрированную обработку и анализ n -мерных объектов.

Анализ трехмерных баркодов позволит описывать 4D (отношения между 3D объектами во времени) и 5D (отношения между 4D объектами на разных масштабах) топологические отношения [4].

Алгоритм сопоставления трехмерных баркодов

Сопоставление трехмерных баркодов позволяет сравнивать одни и те же объекты в различные промежутки времени и на разных масштабах. Это позволяет проследить эволюцию объекта при его неизменной структуре и проводить классификацию объектов [5].

Сопоставление происходит следующим образом:

Существуют эталонные баркоды за определенные промежутки времени. Например, $B_{e,w}^t$ (водоем), $B_{e,b}^t$ (здание) и $B_{e,f}^t$ (лесная местность), где e – признак, что баркод является эталоном, w – водоем, b – здание, а f – лесная местность.

Существует любой баркод B^t , если он соответствует одному из эталонных баркодов B_{ϵ}^t , то объект на изображении относится к определенному классу объектов, например:

$$B^t = \begin{cases} B_{\epsilon,w}^t (\text{водоем}) \\ B_{\epsilon,b}^t (\text{здание}) \\ B_{\epsilon,f}^t (\text{лесная местность}) \end{cases}$$

На рисунке 1 отражены снимки одного и того же водоема за различные промежутки времени. На рисунках 1 (б, в) видно, что объект незначительно менялся и был определен на основе описанного выше алгоритма.

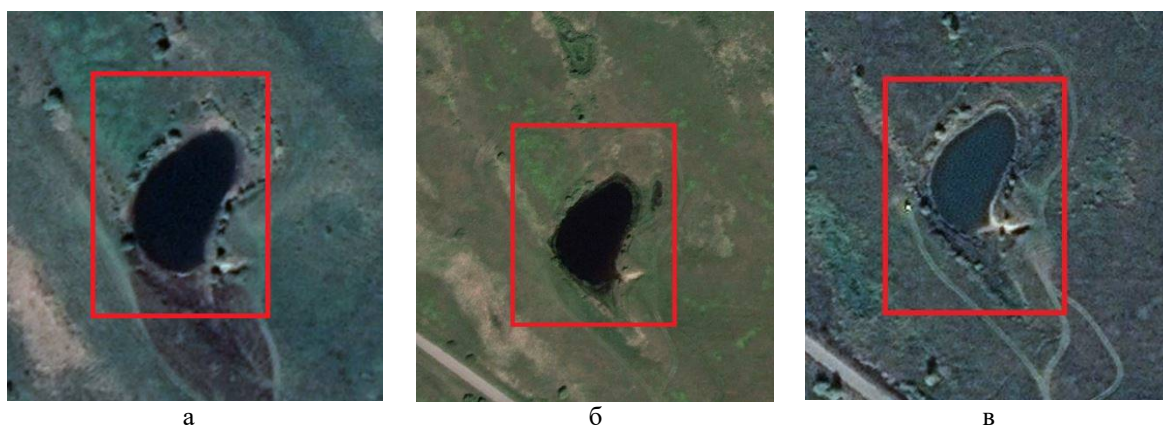


Рис. 1. Эволюция водоема за несколько лет.
(а) – снимок за 2014 год; (б) – снимок за 2016 год; (в) – снимок за 2018 год

Заключение

В работе разработаны алгоритмы анализа, обнаружения и сопоставления трехмерных баркодов за различные промежутки времени и на разных масштабах.

На основе разработанных алгоритмов были проведены эксперименты на различных местностях.

Данные исследования показали, что объекты на снимках находятся с точностью более 93%.

Было произведено сопоставление с использованием трехмерных баркодов, которое позволило сделать вывод, что топология объектов и их баркоды не изменяются во времени и на разных масштабах. Алгоритм сопоставления трехмерных баркодов позволяет уйти от ручной обработки снимков, сократив время их поиска и сопоставления с нескольких часов до нескольких минут.

Данные алгоритмы можно применять для сравнения изменения построек домов, разливов рек, изменения газовых подрывов на Арктических снимках, а также при изменении лесных покровов, например, после пожаров.

Библиографический список

1. Ковалев Ю. А., Еремеев С. В., Андрианов Д. Е. Алгоритм поиска различий у пространственных объектов, изменяемых во времени, на основе Баркода // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2018. Т. 1. С. 481-483.
2. Еремеев С.В., Андрианов Д.Е., Титов В.С. Алгоритм совмещения пространственных объектов разномасштабных карт на основе топологического анализа данных // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 6. – С. 1021-1029.

