

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

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

## **СТНО-2018**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ**

**Сборник трудов**

**Том 6**

Рязань  
Book Jet  
2018

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

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018; Рязань. – 205 с.,: ил.

Сборник включает труды участников Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018.

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 978-5-7722-0293-7

© Рязанский государственный  
радиотехнический университет, 2018  
© Издательство «Book Jet»,  
макет, 2018

## **ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018**

Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018 состоялся 28.02.2018-02.03.2018 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018 состоялись четыре Международные научно-технические конференции:

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

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

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

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

• Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;

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

• Проблемы рынка: экономика и управление;

• Актуальные проблемы государственного, муниципального и корпоративного управления;

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

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

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

### **Организационный комитет Форума:**

Чиркин М.В., И.О. ректора, д.ф.-м.н., проф. – председатель  
Гусев С.И., проректор по научной работе, д.т.н., проф. – зам. председателя;  
Бухенский К.В., проректор по учебной работе, к.ф.-м.н., доц. – зам. председателя;  
Миловзоров О.В., зам. директора института магистратуры и аспирантуры, к.т.н, доц. – координатор;

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

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

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

### **члены оргкомитета:**

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

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

Евдокимова Е.Н., д.э.н., проф., декан Инженерно-экономического факультета;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Федорова Л.А., д.э.н., профессор кафедры «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

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

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



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

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

УДК 004.3; ГРНТИ 59.13.19

#### АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ЭЛЕКТРОННЫМИ ДАТЧИКАМИ

Г.В. Давыдов, А.Е. Серебряков, В.В. Климаков, В.Ю. Мишин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, georgiy.davydov.93@mail.ru*

*Аннотация.* Для упрощения процесса проектирования измерительных систем на производстве предлагается новое решение на основе аппаратно-программного комплекса для обмена данными с электронными датчиками. Конструкция предложенного комплекса имеет модульную архитектуру.

*Ключевые слова.* Аппаратно-программный комплекс, датчик, система регистрации и обработки данных, согласующее устройство, референс-дизайн.

#### A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR EXCHANGE OF DATA WITH ELECTRONIC SENSORS

G.V. Davydov, A.E. Serebryakov, V.V. Klimakov, V.Yu. Mishin

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, georgiy.davydov.93@mail.ru*

*Abstract.* To simplify the process of designing measuring systems in production, a new solution is proposed on the basis of a hardware-software complex for data exchange with electronic sensors. The design of the proposed complex has a modular architecture.

*Keywords.* Hardware-software complex, sensor, data recording and processing system, matching device, reference-design.

#### Введение

В связи с высокими темпами развития элементной базы время на разработку измерительных приборов и систем на предприятиях становится сопоставимым со временем обновления модельного ряда датчиков. В динамично развивающихся сферах с жёсткой борьбой за потребителя, например, индустрии микроэлектромеханических систем (МЭМС) [1], новые модели датчиков появляются несколько раз в год. Для того, чтобы оставаться конкурентоспособными, предприятия, разрабатывающие измерительные комплексы, вынуждены осуществлять постоянную доработку электрических схем, связанных с датчиком, изменять программно-математическое обеспечение и выпускать новую техническую документацию

Осознавая это, производители электронных датчиков поставляют на рынок проекты изделий на основе собственных чипов с проверенными схемотехническими решениями и топологией печатной платы. Такие готовые для внедрения решения в последнее время называют референс-дизайн (reference design (RD)). Использование RD [2-4] для упрощения процесса проектирования на производстве имеет следующие недостатки:

- внедрение в измерительную систему платы сопряжения для новой модели датчика по-прежнему сопровождается перевыпуском значительной части технической документации

и программного обеспечения;

- узкая область применения предлагаемых решений, вынуждающая потребителя использовать либо датчики, либо средства обработки данных, выгодные производителю;
- готовые решения для новейших моделей датчиков (особенно прецизионных) часто отсутствуют.

Цель настоящей работы – сократить влияние перечисленных недостатков на основе создания универсального аппаратно-программного комплекса для обмена данными с электронными датчиками.

Достижение поставленной цели обеспечивается выполнением программно-аппаратным комплексом следующих функций:

- возможность регулирования выходного напряжения встроенного источника питания;
- согласование логических уровней интерфейсов обмена данными между выбранным датчиком и блоком обработки данных;
- постобработка первичных данных;
- управление режимом работы датчика;
- упрощенная аппаратно-программная система сопряжения датчика с электроникой пользователя.

### Архитектура аппаратно-программного комплекса

Для обеспечения надежности и необходимого функционала структура аппаратной части устройства состоит из трех модулей (рис. 1): базового, разъёмного и измерительного. Модули представляют собой печатные платы, которые сопрягаются между собой быстроразъёмными соединениями. Оперативная перенастройка аппаратно-программного комплекса под новые типы и модели датчиков заключается в замене измерительного модуля и настройке программно-математического обеспечения.

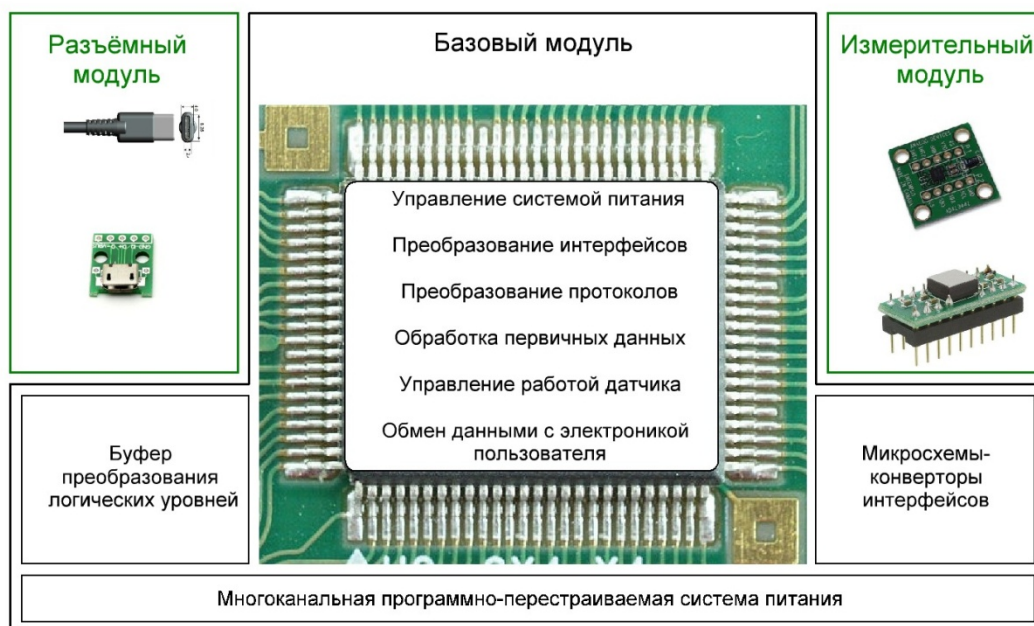


Рис. 1. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса для обмена данными с электронными датчиками

Базовый модуль обеспечивает питание датчика, регистрацию первичных данных и их постобработку, обмен данными с электроникой пользователя, в которую встроен аппаратно-программный комплекс. Задачи по постобработке первичных данных, преобразованию протоколов, управлению режимом работы датчика и обмен данными с электроникой пользователя реализованы на базе микроконтроллера от STMicroelectronics. Стабильное питающее напряжение регулируется программно, посредством изменения номинала цифрового резистора, включенного в цепь обратной связи импульсного источника питания. Для двунаправленного согласования логических уровней интерфейсов применены схемы на основе дискретных малогабаритных полевых транзисторов. Встроенная периферия микроконтроллера формирует часть преобразователей интерфейсов, которую дополняют специальные микросхемы-конверторы. Избыточный функционал схемотехнического решения базового модуля снижает трудоёмкость изготовления измерительного модуля.

Задачей измерительного модуля является надежное физическое и информационное сопряжение датчика с базовым модулем, учитывающее его тип и область применения. Для датчиков, предназначенных для монтажа пайкой используется набор коммутационных плат с необходимыми посадочными местами для контактов датчика и вспомогательных электронных компонентов.