3. Ковалев Ю. А., Еремеев С. В., Андрианов Д. Е. Алгоритм идентификации временных эволюций пространственно-распределенных объектов на основе Баркодов. // Геоинформатика. 2018. №4. С. 23-29.

4. Andrianov D. E., Eremeev S. V., Kovalev. Y. A. Algorithm for constructing three-dimensional Barcodes to represent nD spatial objects in GIS // CEUR Workshop Proceedings. Data Science. Information Technology and Nanotechnology, 2019, Vol. 2391, pp. 206-210.

5. Ковалёв Ю.А., Еремеев С.В. Анализ временных эволюций nd объектов на основе компьютерной топологии. Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Распознавание - 2018 Сборник материалов XIV международной научно-технической конференции. 2018. С. 139-140.

УДК 629.7.01; ГРНТИ 89.57.21

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНАЛИЗА И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.А. Кашеев

*Филиал АО «РКЦ «Прогресс» - «ОКБ «Спектр»,
Россия, Рязань, alexei_k1@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрена концепция создания системы автоматизированного проектирования анализа и подтверждения целевых показателей космических систем оптико-электронного наблюдения земной поверхности. Приведена архитектура построения комплекса.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, имитационное моделирование, космические системы оптико-электронного наблюдения земной поверхности, космические аппараты.

SYSTEM OF THE COMPUTER AIDED DESIGNED ANALYSIS AND ACKNOWLEDGEMENTS OF THE TARGET FACTORS OF THE COSMIC SYS- TEMS OPTOMETRIST-ELECTRONIC OBSERVATION TO TERRESTRIAL SURFACE

A.A. Kascheev

*The branch of JSC "RCC "Progress" - "OKB "Spektr",
Russia, Ryazan, alexei_k1@mail.ru*

Abstract. In work is considered concept of the making the system of the computer aided designed analysis and acknowledgements of the target factors of the cosmic systems optometrist-electronic observation to terrestrial surface. The Brought architecture of the building of the complex.

Keywords: system computer aided design, simulation modeling, cosmic systems optometrist-electronic observation to terrestrial surface, cosmic devices.

Проектирование и разработка космических систем оптико-электронного наблюдения земной поверхности (КС ОЭН) сопряжено с необходимостью исследования их функционирования под влиянием различных факторов с целью подтверждения соответствия целевых показателей системы требованиям тактико-технического задания. Экспериментальные исследования, обеспечивающие получение исчерпывающей информации о космических аппаратах, во многом не осуществимы на стадии проектирования и сопровождаются значительными затратами материальных и временных ресурсов.

Наиболее практичным вариантом решения проблемы является применение имитационного моделирования на персональных электронно-вычислительных машинах. Однако, математические модели, разработанные до настоящего времени, носят неполный и разрозненный характер, что в свою очередь приводит к невозможности комплексной оценки целевых показателей КС ОЭН с позиции единых принципов системного подхода.

Для решения проблемы в работе предлагается создание системы автоматизированного проектирования анализа и подтверждения целевых показателей КС ОЭН (САПР КС ОЭН).

Архитектура построения САПР КС ОЭН

В основе архитектуры разрабатываемой САПР КС ОЭН лежат следующие прогрессивные принципы [1]:

- *переносимость*. Разрабатываемое программное обеспечение системы позволяет при минимальных изменениях функционировать на аппаратных и программных платформах;
- *модульность*. Каждая программная модель системы рассматривается как отдельный программный комплекс, состоящий из вычислительного компонента и компонента представления, что обеспечивает высокую степень гибкости архитектуры программного обеспечения;
- *системность*. Моделирование осуществляется как совокупность взаимодействующих узлов тракта.

Состав и функциональная схема САПР КС ОЭН приведены на рис.1 и рис.2 [2] соответственно.

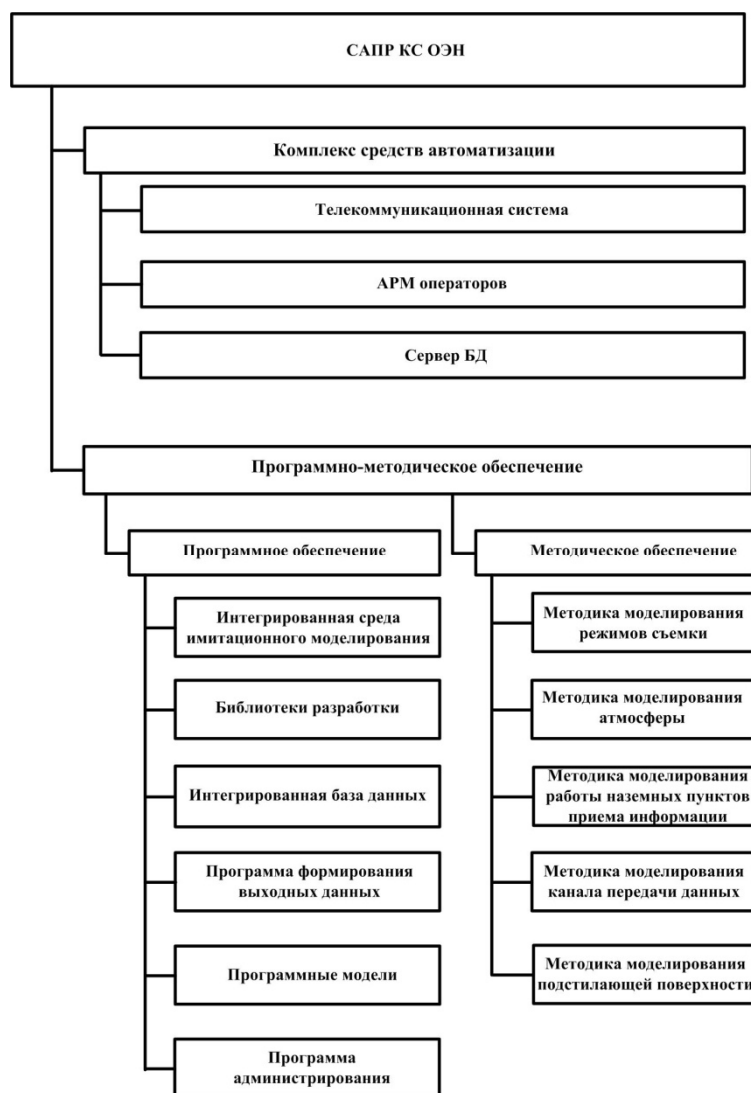


Рис. 1. Структура САПР КС ОЭН

Комплекс средств автоматизации (рис.1) обеспечивает информационное взаимодействие между автоматизированными рабочими местами операторов (АРМ операторов) и сервером базы данных (сервер БД) по телекоммуникационной сети передачи данных.

Программное обеспечение САПР КС ОЭН (рис.1) выполнено по модульному принципу и содержит в своем составе: интегрированную среду имитационного моделирования; библиотеки разработки; интегрированную базу данных; программные модели; программу формирования выходных данных.

Методическое обеспечение (рис.1) содержит в своем составе методики моделирования основных узлов сквозного информационного тракта КС ОЭН (методики моделирования режимов съемки, атмосферы, зон радиовидимости наземных пунктов приема информации, подстилающей поверхности, декоммутации информации и т.д.), в соответствии с которыми разрабатываются программные модели.

Ядром САПР КС ОЭН является интегрированная среда имитационного моделирования (рис.1), разработанная в виде программы самостоятельного применения на языке высокого уровня C++ с применением библиотеки Qt4. Основным назначением среды является управление программными моделями и обеспечение взаимодействия с составными частями системы (рис.2).

Библиотека разработки (рис.2) является ключевым элементом архитектуры системы и содержит в своем составе библиотеки межмодельного взаимодействия и математических функций. Библиотека межмодельного взаимодействия представляет собой набор абстрактных классов, реализующих программные интерфейсы, через которые осуществляется взаимодействие между программными моделями.

Схемы моделирования, а также входные и выходные данные каждого эксперимента, записываются в интегрированную базу данных (рис.2), управление которой осуществляется программой администрирования.