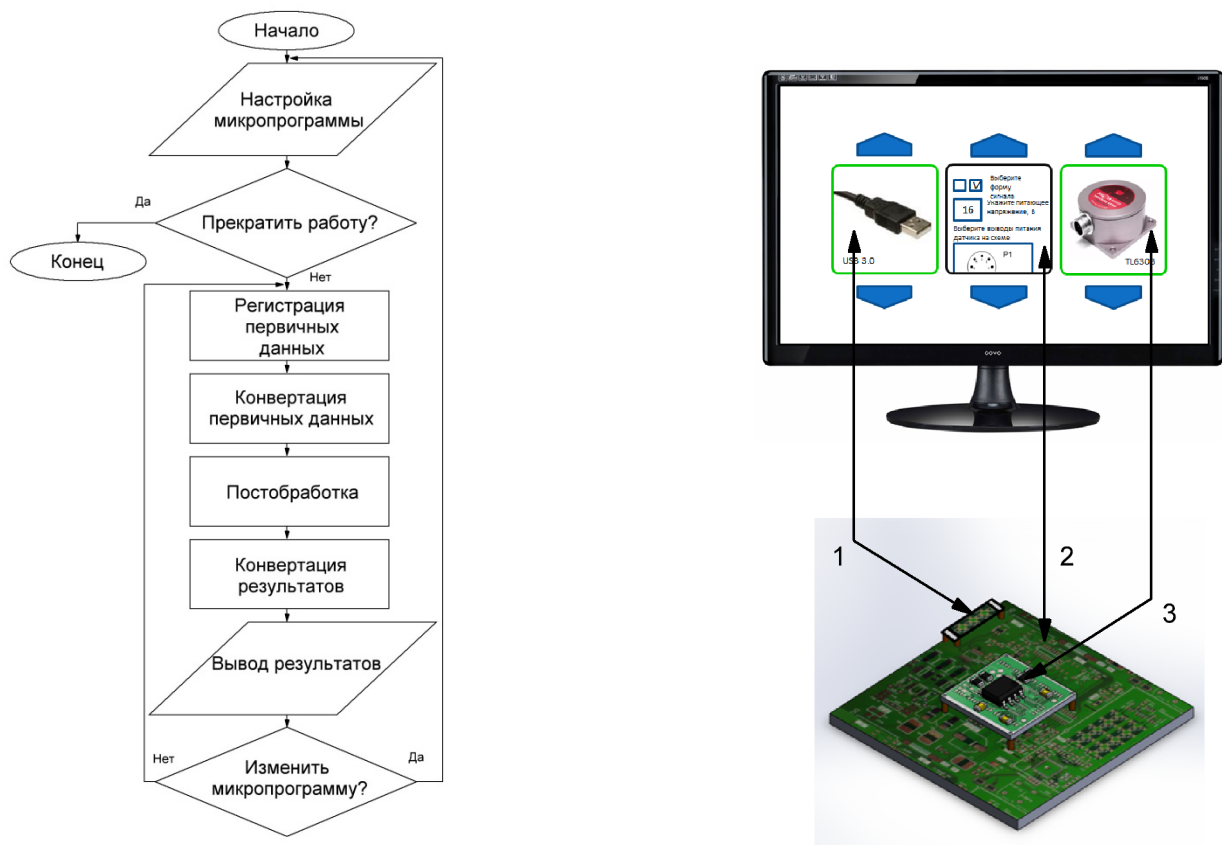
Разъёмный модуль предназначен для обеспечения надежного физического и информационного сопряжения базового модуля с технической системой, в которое устройство будет встроено в качестве функционального узла. Для выполнения данной задачи существуют два варианта разъёмного модуля, реализующие либо проводную, либо беспроводную связь. Для осуществления проводной связи на печатной плате разъёмного модуля устанавливается подходящий разъём, а для беспроводной – приёмопередатчик и антенна.

### **Программно-математическое обеспечение**

Блок схема работы микропрограммы аппаратно-программного комплекса представлена на рисунке 2а. Микропрограмма состоит из двух компонентов: подпрограмма для постобработки зарегистрированных данных и подпрограмма для их конвертации. Алгоритмы постобработки реализуют функции цифровой коррекции: калибровку нуля, линеаризацию, компенсацию температурных флуктуаций, цифровую фильтрацию сигнала.

Подпрограмма конвертации унифицирует первичные сигналы от датчиков к виду, доступному для их постобработки, и осуществляет преобразования данных для управления режимом работы датчика и корректного обмена информацией с электроникой технической системы, в которое встроено устройство. Настройка микропрограммы и тем самым конфигурирование аппаратно-программного комплекса под конкретные задачи осуществляется при помощи интерактивного программного обеспечения (ИПО).

Интерфейс программы конфигурирования комплекса позволяет осуществить настройку микропрограммы аппаратной части устройства в интерактивном режиме (рис. 2б). Кроссплатформенное программирование обеспечивает гибкость работы.



а

б

Рис. 2. а) блок схема микропрограммы аппаратно-программного комплекса  
 б) интерфейс конфигурирования устройства для обмена данными с электронными датчиками;  
 1 – внешний вид разъёмного модуля (1), базового модуля (2),  
 измерительного модуля (3) и элементы ИПО, связанные с их настройкой.

## Выводы

Для упрощения процесса проектирования измерительных систем на производстве предлагается новое решение на основе аппаратно-программного комплекса для обмена данными с электронными датчиками. Предложенный комплекс упростит процесс проектирования измерительных систем и сокращает время их производства. Концепцию устройства отличает от аналогов полная независимость к модели датчика первичной информации и цифровой электроники пользователя. Конструкция и избыточный функционал аппаратно-программного комплекса позволяют расширить возможности интеграции в измерительные системы сбора и обработки данных.

## Библиографический список

1. Status of the MEMS Industry 2017 [Электронный ресурс], URL: <https://www.i-micronews.com/category-listing/product/the-status-of-the-mems-industry-2017.html> (дата обращения 07.02.18).
2. Getting started with the X-NUCLEO-IKS01A2 motion MEMS and environmental sensor expansion board for STM32 Nucleo [Электронный ресурс], URL: [http://www.st.com/content/st\\_com/en/products/ecosystems/stm32-open-development-environment/stm32-nucleo-expansion-boards/stm32-ode-sense-hw/x-nucleo-iks01a2.html](http://www.st.com/content/st_com/en/products/ecosystems/stm32-open-development-environment/stm32-nucleo-expansion-boards/stm32-ode-sense-hw/x-nucleo-iks01a2.html) (дата обращения 07.02.18).

3. Датчики жестов halios от elmos: легким движением руки... [Электронный ресурс] URL: <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/7/7-datchiki-zhestov-halios-ot-elmos-legkim-dvizheniem-ruki> (дата обращения 07.02.18).

4. Инструменты для инструментов: программные продукты TI для проектирования [Электронный ресурс] URL: <https://www.compel.ru/lib/ne/2014/10/6-instrumentyi-dlya-instrumentov-programmnyie-produktyi-ti-dlya-proektirovaniya> (дата обращения 07.02.18).

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## **СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ФОНОКАРДИОГРАММЫ**

**А.Н. Седых**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, 9165824094@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе описана реализация виртуального прибора на базе ресурсов программы LabVIEW фирмы National Instruments. Реализация включает в себя разработку алгоритма работы виртуального прибора, создание блок – диаграммы и лицевой панели. Проводится анализ всех необходимых виртуальных подприборов, имеющихся в библиотеках программы, для создания системы.

*Ключевые слова.* Фонокардиограмма, виртуальный прибор, LabVIEW

## **SYSTEM FOR THE AUTOMATED EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE PHONOCARDIOGRAM**

**A.N. Sedykh**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russia, Ryazan, 9165824094@mail.ru*

*Annotation.* This paper describes the implementation of a virtual appliance based on the resources of the National Instruments LabVIEW program. The implementation includes the development of an algorithm for the operation of a virtual appliance, the creation of a block diagram and a front panel. The analysis of all necessary virtual sub-devices, available in the program libraries, is conducted to create the system.

*Keywords.* Phonocardiogram, virtual instrument, LabVIEW

### **Введение**

Под фонокардиографией понимается метод регистрации звуковых явлений, обусловленных процессами работы сердца. В медицинской практике звуки сердца принято разделять на «тоны» и «шумы».

Так называемые тоны сердца являются на самом деле короткими, быстро затухающими шумами. Возникают они, как правило, в момент внезапного изменения состояния сердца при переходе от одного периода сердечного цикла к другому. Шумы сердца, как правило, обусловлены движением крови в течение какого-либо периода сердечного цикла или в течение нескольких периодов [1].

Нормальная фонокардиограмма состоит I и II тонов и из систолической и диастолической пауз. В диастолической паузе иногда встречаются дополнительные диастолические тоны — III, IV и V (экстратоны). III и IV тоны встречаются редко, как правило, они возможны у детей или подростков, а так же после активных физических нагрузок. V тон – экстратон в патологии может наблюдаться в процессе диастолы, либо представлять так называемый «митральный щелчок».

Целью данной работы является создание виртуального прибора позволяющего определять такие временные характеристики, как длительности I и II тонов. В клинической практике они представляют интерес, так как I и II тоны встречаются у всех людей и определение

их длительностей дает возможность узнать о наличии возможных патологий и направить врача на дальнейшее обследование пациента.

### Разработка алгоритма работы виртуального прибора

Виртуальный прибор работает по следующему алгоритму.

Сначала в виртуальный прибор загружается аудиозапись фонокардиограммы.

По первой ветви происходит фильтрация ФКГ. Затем сигнала преобразуется в абсолютное значение  $|x|$  и возводится в квадрат  $x^2$ . Загрузка ФКГ в пиковый детектор подразумевает выделение двух массивов: в одном содержатся значения амплитуд (Amplitudes), а в другом значения их расположения (Locations).

Далее идет обработка пиков и определение информативных параметров – длительности I и II тонов. Результаты измерений выводятся на панель ВП.

По второй ветви алгоритма выводится осциллограмма ЭКГ, записанная синхронно с

ФКГ. В качестве вводимых данных используется массив амплитуд ФКГ, ЭКГ и времени. Из этого массива выделяют столбец времени и столбец ЭКГ, и выводят на осциллограмму.

На рисунке 1 изображен алгоритм работы виртуального прибора.