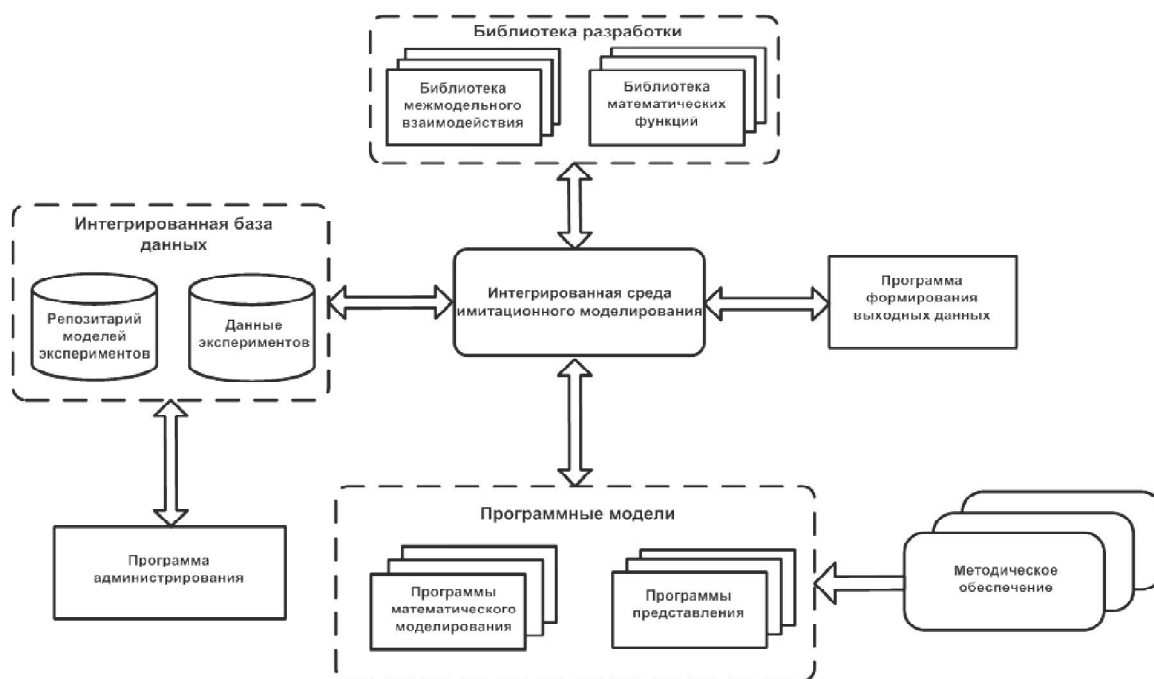


Рис. 2. Схема информационного взаимодействия САПР КС ОЭН

Программа формирования выходных данных (рис. 2) обеспечивает возможность представления результатов моделирования в текстовом виде, графическом виде или на картографической основе.

Библиографический список

1. Кашеев А.А., Ларин С.А., Бутко А.В., Тишкин Р.В. Системный подход к моделированию основных узлов сквозного информационного тракта космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании. Материалы XV Всероссийской научно-

технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязанский государственный радиотехнический университет – 2010 – С. 297-301.

2. Светников О.Г., Кашеев А.А., Кузнецов А.Е., Скимунт В.К., Тишкин Р.В. Принципы построения информационной системы поддержки процессов проектирования информационного тракта космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. // Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли. Материалы научно-технической конференции. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - «НПП «ОПТЭКС» - 2010 – С. 78-80.

УДК 621.391.1; ГРНТИ 47.05.3

ОБЗОР МЕТОДОВ СИНТЕЗА КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

Д.И. Лбов, О.А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dmitrylbov@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются различные виды сложных дискретных сигналов, а также критерии синтеза кодовых последовательностей шумоподобных сигналов. Предложен критерий приближения, позволяющий формировать сигналы с требуемыми корреляционными и спектральными свойствами.

Ключевые слова: псевдослучайная двоичная последовательность, шумоподобный сигнал, М-последовательность, показатели качества, критерии синтеза сложных сигналов.

COMPLEX SIGNAL CODE SEQUENCE SYNTHESIS OVERVIEW

D.I. Lbov O.A. Bodrov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, dmitrylbov@gmail.com*

The summary. The paper discusses various types of complex discrete signals, as well as criteria for synthesizing code sequences of noise-like signals. An approximation criterion, that allows forming signals with the required correlation and spectral properties, is proposed.

Keywords: pseudorandom binary sequence, noise-like signals, maximum length sequence (MLS), complex signal synthesis algorithm, signal synthesis criteria.

Эффективность функционирования различных радиотехнических систем значительным образом зависит от используемых сигналов. В современном мире широкое распространение получили сложные дискретные сигналы, которые также называются шумоподобными. Они используются в радиолокации и системах связи, основанных на стандартах CDMA, W-CDMA, EV-DO. Применение шумоподобных сигналов позволяет устранить противоречия между требованиями одновременного разрешения по дальности и скорости, помехоустойчивости, а также структурной и энергетической скрытности. Сложные дискретные сигналы могут быть представлены в виде последовательности прямоугольных радиоимпульсов одинаковой длительности T , отличающихся друг от друга значениями амплитуд, начальных фаз и частот несущего колебания в зависимости от вида модуляции[1]. При этом различают следующие виды модуляции:

- амплитудная – изменяется a_n , при этом $\varphi_n = const$, $\omega_n = const$;
- фазовая – изменяется φ_n , при этом $a_n = const$, $\omega_n = const$;
- частотная – изменяется ω_n , при этом $a_n = const$, $\varphi_n = const$.