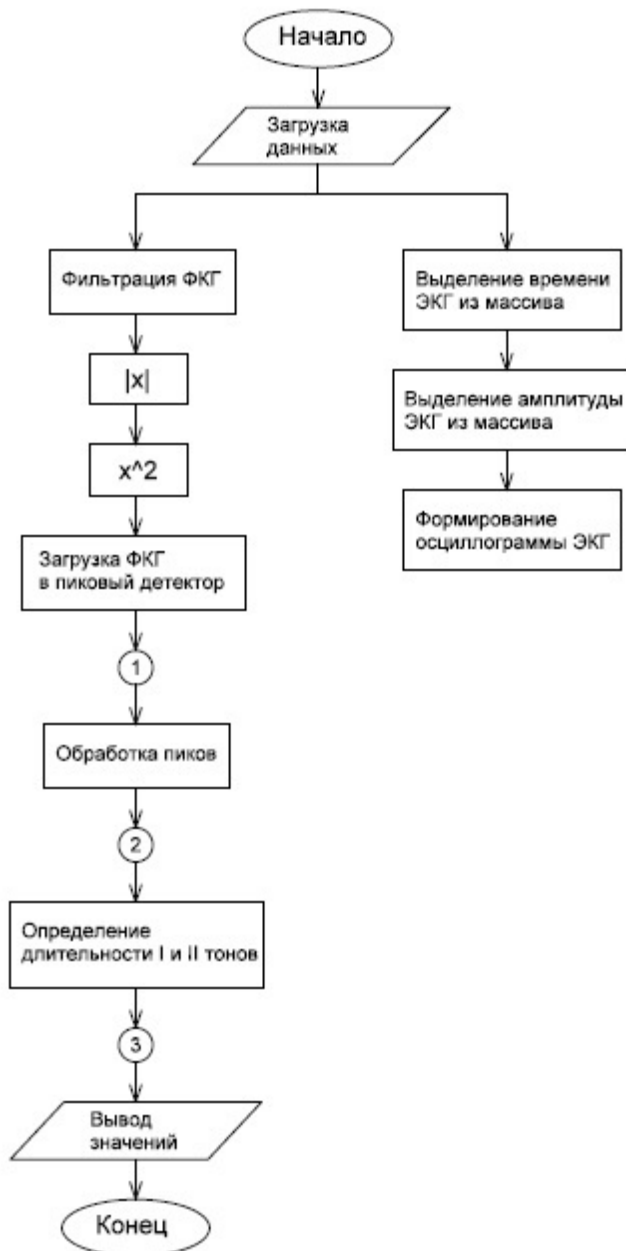


Рис. 1. Алгоритм работы виртуального прибора

### 3. Реализация виртуального в среде LabVIEW

Для того чтобы считать данные для выделения ЭКГ сигнала воспользуемся ВП Read from Measurement File. Он считывает данные из файла загруженного в него. В нашем случае он считывает файл с расширением .lvm – это таблица из трех столбцов: время [с], ФКГ [мВ], ЭКГ [мВ].

Выделяем столбец времени и ЭКГ. Для этого используем функции работы с массивами. С помощью Index Array выделяем столбец 0 (время) и столбец 2 (ЭКГ), подавая на вход сам массив и номер его необходимого столбца. Далее получившийся новые одномерные массивы подаем на кластер Bundle и далее на осциллограмму.

Далее загружаем аудиофайл и фильтруем ФКГ.

Для загрузки аудиофайла с расширением .wav используем ВП Sound File Read Simple. Для того чтобы отфильтровать сигнал ФКГ на разных частотах - 5-70 Гц; 0 – 20000 Гц; 40 – 400 Гц; 250 – 1000 Гц; аускультативный канал 100 – 400 Гц, используем четыре по-  
и с фильтров поступают на независимые



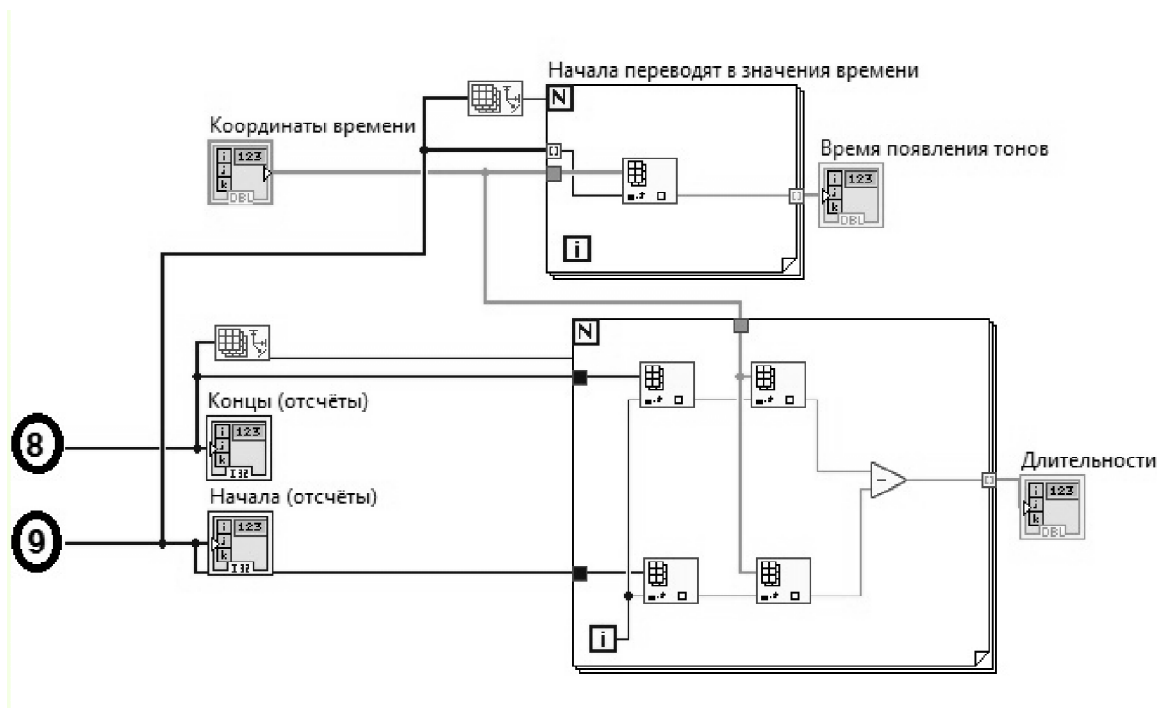


Рис. 3. Блок – схема подприбора для нахождения длительностей тонов (продолжение)

На рис.4 изображен алгоритм работы определения длительности I и II тонов.

Данные поступающие в цикл – это массив значений амплитуд больше порога и нулевых значений. Цикл выполняется N раз, N – число элементов в массиве.

Тело цикла содержит составные условия. Первое условие: равно ли значение амплитуды нулю.

По ветке «Да» проверяется условие: равно ли предыдущие значение нулю, если «да», то не фиксируем это значение (записываем пустой массив); если «нет», то записываем как конец пика.

По ветке «Нет» проверяется условие: равно ли предыдущие значение нулю, если «да», то записываем его как начало пика; если «нет», то не фиксируем значение (записываем пустой массив).

Когда цикл пройдет все значения массива (выполнится N раз), то происходит выход из цикла. На выходе происходит вычисление интервалов посредством еще одного цикла, где значениям начал и концов амплитуд по их индексам сопоставляются значения времени (значения времени и амплитуд синхронизированы между собой). Разность значений времени концов пиков и начал пиков – это информативные параметры длительностей I и II тонов.

Таким образом, созданный виртуальный прибор обладает простым и понятным для врача интерфейсом, не требует больших затрат – может использоваться везде, где имеется в наличии компьютер. Он безопасен для пациента и дает быстрый и достоверный результат.



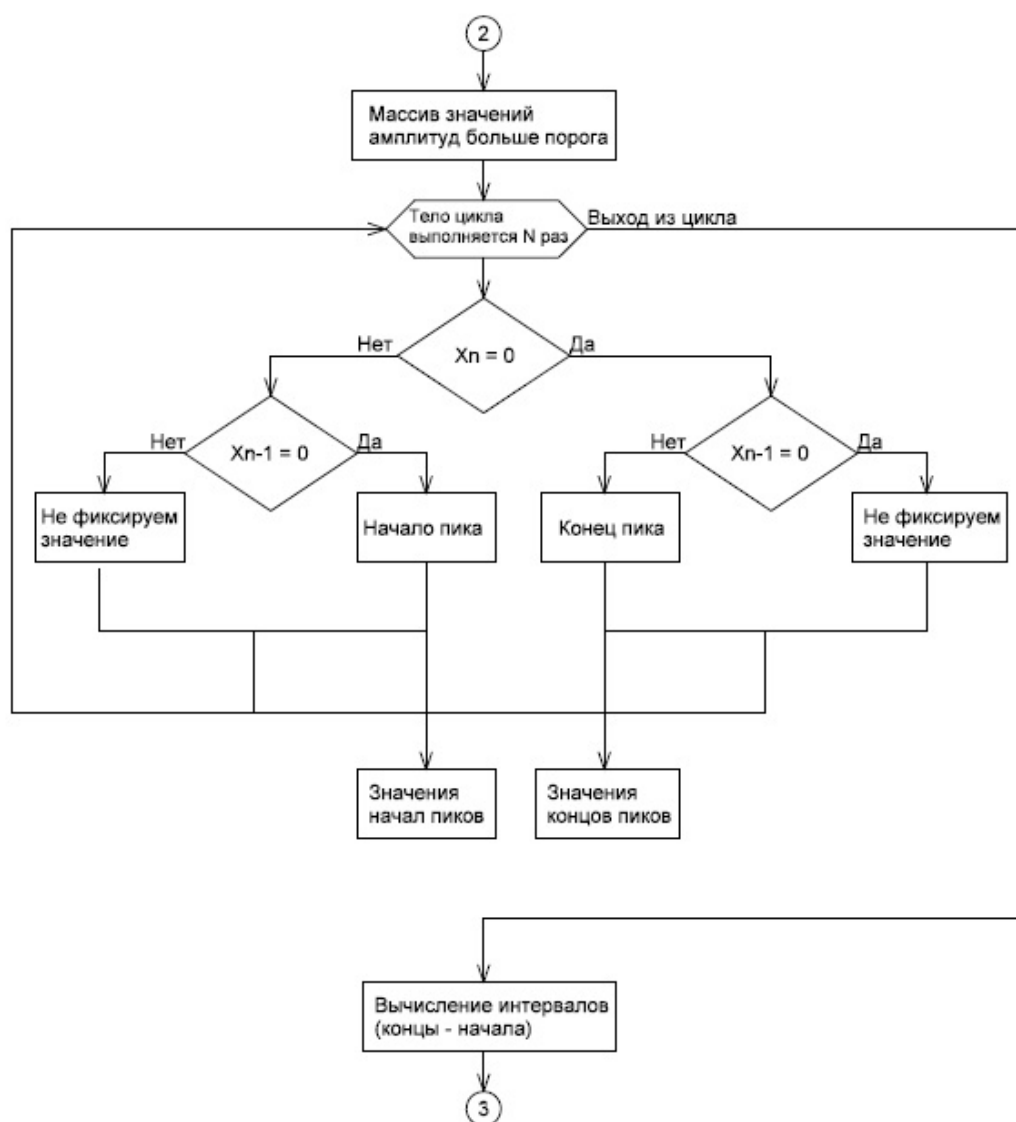


Рис. 4. Алгоритм работы определения длительности I и II тонов

### Библиографический список

1. Кельман И.М. Электроардиография и фонокардиография. - М.: Медицина, 1974.-134 с.
2. National Instruments Russia, CIS & Baltic. Labview в биомедицине. М. -123 с.

УДК 615.8; ГРНТИ 76.01.05

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ВИЧ ИНФЕКЦИИ

И.М. Коробова

Рязанский государственный медицинский университет  
имени академика И.П. Павлова

Россия, Рязань, [irina-korobo@yandex.ru](mailto:irina-korobo@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема - ВИЧ-инфекция и способы подавления вируса. В статье сравниваются препараты трех групп с различным механизмом действия.

Ключевые слова. ВИЧ, СПИД, антриретровирусные препараты, ингибиторы, протеаза, транскриптаза.

## PRACTICAL APPROACHES TO THE CHOICE OF DRUGS FOR TREATMENT OF HIV INFECTIONS

I.M. Korobova

*Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov*

*Russia, Ryazan, [irina-korobo@yandex.ru](mailto:irina-korobo@yandex.ru)*

Abstrakt. The article considers the actual problem of HIV infection and methods of viral suppression. The article compares the three groups of drugs with different mechanism of action.

Keywords: HIV, AIDS

В настоящее время злободневна и актуальна проблема выбора препаратов лечения ВИЧ инфекции, а также их сравнительная характеристика. Во многом эпидемия ВИЧ-инфекции остается в значительной мере неконтролируемой несмотря на интенсивные усилия врачей, организаторов здравоохранения, исследователей, деятельность общественных организаций. Достигнуты значительные успехи, в том числе в области лечения, однако на каждых двух пациентов, получающих антиретровирусную терапию (АРТ), приходится пять новых ВИЧ-инфицированных. В настоящее время в некоторых регионах России существует сложное эпидемическое положение по данному заболеванию [1,2].

В настоящее время для лечения ВИЧ инфекции используют препараты трех основных механизмов подавления вируса [1,2]:

- 1) 1-ая группа антиретровирусных препаратов- ингибиторы обратной транскриптазы.
- 2) 2-ая группа антиретровирусных препаратов- ингибиторы протеаз.
- 3) 3-ая группа – ингибиторы проникновения.

Механизм действия препаратов 1 группы включает следующие составляющие.

В основе «структуры всех ингибиторов обратной транскриптазы лежит один из аналогов природного нуклеозида (тимидин, аденин, цитидин или гуанин), что обуславливает общее свойство метаболитов каждого из препаратов блокировать обратную транскриптазу ВИЧ и избирательно ингибировать репликацию вирусной ДНК. Под действием соответствующих ферментов препараты метаболизируются с образованием трифосфатов, которые и проявляют фармакологическую активность. Способность препаратов этой группы ингибировать обратную транскриптазу ВИЧ в сотни раз выше, чем способность подавлять ДНК-полимеразу человека. НИОТ активны в инфицированных ВИЧ Т-клетках и макрофагах, ингибируют ранние стадии жизненного цикла вируса» [1,2].

Первым препаратом этой группы был «Зидовудин», внедренный в 1987г. Этот «препарат показал хороший эффект на испытаниях беременных ВИЧ- инфицированных женщин. Результат показал, что при приеме препарата заражение уменьшилось вдвое. По многим показателям препарат был безопасен. При длительном приеме препарата была замечена толерантность к медикаменту. Образуются устойчивые штаммы вирусов при приеме более 6 месяцев. Вновь сформировавшиеся штаммы более агрессивны, чем исходный вариант вируса» [3]. Вместе с тем, препарат «Зидовудин», имеет ряд побочных эффектов, таких как: часто тошнота и рвота, редко нарушения вкуса, боль в животе, диарея, анорексия, метеоризм. Очевидно влияние препарата на печень: повышение активности трансаминаз, стеатоз. Происходит изменение гематологических реакции: анемия, нейтропения, лейкопения, тромбоцитопения. Препарат оказывает влияние на нервную систему, вызывая: слабость, повышенную утомляемость, головную боль, бессонницу, астенический синдром, сонливость, депрессия, периферические нейропатии, парестезии. Пациенты ощущают боль в сердце. Изменения происходят и в легких : кашель. Другие последствия приема препарата: редко - лактацидоз, миопатия (обусловлена митохондриальной токсичностью), лихорадка, озноб, учащение мочеиспускания, панкреатит. В настоящее время препарат «Зидовудин» используется в комбинации с другими препаратами [4].

При лечении инфекции популярным является препарат «Невирапин». Препарат «Невирапин» вызывает разрушение каталитического участка обратной транскриптазы ВИЧ-1. Препарат блокирует активность РНК- и ДНК-зависимой полимеразы. Препарат не ингибирует обратную транскриптазу ВИЧ-2 и человеческой альфа-, бета-, гамма- или сигма-ДНК-полимеразы. Важно заметить, что при монотерапии быстро и практически всегда развивается устойчивость вирусов. Активен в остро инфицированных ВИЧ Т-клетках, ингибирует ранние стадии жизненного цикла вируса. Вместе с тем, в комбинации с зидовудином уменьшает число вирусов в сыворотке и увеличивает количество CD4-клеток. Их взаимное действие замедляет прочие нежелательные реакции. Вместе с тем, ощущаются симптомы гиперчувствительности: у 17% обнаруживалась сыпь, лихорадка, артралгия, миалгия. У незначительного процента пациентов проявлялся токсический эпидермальный некролиз, синдром Стивенса–Джонсона. Со стороны желудочно-кишечного тракта обнаруживалась тошнота, проявлялся стоматит. Центральная нервная система показывала головную боль, утомляемость, сонливость. У пациентов, употребляющих алкоголь, а также болеющих хроническим вирусным гепатитом начиналось обострение гепатита.

Популярна вторая группа препаратов для лечения ВИЧ инфекции - ингибиторы протеазы ВИЧ. К ингибиторам протеазы ВИЧ относятся саквинавир, индинавир, ритонавир, нелфинавир и ампренавир [4].

Механизм действия препаратов данной группы включает следующие составляющие. «Протеаза ВИЧ расщепляет поли-протеин Gag-Pol на отдельные белки. При ее подавлении нарушается сплайсинг и созревание вирусной мРНК, в результате чего образуются новые вирусные частицы, не способные заражать новые клетки» [4].

Усиление процесса лечения ритонавиром позволяет существенно облегчить режим терапии ИП (ингибиторы протеаз) и применять их в гораздо меньших дозах. Еще одна цель усиления ИП – повысить активность терапии. Дополнительная усиленная терапия с применением индинавира и ампренавира приобретает эффективность в отношении устойчивых штаммов.

Используют препарат протеаза ВИЧ. «Протеаза ВИЧ - фермент, необходимый для протеолитического расщепления полипротеиновых предшественников вируса на отдельные белки, входящие в состав ВИЧ. Расщепление вирусных полипротеинов важно для созревания вируса, способного к инфицированию. ИП блокируют активный центр фермента и нарушают образование белков вирусного капсида.» [5]. Данные препараты этой группы способны подавлять репликацию ВИЧ, в том числе при резистентности к ингибиторам обратной транскриптазы. В результате угнетения активности ВИЧ-протеазы формируются незрелые вирусные частицы, неспособные к инфицированию других клеток.

Показателен спектр активности данного препарата. Клиническое значение имеет активность ИП против ВИЧ-1 и ВИЧ-2. Можно сделать вывод: показанием к лечению ВИЧ-инфекции в составе комбинированной терапии, химиопрофилактика парентерального заражения ВИЧ.

Третьей группой используемых препаратов являются, так называемые, ингибиторы проникновения. «Механизм действия препаратов третьей группы включает следующие составляющие. Процесс проникновения препарата протеаза ВИЧ в клетку-мишень, то есть лимфоцит CD4, происходит по следующей схеме: прикрепление ВИЧ к мембранному рецептору – молекуле CD4 (мишень для ингибитора прикрепления); затем взаимодействие ВИЧ с корецепторами (мишень для блокаторов корецепторов); слияние ВИЧ с лимфоцитом (мишень для ингибиторов слияния). Все три указанных класса препаратов сегодня объединены в группу ингибиторов проникновения» [5].

Допустимо, что последующие исследования покажут, что эффективность препаратов этой группы недостаточно велика, но появление средств с новым механизмом действия открывает новые пути для борьбы с ВИЧ-инфекцией.

Фузеон (энфувиртид) — синтетический пептид, состоящий из 36 аминокислот. В клинических исследованиях Фузеон оказывал мощное ингибирующее действие на репликацию ВИЧ21. По «механизму действия Фузеон принципиально отличается от стандартных антиретровирусных препаратов, поэтому он активен в отношении вирусов, устойчивых ко всем классам антиретровирусных средств» [5].