Наибольшее распространение получили фазо- и частотно манипулированные сигналы, структура которых определяется кодовой последовательностью [2]. В связи с этим синтез кодовых последовательностей для фазо- и частотно манипулированных сигналов является достаточно важной задачей. Радиосигналы при данных видах цифровой модуляции имеют вид последовательности прямоугольных радиоимпульсов одинаковой длительности T , отличающихся друг от друга значениями амплитуд, начальных фаз и частот несущего колебания

[1]. В общем виде шумоподобный сигнал можно записать в виде последовательности радиоимпульсов следующим образом

$$u(t) = a_n r_n(t) \cos[(\omega_0 + \omega_n)t + \varphi_n], \quad 0 \leq t \leq NT, \quad (1)$$

где a_n , ω_n , φ_n – амплитуда, частота и фаза колебания;

ω_0 – несущая частота последовательности радиоимпульсов;

N – число символов (длина) кодовой последовательности;

$r_n(t)$ – функция, описывающая огибающую элементарного импульса (как правило, это прямоугольный импульс):

$$r_n(t) = \begin{cases} U, & \text{при } (n-1)T \leq t \leq nT, \\ 0, & \text{при других значениях } t \end{cases}. \quad (2)$$

Качество и эффективность современных радиотехнических систем значительным образом определяется используемыми сигналами и их характеристиками. Так, использование сложных дискретных сигналов позволяет устранить противоречие между требованиями одновременного обеспечения высокой помехоустойчивости, энергетической и структурной скрытности. При этом синтез кодовых последовательностей с требуемыми характеристиками является основной задачей.

Существует несколько известных кодовых последовательностей обладающих хорошими корреляционными свойствами: коды Баркера, М-последовательности, коды Касами, коды Голда, коды Уолша-Адамара [2]. Так коды Баркера обладают минимальным уровнем боковых лепестков автокорреляционной функции (АКФ) $1/N$, где N – длина кода. Всего известно 9 таких последовательностей, однако их длина не позволяет широко применять эти коды. Пример кодовой последовательности Баркера длины 11 и ее АКФ приведен на рисунке 1.

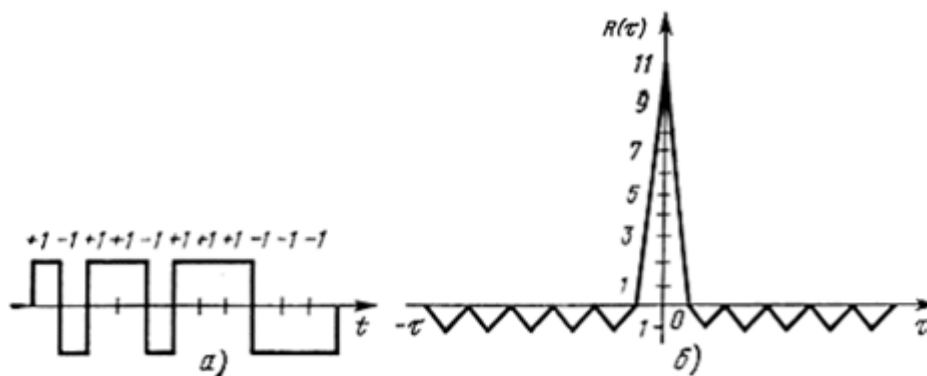


Рис. 1. Код Баркера длины 11 (а), аperiodическая АКФ (б)

Также известны последовательности максимальной длины, или М-последовательности. Уровень боковых пиков АКФ М-последовательности длины N близок к $1/\sqrt{N}$ [2, 3]. Таким образом, увеличение длины N приводит к уменьшению боковых пиков АКФ. М-последовательности состоят из примерно одинакового количества импульсов нескольких разных видов, распределяемых равновероятно. Поэтому М-последовательности, также называемые псевдослучайными, формируются при помощи линейных переключателей на основе сдвигающих регистров. Пример М-последовательности и ее аperiodической АКФ приведен на рисунке 2.

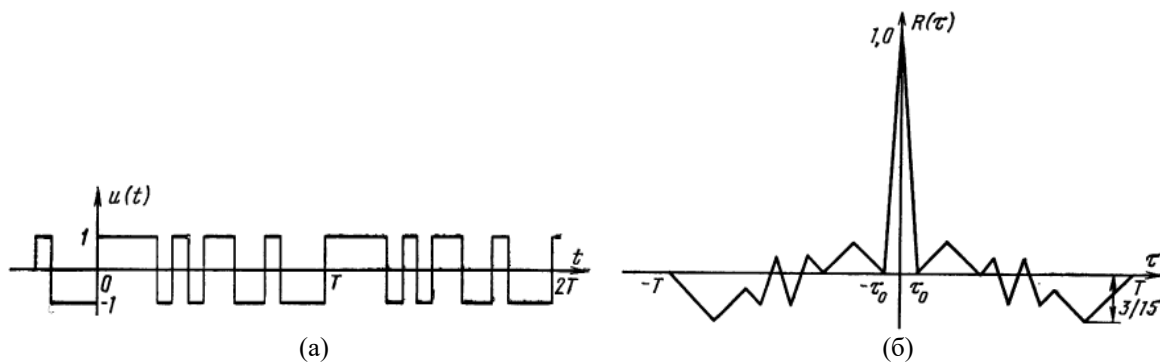


Рис. 2. М-последовательность для $N = 15$ (а), аperiodическая АКФ М-последовательности (б)