Клинические исследования продемонстрировали эффективность Фузеона в комбинации с антиретровирусными препаратами, подобранными на основании изучения генотипической и фенотипической резистентности вируса и предыдущего опыта лечения, у больных, ранее получавших ВААРТ. Результаты клинических исследований продемонстрировали, что установлена эффективность применения Фузеона у детей. Фузеон — это первый представитель нового класса антиретровирусных препаратов, которые называют ингибиторами фузии ВИЧ. Фузеон действует вне клетки и блокирует слияние — фузию ВИЧ21 с CD4+ лимфоцитами. Результаты клинических исследований показали эффективность Фузеона в сочетании с оптимизированной терапией у ранее леченных больных с ВИЧ2 инфекцией. Фузеон оптимально переносится и характеризуется высокой безопасностью как у взрослых, так и детей. Фузеон вводят подкожно в дозе 90 мг два раза в день. Фузеон значительно улучшает прогноз у больных с ВИЧ2 инфекцией, ранее получавших ВААРТ.

Схемы «АРТ первого ряда: Зидовудин+ламивудин+ (ифавиренц или невирапин) или тенофовир+(ламивудин или эмтрицитабин)+(ифавиренц или невирапин). Антиретровирусные препараты класса ИП в сочетании с двумя НИОТ используются в АРТ первого ряда в исключительных случаях»[5]. А схема лечения 2 ряда (3+2 группа) по экспериментальным методам является наиболее положительной.

Целями антиретровирусной терапии являются:

- клинические цели — улучшение качества жизни и продление жизни;
- вирусологические цели - снижение вирусной нагрузки в течение длительного времени с задачей остановить или замедлить прогрессирование заболевания;
- терапевтические цели - рациональное планирование схем лечения с задачей возможно максимально снизить влияние побочных эффектов и риск токсического действия препаратов;
- эпидемиологические цели - снизить число случаев передачи ВИЧ;
- иммунологические цели - восстановление иммунной системы, как количественных, так и качественных показателей;
- социальные цели - предупредить дальнейшую передачу ВИЧ.

Сегодняшнее положение дел показывает, что количество новых случаев ВИЧ-инфекции может быть снижено в результате применения стратегии «тестирование и лечение». Однако, нереально полагать, что удастся остановить эпидемию только за счет обеспечения лечения ВИЧ-инфицированных пациентов. Важно предохранять от ВИЧ-инфекции неинфицированных лиц. Это относится ко всем гражданам, а не только к находящимся в популяции высокого риска. Актуальной становится важность разработки эффективной, безопасной и доступной анти-ВИЧ/СПИД-вакцины. Легче предупредить заражение ВИЧ инфекции, чем купировать или вылечить данное заболевание.

### Библиографический список

1. Du J., Liang X., Liu Y., Qu Z., Gao L., Han L., Liu S., Cui M. Hepatitis B virus core protein inhibits TRAIL induced apoptosis of hepatocytes by blocking DR5 expression // Cell Death Differ.— 2009.—Vol. 16.— № 2.— P. 219–229
2. Palosaari H., Parisien J., Rodriguez J., Ulane C., Horvath C. STAT protein interference and suppression of cytokine signal transduction by measles virus V protein // J. Virol.— 2003.— Vol. 77.—№ 13.— P. 7635–7644.
3. Тюрин С. Профилактика ВИЧ и ИППВ среди МСМ. Сборник.— М., 2007. MSMInfoCenter.ru, 2007.
4. Бондаренко Т.Ф. ИППВ, в том числе ВИЧ, среди МСМ. Проблемы и пути решения. Сборник.—М., 2007. MSM InfoCenter.ru, 2007.

5. Покровский В. Эпидемия ВИЧ/СПИДа в России: тенденции, уроки, основные проблемы и возможности для расширения ответных действий». Доклад на 16й Международной конференции по СПИДу. 13–18 августа 2006 г., Торонто

6. Paediatric European Network for Treatment of AIDS (PENTA). Lamivudine/abacavir maintains virological superiority over zidovudine/lamivudine and zidovudine/abacavir beyond years in children //AIDS 2007; 21: 947–55.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЫХАНИЯ**

**В.Л. Нгуен**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, г.Рязань, nguyenvietlinh010992@gmail.com*

*Аннотация.* В статье рассматривается разработка структурной и функциональной схемы для измерения параметров дыхания. Также рассматривается вариант подключения модуля блютуз и датчика к модулю Arduino.

*Ключевые слова.* Частота дыхания, параметры дыхания, измерение дыхания.

## **DEVELOPMENT OF THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SCHEME FOR MEASUREMENT OF RESPIRATORY PARAMETERS**

**V. L. Nguyen**

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

*Annotation.* The article deals with the development of a structural and functional scheme for measuring breathing parameters. The option of connecting the bluetooth module and the sensor to the Arduino module is also considered.

*Keywords.* Frequency of respiration, respiratory parameters, breath measurement.

Контроль дыхания является неотъемлемой частью жизни любого человека болеющей астмой. Так же статистика дорожно-транспортных происшествий показывает, что причиной значительного количества аварий является физическое состояние водителя. Используются системы контроля усталости водителя, неотъемлемой частью, которой является прибор наблюдения за параметрами дыхания.

Цель работы состоит в том, что реализовать систему, которая может использоваться для регистрации параметров дыхания при проведении процедуры физиотерапии, контроля дыхания водителя, спортсмена и т.п. В системе контролируется изменение объема грудной клетки, в которой возникает процесс дыхания. Основной принцип заключается в том, что накладывается ремень на верхнюю часть грудной клетки с упругим элементом. При процессе дыхания длина ремня изменяется, чтобы это было возможно к ремню прикрепить упругий элемент-резинка. Для этого необходимо выполнить задачу измерения.

Система состоит из датчика перемещения PAN3101[1], модуля преобразования сигнала на основе Arduino-совместимой микроконтроллерной платы[2], модуля дистанционной передачи данных Bluetooth HC-05[3]. Процесс измерения параметров дыхания системы, представленной на рисунке 1, происходит следующим образом: данные с датчика перемещения, через интерфейс стандарта SPI, передаются на модуль преобразования сигнала. После передачи данных через Bluetooth модуль передаются на компьютер или мобильный телефон, где происходит их обработка в среде LabView, с возможностью их дальнейшего преобразования и сохранения.

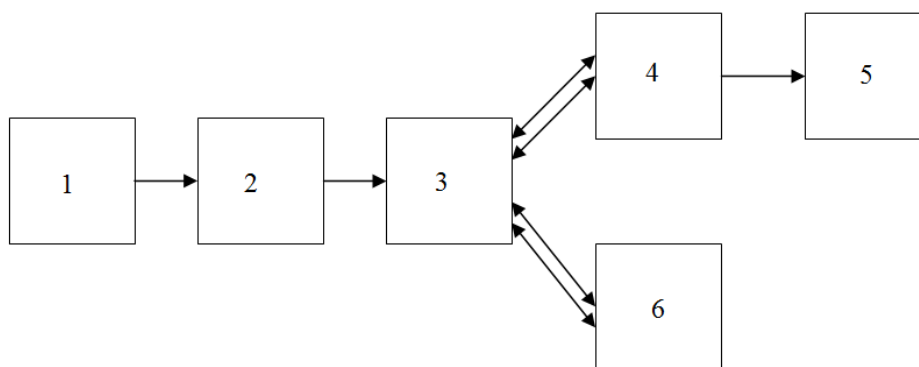


Рис.1. Блок-схема работы системы измерения и контроля параметров дыхания:

- 1 - датчик перемещения (оптический датчик PAN3101);
- 2 - модуль Arduino;
- 3 - модуль Bluetooth HC-05;
- 4 - принимающее устройство;
- 5 - персональный компьютер;
- 6 - смартфон (планшет...)

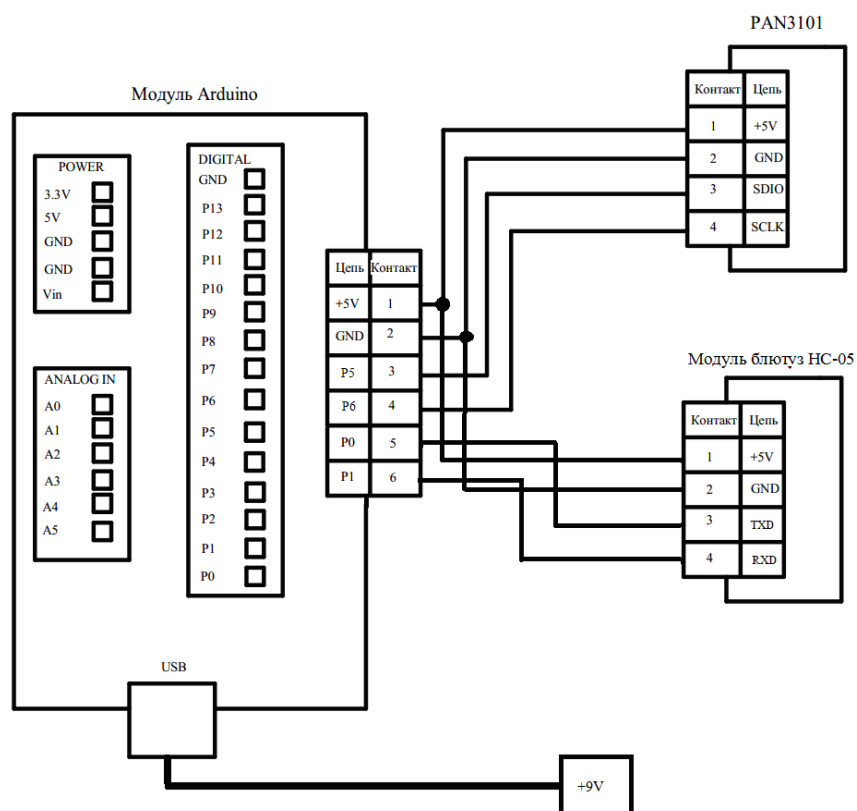


Рис.2. Схема подключения модуля Bluetooth HC-05 и датчика PAN3101 к модулю Arduino

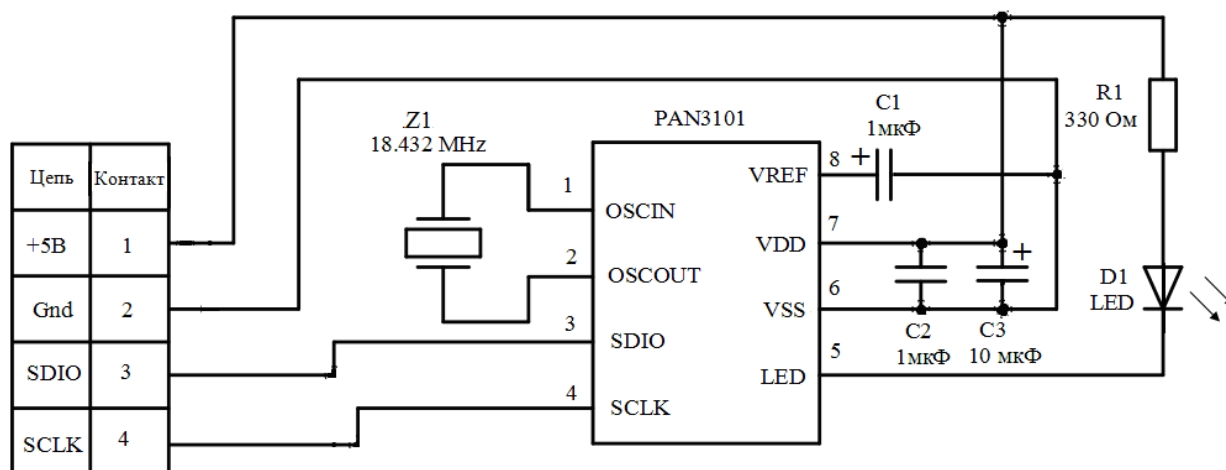


Рис.3. Принципиальная схема подключения датчика PAN 3101.

Сбор и первичная обработка данных производится с помощью программы написанной в среде LabView.

Данные переданные радиомодулем с модуля преобразования данных поступают на определенный порт персонального компьютера, проверяемой программы, на предмет наличия данных на нем. При выполнении этого условия, программа приступает к обработке и накоплению данных в массив. Частота записи данных задается программно и может быть изменена в зависимости от поставленной задачи. Программа хранит и отображает накопленные данные в синусоидальном виде. Дальнейшая обработка данных зависит от конкретной реализации параметров дыхания.

Таким образом, данный вариант системы измерения и контроля параметров дыхания отвечает ряд принципиальных требований и может быть использован в ряде практических приложений.

### Библиографический список

1. [http://www.pixart.com.tw/upload/PAN3101\\_V10\\_20051121170653.pdf](http://www.pixart.com.tw/upload/PAN3101_V10_20051121170653.pdf)
2. [arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno](http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno)
3. [robotclass.ru/articles/bluetooth-hc-05-06/](http://robotclass.ru/articles/bluetooth-hc-05-06/)

УДК 681.58; ГРНТИ 49.37.31

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

К.С. Василевский\*, И.А. Елизаров\*\*, С.С. Толстошеин\*\*\*

Тамбовский государственный технический университет,

Россия, Тамбов, [kvasilevskii@yandex.ru](mailto:kvasilevskii@yandex.ru)\*, [elial68@yandex.ru](mailto:elial68@yandex.ru)\*\*, [stolstoshein@yandex.ru](mailto:stolstoshein@yandex.ru)\*\*\*

*Аннотация.* В данной статье предлагается способ обеспечения информационного обмена между первичными измерительными преобразователями – датчиками температуры и базовой станцией сбора и передачи информации в контроллер системы автоматического контроля параметров хранения зерна.

*Ключевые слова.* Система автоматического контроля параметров хранения зерна, беспроводные технологии, информационный обмен, LoRa.

## USAGE OF WIRELESS TEMPERATURE SENSORS IN AUTOMATION SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

K.S. Vasilevskiy\*, I.A. Elizarov\*, S.S. Tolstoshein\*

*Tambov State Technical University,*

*Russia, Tambov, kvasilevskii@yandex.ru\*, elial68@yandex.ru\*\*, stolstoshein@yandex.ru\*\*\**

**Abstract.** This article proposes a method of providing information exchange between primary measuring transducers - temperature sensors and the base station of collecting and transmitting information to the controller of automatic system of controlling the grain storage parameters.

**Keywords.** Automatic system of controlling the grain storage parameters, wireless technologies, information exchange, LoRa.

### Введение

Любое производство, будь то машиностроительное, химическое, нефтеперерабатывающее, сельскохозяйственное предприятие, включает в себя огромное количество технологических процессов – совокупность элементарных производственных операций, так или иначе направленных на получение конечного продукта производства. С точки зрения систем управления, автоматизированный производственный процесс – многоуровневая система, в которой постоянно происходит информационный обмен между отдельными уровнями. В таком процессе в режиме реального времени производится постоянный обмен информацией между датчиками, модулями связи с объектом, контроллерами и исполнительными механизмами по цифровым высокоскоростным интерфейсам и промышленным протоколам передачи данных. Схема уровней типовой автоматизированной системы представлена на рисунке 1 [1].

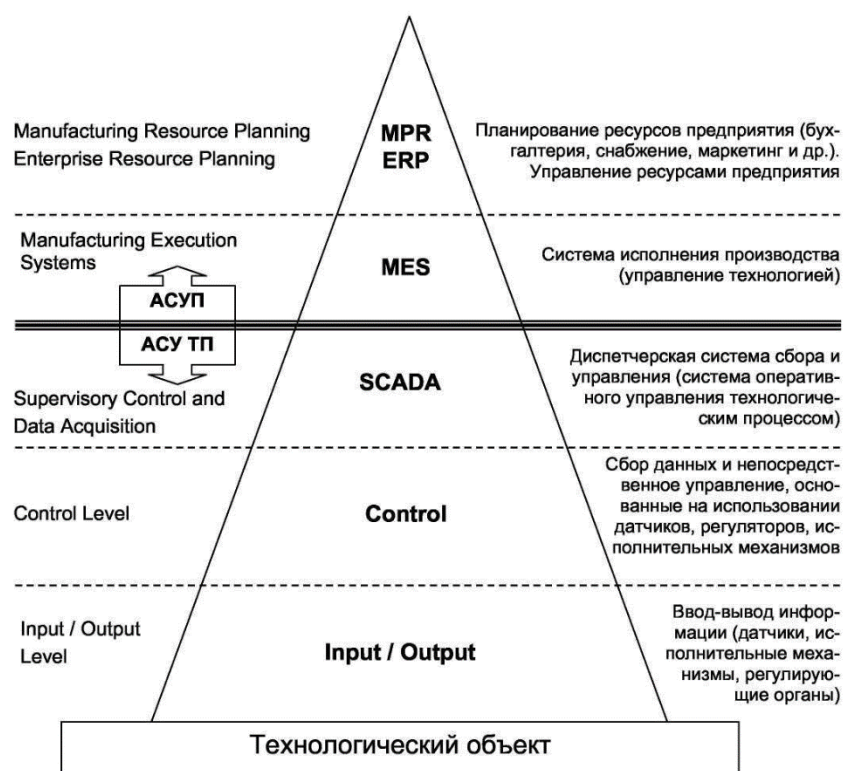


Рис. 1. Структура автоматизированной системы

В подавляющей большинстве случаев на производстве применяются проводные линии связи: интерфейсы RS-485, RS-232 и другие, что накладывает сильные ограничения по общей протяженности информационной линии, по количеству устройств в сети и т.д. [1]. В последнее десятилетие значительное распространение в системах автоматизации получили



оптические линии, которые обеспечивают огромный поток информации на большие расстояния с более высокой скоростью. Однако, применение оптических и медных линий в некоторых технологических процессах сильно осложнено конструкциями технологического узла, отсутствием кабеленесущих систем для прокладки кабелей, а также сопряжено с большими затратами на кабельно-проводниковую продукцию при использовании большого количества датчиков и исполнительных механизмов.

Проблемы, описанные выше, могут быть решены внедрением беспроводных технологий передачи информации при условии обеспечения такой же надежности обмена, присущей «классическим» медным или оптическим кабелям. Под надежностью в данном случае понимается:

- устойчивость приемо-передающей аппаратуры к факторам окружающей среды, т.к. часть измерительно-регулирующей аппаратуры устанавливается вне помещений;
- низкая чувствительность к электромагнитному излучению (ЭМИ), т.к. многие производства сопряжены с работами электроустановок, накладывающими существенные помехи на линии связи;
- защита от несанкционированного вмешательства в информационную систему;
- достоверность полученной информации, отправленной, используя данную технологию [2].

Во многих технологических процессах сельского хозяйства, например, в процессе хранения зерна, применение проводных датчиков не представляется возможным из-за необходимости проводить измерения во множественных точках объема зерна. При использовании кабельных линий сильно осложняется доступ технологов непосредственно к хранящемуся объему сырья, что делает оперативное вмешательство в ход технологического процесса практически невозможным [3]. В данном случае также целесообразно использование беспроводных сетевых технологий.