Однако не всегда среди существующих сигналов можно выбрать сигналы, полностью удовлетворяющие требованиям. Задача синтеза состоит представляет собой поиск сигналов, соответствующих заданным требованиям. Существующие алгоритмы синтеза кодовых последовательностей сложных дискретных сигналов делятся на две основные группы: алгоритмы, использующие различные знания теории чисел, полей, групп и комбинаторики и алгоритмы, основанные на минимизации различия между характеристиками желаемого и формируемого сигнала. Первая группа алгоритмов имеет большую алгоритмическую сложность, а значит и большие вычислительные затраты. Эффективность же второй группы значительным образом зависит от выбора требуемых характеристик, начального приближения и критерия приближения [2, 4].

Большинство существующих алгоритмов синтеза кодовых последовательностей опирается на один показатель качества, учитывающий корреляционные, либо спектральные свойства. Выходные характеристики радиотехнической системы зависят от формы сигнала, т. е. определяются его корреляционной функцией. Значит вид требуемой корреляционной функции $R_2(t_1, t_2, \dots)$ в области T параметров $(t_1, t_2, \dots)$ может быть определен или задан по этим характеристикам. Синтез сводится к поиску такого сигнала $U(t)$, корреляционная функция которого $R_1(t_1, t_2, \dots)$ наименьшим образом отклоняется от заданной $R_2(t_1, t_2, \dots)$ по принятому критерию. Можно выделить некоторые характерные особенности синтеза сложных дискретных сигналов. Требуемую корреляционную функцию (КФ) $R_2(t_1, t_2, \dots)$ следует задавать таким образом, чтобы условия поставленной задачи выполнялись при минимальных вычислительных затратах. Из множества сигналов $U(t)$ следует выбирать сигналы, обеспечивающие значения R_1 , достаточно близкие к R_2 . Важно учитывать как корреляционные, так и спектральные характеристики сигналов. Следует учитывать метод формирования и обработки сложного сигнала, так как это накладывает ограничения на класс синтезируемых сигналов.

Известны различные критерии приближения. При критерии равномерного приближения выполняется неравенство

$$\delta = |R_1(t_1, t_2, \dots) - R_2(t_1, t_2, \dots)| < \varepsilon, \quad (3)$$

где $R_2(t_1, t_2, \dots)$ – требуемая КФ;

$R_1(t_1, t_2, \dots)$ – КФ синтезируемого сигнала;

$(t_1, t_2, \dots)$ – отсчеты времени, определяющие вид КФ;

ε – заданное значение приближения.

При анализе корреляционной функции боковые лепестки могут быть как положительными, так и отрицательными, поэтому необходимо учитывать их абсолютные значения.

Минимаксный критерий является частным случаем равномерного приближения. При минимаксном критерии находится такой сигнал, который минимизирует максимальное зна-

чение модуля корреляционной функции $|R_1(t_1, t_2, \dots)|$ в области слабой корреляции T' , т. е. обеспечивает

$$\min \{ |R_1(t_1, t_2, \dots)|_{\max} \} \text{ при } t_i \in T', i = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Критерий среднеквадратичного отклонения позволяет решать некоторые задачи аналитически и сводится к минимизации значения интеграла:

$$\sigma^2 = \int \dots \int |R_1(t_1, t_2, \dots) - R_2(t_1, t_2, \dots)|^2 dt_1 dt_2 \dots \quad (5)$$

Таким образом, корреляционная функция R_1 должна стремиться к R_2 в среднем по области T . Однако минимум среднеквадратичного отклонения не означает, что в каждой точке разница между R_1 и R_2 будет меньше требуемой величины. В некоторых точках разница может быть значительной, даже если среднеквадратичное отклонение мало. Это является недостатком данного критерия.

Приведенные выше критерии синтеза позволяют обеспечить требуемые корреляционные свойства, но не гарантируют хороших спектральных свойств. В связи с этим важно учитывать одновременно несколько показателей качества, что приводит к необходимости многокритериального синтеза кодовых последовательностей сложных дискретных сигналов. При этом в качестве критерия приближения предлагается использовать функционал следующего вида [5]:

$$M[R, G] = \alpha \max_{t_i \in T} (|R_2(t_i) - R_1(t_i)|) + (1 - \alpha) \left\{ \max_{i=1, N_G} |G_2(f_i) - G_1(f_i)| \right\}, \quad (6)$$

где $R_1(t_1, t_2, \dots)$ – КФ синтезируемого сигнала;

$R_2(t_1, t_2, \dots)$ – заданная КФ сигнала начального приближения;

$G_1(f_k)$ – спектральная плотность мощности формируемого сигнала;

$G_2(f_k)$ – заданное начальное приближение спектральной плотности мощности сигнала начального приближения, $0 \leq \alpha \leq 1$; N_G – число отсчетов спектральной плотности мощности. Первое слагаемое функционала обеспечивает минимальный уровень боковых лепестков КФ, в то время как второе слагаемое позволяет формировать фазо- и частотно манипулированные сигналы со спектральной плотностью мощности, приближающейся по форме к требуемой.

Проведенные исследования показали, что использование критерия приближения (6) позволяет уменьшить потери на весовую обработку на 0.8 дБ при уровне боковых лепестков АКФ не хуже чем у М-последовательностей. Также синтезированные при помощи критерия (6) кодовые последовательности менее чувствительны к искажениям структуры по сравнению с М-последовательностями и позволяют формировать сигналы с заданной формой спектра.

Библиографический список

1. Стеценко О. А. Радиотехнические цепи и сигналы: – М.: Высш ШК, 2007. – 432 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами – М.: Радио и связь – 1985. – 384 с.
3. Сенин А.И. Корреляционные свойства последовательностей, построенных на основе М-последовательностей и последовательностей Уолша [Электронный ресурс] – 2014. – Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/korreljatsionnye-svoystva-posledovatelnostey-postroennyh-na-osnove-m-posledovatelnostey-i-posledovatelnostey-uolsha>
4. Шемаров А. И., Давыдов А. Б. Цифровая генерация шумоподобных сигналов и оценка их статистических свойств [Электронный ресурс] – 2006. - Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-generatsiya-shumopodobnyh-signalov-i-otsenka-ih-statisticheskikh-svoystv>
5. Бодров О. А. Синтез фазо- и частотноманипулированных сигналов в радиотехнических схемах. – Горячая линия – Телеком, 2015. – 132 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О III МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2020».....	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. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ».....	5
Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Исследование погрешности дистанционного метода регистрации процесса дыхания с помощью веб-камеры.....	5
Новиков С.А. Компенсация постоянного смещения сигнала в программно-аппаратном комплексе оценки параметров дыхания пловца.....	10
Кульнева Л.Ю., Дьяков С.Н. Анализ подходов и оценки результативности системы менеджмента качества.....	13
Гарифуллин Б.К. Методы подавления сетевой помехи в электрокардиографии.....	16
Леонова О.В., Сухорукова И.А. Методы контроля качества продукции на предприятиях.....	20
Ледков Д.Ю. Разработка программной части и интерфейса прибора для акупунктуры.....	23
Подчиненов И.Ю. Разработка лазерной интерференционной системы регистрации вибрации.....	25
Якименко Н.А., Шуляков А.В., Гуржин С.Г. Оценка методической погрешности безманжетного метода измерения артериального давления.....	28
Гуржин А.С. Экспертная оценка многомерной измерительной информации с использованием аппарата нечеткой логики.....	32
Акамеов М.Ю. Способы реализации системы оценки относительного перемещения мобильной роботизированной платформы на основе данных лазерной сканирующей системы.....	38
Муфаздалова А.Н., Порунов А.А. Обоснование введения оптико-электронного канала температуры в гистероскопическое оборудование.....	42
Ядвиг В.В., Губарев А.В. Анализ деятельности ООО «МГК «Световые технологии» в области метрологического обеспечения.....	45
Платон А.А. Измерение точности пульсовой оксиметрии в определении насыщения кислородом.....	47
Шилин Н.А. Разработка системы измерения тонуса мышц на основе тензорезистивного датчика.....	50
Нориега С., Муфаздалова А.Н., Тюрина М.М. Термокартирование кожи головы с целью выявления зарождения эпилептического припадка.....	54