### Применение технологии LoRa

Главная задача автоматической системы контроля параметров хранения зерна – оперативный сбор, обработка и передача полученной информации о ходе технологического процесса в промышленный программируемый контроллер, с последующей передачей обработанной информации в автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора-технолога [1,3]. Для обеспечения информационного обмена между отдельным датчиком и контроллером по всем техническим характеристикам подходит современная технология беспроводного обмена информацией LoRa.

LoRa – беспроводная технология передачи небольших по объёму данных на дальние расстояния, разработанная для распределённых сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия и интернета-вещей. Данная технология является одной из беспроводных технологий, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, исполнительных механизмов и др.

Архитектура сети в рамках технологического процесса хранения зерновой массы достаточно проста:

Конечный узел (End Node)- элемент, осуществляющий измерительные или управляющие функции, то есть датчик, либо исполнительный механизм, осуществляющий непосредственный контакт с технологическим процессом и передающий «в сеть» полученную о нем информацию;

Базовая станция- шлюз (Gateway/Concentrator/Base) - устройство, принимающее данные от конечных узлов при помощи радиоканала и передающее их конечному потребителю, в данном случае- программируемому логическому контроллеру (ПЛК);

Сетевой сервер (Network Server) - контроллер, устройство, осуществляющее прием и обработку полученной информации из базовой станции.

Структура информационной сети автоматической системы контроля параметров хранения зерна представлена на рисунке 2.

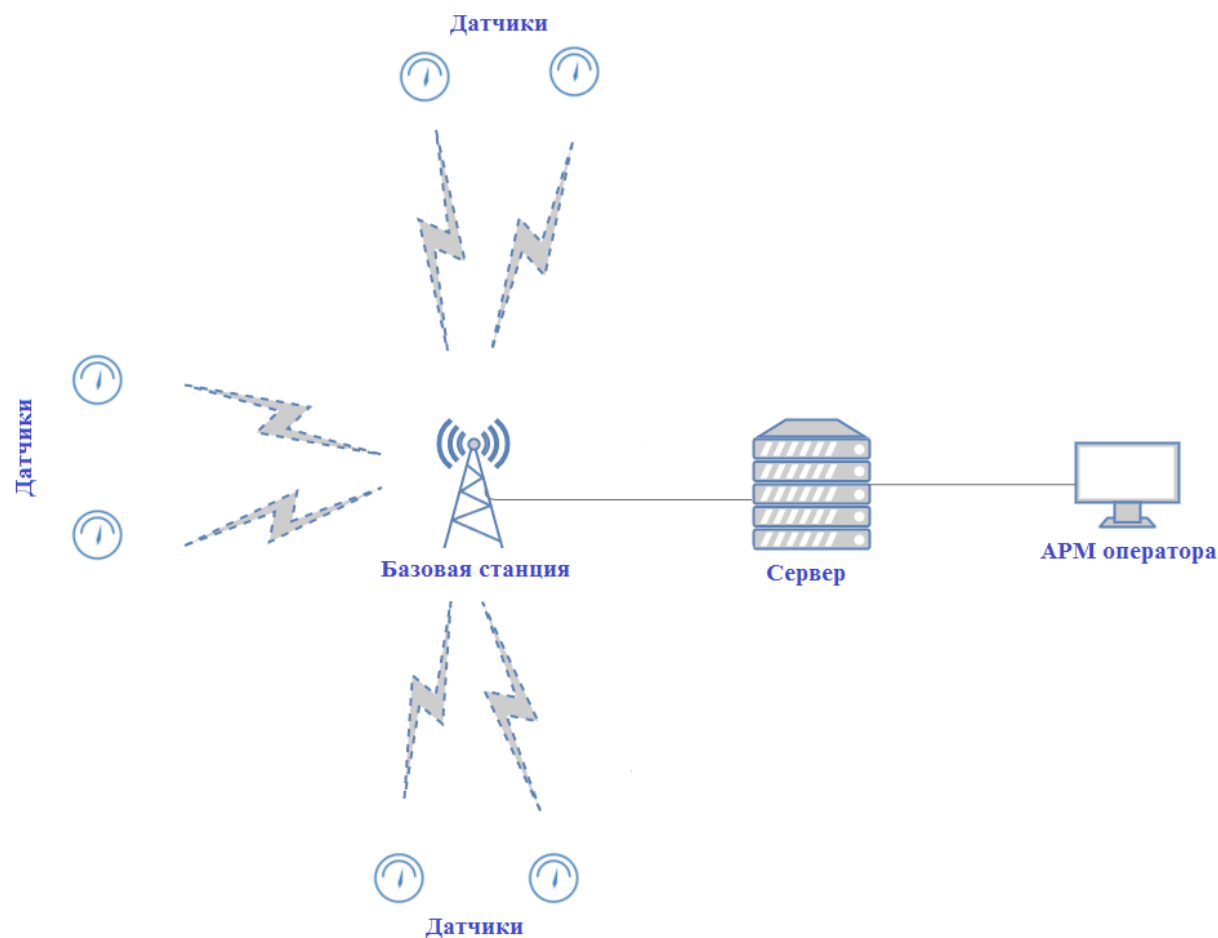


Рис. 2. Структура беспроводной информационной сети автоматической системы контроля параметров хранения зерна

Под датчиками в данной структурной схеме понимается комплектное устройство, состоящее из первичного измерительного преобразователя (термометра сопротивления) и модуля беспроводной передачи данных LoRa, осуществляющий непосредственную отправку информационных сообщений с использованием радиосети.

Базовая станция выполняет функции приема радиосигналов от датчиков и передачу полученной информации в ПЛК (на схеме – Сервер). В качестве автоматизированного рабочего места (АРМа) оператора используется персональный компьютер с предустановленной SCADA-системой.

### Протокол передачи данных

При использовании беспроводных датчиков в системе главной проблемой является обеспечение его качественным питанием, в данном случае существует система ограничений, накладываемых на элементы автономного питания. В качестве автономного питания предусматриваются батареи, немаловажным параметром которых является размер и емкость. Поскольку установка батарей с большой емкостью невозможна из-за конструктива датчика, то к беспроводному передатчику и измерительному преобразователю предъявляются серьезные

требования к энергоэффективности и ресурсосбережению. Данные требования можно выполнить, используя современный протокол передачи данных MQTT, особенность которого, в отличие от более привычных протоколов Modbus, TCP/IP, HTTP и др., является передача очень малого объема служебной информации, служащей лишь для функционирования протокола. По измерениям, выполненным в 3G-сетях, пропускная способность MQTT в 93 раза выше, чем протокола REST (Representational State Transfer), работающего «поверх» HTTP. Помимо этого, MQTT – простой открытый протокол, разработанный специально для маломощных устройств, поэтому для реализации данного протокола не требуются значительные вычислительные мощности, что повышает энергоэффективность автоматической системы в целом.

MQTT реализует модель «издатель–подписчик», используя минимальное количество методов. Они служат для указания действий, которые нужно выполнять. Эти действия сводятся к взаимодействию с брокером и к работе с темами и сообщениями. Агенты подключаются к брокеру, а затем либо публикуют темы и сообщения в них, либо подписываются на темы и получают сообщения, в этих темах опубликованные. Завершив работу, агент отключается от брокера. Вот как выглядят методы MQTT:

1. Connect – установить соединение с брокером;
2. Disconnect – разорвать соединение с брокером;
3. Publish – опубликовать тему на брокере;
4. Subscribe – подписаться на тему на брокере;
5. Unsubscribe – отписаться от темы на брокере.

MQTT поддерживает указание уровня качества обслуживания (QoS). А именно, существуют три таких уровня:

QoS 0. Этот уровень задействует стратегию «максимум однократная доставка сообщений». Приёмник сообщения не подтверждает их получение, отправитель, соответственно, передаёт сообщение лишь раз, не предпринимая попыток по их повторной передаче. Это – метод «отправил и забыл».

QoS 1. Здесь применяется подход «минимум однократная доставка сообщений». Гарантируется, что приёмник получит сообщение хотя бы один раз. При этом подписчик может получить одно и то же сообщение несколько раз. А отправитель будет предпринимать повторные попытки отправки до тех пор, пока не получит подтверждение в успешной доставке сообщения.

QoS 2. Этому уровню качества обслуживания соответствует самая медленная процедура доставки сообщений, но при этом он – самый надёжный. Его основная особенность – реализация стратегии «однократная доставка сообщений». При его использовании применяется четырёхступенчатая процедура подтверждения доставки сообщений.

Выбор конкретного уровня качества обслуживания зависит от особенностей передаваемых данных и от того, насколько важно, чтобы они были доставлены.

Благодаря точной детальной настройке периода выхода датчика в сеть, количества повторов, скорости передачи, качества обслуживания и др. производится экономия ресурсов встроенной в датчик батареи питания.

## Заключение

Решения, представленные выше, достаточно универсальны и могут быть применены не только в сельскохозяйственных процессах, но во многих других производственных технологических процессах ввиду их удобства и относительно низкой стоимости. Сдерживающим фактором в распространении беспроводных производственных технологий является малая изученность этого типа передачи данных, а также малая его распространенность в промышленности. Однако, в рамках рассмотренного технологического процесса хранения зерновых

культур применение беспроводной технологии LoRa является более чем обоснованным виду особенностей данного процесса.

### Библиографический список

1. Елизаров, И.А. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы. Учебное пособие / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, В.А. Погонин, В.Н. Назаров, П.М. Оневский // Издательство ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2015. с. 4-9.
2. Елизаров, И.А. Технические средства автоматизации. Учебное пособие /
3. И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г. Схиртладзе, С.В. Фролов // Машиностроение-1, 2004. с. 8-36.
4. Василевский, К.С. К слову о системе автоматического контроля параметров хранения зерна. Статья // Сборник статей «Магистратура». Издательство ФГБОУ ВО ТГТУ, 2018. с. 1-3.