Гизамова А.Р., Порунов А.А. Применение математического моделирования в концепции построения эталонной модели акушерского монитора.....	57
Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М. Канал контроля параметров магнитного поля системы для постинсультной реабилитации.....	60
Ляпин В.Г., Самохвалов М.В. К идентификации электрических параметров при повреждении биообъектов.....	64
Ляпин В.Г., Болотов Д.С. Исследования и разработки по электрическому повреждению биообъектов. Проблемы, перспективы.....	71
Дьяков И.А., Дьяков А.И. Применение отечественных микроконтроллеров в АИИС.....	75
Коробова Л.А., Матыцина И.А., Миронова М.С. Логико-лингвистический подход к функционированию технических систем.....	79
Даровских С.Н., Шоназаров П.М., Ф.Т. Холов Анализ спектральных музыкальных произведений с применением вейвлет – Преобразования.....	85
Мельник О.В., Косов Р.П., Косова М.В. Принципы контроля и управления гигиеническими параметрами внутрибольничных помещений.....	91
Мельник О.В., Лоскутов А.Ю. Влияние интерференции на оценку информативных параметров по видеоизображению....	97
Челебаева Ю.А. Разработка модели комплексной интерпретации выявленных признаков на основе анализа сигналов кардиоритмограммы.....	101

Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ»..... 107

Соловьева И.А., Соловьев Д.С. Применение логических операций с примитивами для автоматизированного построения геометрической модели детали в задачах моделирования распределения толщины гальванического покрытия.....	107
Васильев А.В. Моделирование процесса юстировки платформенных весов на тензорезисторных датчиках в вычислительной среде Excel.....	110
Курицын А.С. Портативный измеритель толщины лакокрасочного покрытия.....	116
Миловзоров О.В., Грибов Н.В. К вопросу об автоматизированном проектировании маршрутно-операционных технологических процессов диалоговыми методами.....	119
Дятлов Р.Н. Расчёт тепловых полей при обработке материалов концентрированными потоками Энергии.....	127
Дятлов Р.Н., Еремин М.М. Увеличение эффективности распознавания текстов с помощью TESSERACT.....	133
Цветков К.Ю. Модернизация конструкции электронного модуля обработки изображения.....	137

Арзамасцев С.Б., Грибов Н.В., Миловзоров О.В. К вопросу автоматизации процесса проектирования-изготовления деталей в мелкосерийном и единичном производстве.....	140
Грибов Н.В., Дронов Н., Миловзоров О.В. Параметрическое программирование фрезерной обработки в системе ЧПУ SIEMENS Sinumerik 840D.....	145
Медведев Е.Е. Использование САД систем в виртуальной реальности (VR).....	155
Синицын И.Е. Повышение эффективности работы электродуговой сталеплавильной печи постоянного тока.....	158
Линьков В.А. Наноразмерные допуски и посадки для коллоидной самосборки микропрограммных элементов с конвейерным программированием спектров излучения на базе квантовых точек и апконвертирующих наночастиц структуры ядро-оболочка.....	161
Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....	173
Спицын С.В. Обработка и анализ траекторных измерений при проведении полигонных испытаний....	173
Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп, Лыу Тхань Дат Синтез и электродинамическое моделирование микрополоскового излучателя антенной решетки летательного аппарата.....	176
Васильев Е.П. Обоснование выбора структурной схемы активной фазированной антенной решетки.....	180
Васильев Е.П., Садовская И.В. Моделирование ряда направленных ответвителей для микроволнового модуля передатчика летательного аппарата.....	183
Москвитин А.Э. Комплексирование видеоданных от геостационарных космических систем наблюдения Земли.....	186
Ларионов С.М., Москвитин А.Э. Обзор проблемы комплексирования данных дистанционного зондирования Земли с целью повышения детальности космических снимков.....	189
Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Экспериментальные исследования в области повышения качества цифровых изображений, полученных в результате аэрофотосъемки.....	196
Курагин А.В., Колесенков А.Н. Адаптивное сжатие изображений с потерями для современного спутникового оборудования.....	202
Макарова Н.В., Таганов А.И., Цыцына М.И. Оценивание качества и функциональной надежности программных средств информационных систем.....	205
Таганов А.И., Цыцына М.И. Методы анализа и прогнозирования структурной надежности информационных систем на этапе проектирования.....	209
Бодрова И.В., Симонов Д.И., Бодров О.А. Математические модели для разработки информационной системы автоматической регистрации оптических параметров покрытия объектов.....	214

Бендарский А.В., Бодров О.А., А.П. Капранов	
Алгоритмы сжатия гиперспектральных данных с применением вейвлет-разложения.....	219
Андрианов Д.Е., Еремеев С.Е., Ковалёв Ю.А.	
алгоритмы анализа и обработки снимков на основе баркодов.....	223
Кащеев А.А.	
Система автоматизированного проектирования анализа и подтверждения	
целевых показателей космических систем оптико-электронного наблюдения	
земной поверхности.....	227
Лбов Д.И., Бодров О.А.	
Обзор методов синтеза кодовых последовательностей сложных сигналов.....	230

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 6

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.20. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 29,75.

Тираж 100 экз. Заказ №.

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