УДК 616.71; ГРНТИ 76.13.15

## НЕИНВАЗИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Т.П. Муранова, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, muranowp@yandex.ru, gurzhin@mail.ru*

*Аннотация.* Проведен анализ свойств компонентов крови при их оптическом облучении для построения избирательного датчика. Предложена система неинвазивного, помехоустойчивого измерения уровня глюкозы.

*Ключевые слова.* Неинвазивная диагностика, инфракрасная спектроскопия, уровень глюкозы, оптические измерения.

## NONINVASIVE MEASURING LEVEL OF GLUCOSE IN BLOOD BASED ON INFRARED SPECTROSCOPY

T.P. Muranova, S.G. Gurzhin

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, muranowp@yandex.ru, gurzhin@mail.ru*

*Abstract.* The analysis of the properties of blood components during their optical irradiation for the construction of a selective sensor was carried out. A system of non-invasive, noise-immune measurement of glucose level is proposed.

*Keywords.* Non-invasive diagnostics, infrared spectroscopy, glucose level, optical measurements.

На основании сравнительного анализа неинвазивных методов определения уровня глюкозы в крови, проведенного авторами в статье [1], был выделен метод инфракрасной спектроскопии ближнего диапазона действия, выгодно отличающийся от других методов, прежде всего, оперативностью получения информации от объекта исследования, высокой помехоустойчивостью передачи данных и абсолютной безвредностью воздействия.

Оптические методы неинвазивной диагностики в общем случае заключаются в зондировании объекта световым потоком определенного диапазона и приеме ответного луча, отраженного от мишени или прошедшего через ткани, и позволяют получать подробные сведения о биохимическом составе и строении исследуемого участка мягких тканей и органов пациента. Величина регистрируемого при этом сигнала зависит как от коэффициента поглощения, так и от коэффициента рассеяния света перфузированной кровью ткани [2].

Поскольку кровь состоит из большого количества компонентов: воды, эритроцитов, лейкоцитов, меланина, протеинов, глюкозы, холестерина и др. возникает необходимость уже на этапе первичного преобразования измерительной информации произвести выборку и отделение ее основных составляющих. Опираясь на научные исследования [3], большой вклад в поглощение в красном и ближнем инфракрасном диапазонах излучения вносят вода (H<sub>2</sub>O), глюкоза и меланин.

Влияние сахара на кровь проявляется в изменении коэффициента рассеяния света. Рассеивающие свойства тканей зависят от разности коэффициентов преломления клеточных структур и межклеточной жидкости [4,5]. Увеличение концентрации глюкозы в межклеточной жидкости провоцирует уменьшение разности упомянутых показателей преломления и, вместе с тем, снижение коэффициента рассеяния [6].

Также можно привести ряд дополнительных факторов, влияющих на значение коэффициента рассеяния и тем самым конкурирующих с эффектом влияния глюкозы – таких, как изменение температуры, значение pH, наличие других осмотически активных веществ.

Для решения данной проблемы предлагается использовать источники излучения в виде светодиодов разных длин волн, соответствующих максимумам спектров поглощения оптического излучения глюкозы, воды и меланина (рис. 1).

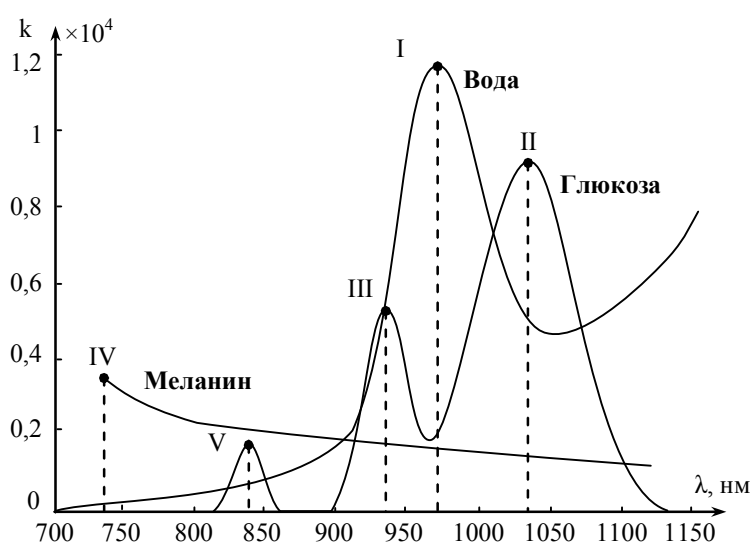


Рис. 1. Спектры поглощения глюкозы, воды и меланина в красном и ближнем инфракрасном диапазонах излучения

Последовательность включения светодиодов при облучении биологической ткани также позволит на приемной стороне избирательно подойти к выделению полезной информации, т.е. точнее определить концентрацию глюкозы.

Известно, что спектр поглощения оптического излучения глюкозы в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн от 800 нм до 1100 нм имеет выраженные и различные максимумы вблизи длин волн 1040 нм, 940 нм и 840 нм [3].

Определение концентрации глюкозы в крови предлагается осуществлять на основании суммы электрических сигналов, полученных при облучении биологической ткани световым потоком второго, третьего и пятого диапазонов, где расположены три максимума спектра поглощения глюкозы.

Наличие воды приводит к искажению полезного сигнала из-за поглощения ею оптического излучения второго, третьего и пятого диапазонов длин волн, и при этом вносит наиболее существенную погрешность измерения при определении концентрации глюкозы.

Спектр поглощения оптического излучения меланина в диапазоне длин волн от 700 нм до 1100 нм не имеет максимумов, а носит достаточно равномерный характер, но его значение даже превышает значение максимума спектра поглощения глюкозы вблизи длины волны 840 нм. Это приводит к искажению полезного сигнала, обусловленного поглощением глюкозой

оптического излучения пятого диапазона длин волн, более, чем на 100%. Наличие в исследуемой биологической ткани меланина вызывает увеличение суммарного сигнала, обусловленного поглощением глюкозой оптического излучения второго и третьего диапазонов длин волн, на 30-40%. Однако, в этом случае, маскируется конкретная концентрация глюкозы, тем самым также вносится существенная погрешность измерения. Таким образом, исключая влияние сигналов, определяющих содержание в крови воды и меланина можно значительно повысить точность измерений.

При дальнейшей обработке уровень суммарного сигнала уменьшается на значения, соответствующие электрическим сигналам, полученными при облучении биологической ткани только световым потоком первого диапазона I, где расположен максимум спектра поглощения воды и четвертого диапазона IV, по которому оценивается концентрация меланина.

В качестве приемника оптического излучения необходимо использовать фотодиод, чувствительный к оптическому излучению в диапазоне длин волн, перекрывающим спектры поглощения воды, глюкозы и меланина.

Для реализации неинвазивного измерителя уровня глюкозы в крови разработана обобщенная функциональная схема системы, представленная на рисунке 2.

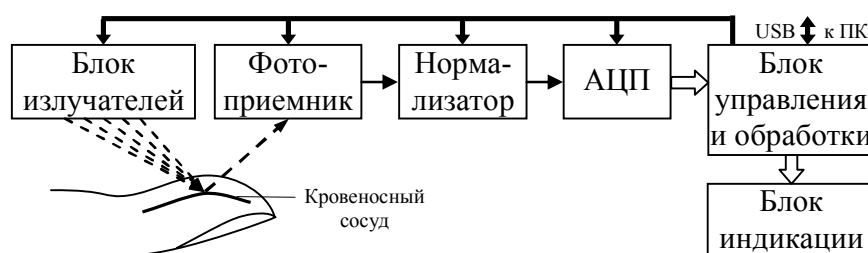


Рис. 2. Функциональная схема неинвазивного измерителя уровня глюкозы в крови

Блок излучателей содержит 5 светодиодов, которые поочередно в в определенной последовательности облучают биологическую ткань инфракрасным излучением различных диапазонов с различными длинами волн, часть которого поглощается, а часть диффузно отражается и попадает на фотоприемник светового потока, который преобразует ее в электрический сигнал.

Блок нормализации автоматически приводит суммарный электрический сигнал с выхода фотоприемника к диапазону аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для максимально точного кодирования мгновенных значений сигнала. Последовательность цифровых отсчетов воспринимается блоком управления и обработки, который производит анализ поступающих значений, их оперативную обработку и регистрацию в необходимом объеме. В свою очередь блок управления в соответствии с программой работы осуществляет включение светодиодов, синхронизирует моменты приема отраженных световых потоков, производит переключение нормализатора для согласования диапазонов, задает частоту дискретизации АЦП, т.е. полностью отслеживает процесс измерения. Результаты анализа оперативно отображаются на блоке индикации. Для более детального исследования крови на содержание сахара за продолжительный период лечения, сохранения результатов в большем объеме, их дополнительной обработки и возможности проведения периодических проверок и калибровок предусмотрена связь через USB-порт с персональным компьютеров (ПК).

Разрабатываемое специальное программное обеспечение (ПО) в среде графического программирования LabVIEW, установленное на ПК, позволит, прежде всего, произвести тонкую настройку параметров системы под индивидуальные особенности пациента в месте

съемы информации с целью повышения чувствительности датчика. С помощью ПО предполагается корректировать алгоритмы обработки в зависимости от реальных условий измерения и уровня помех, для более качественного выделения полезного сигнала.

Сложность регистрации слабых сигналов зависит не только из-за малого отношения сигнал/шум, но и от возможности возникновения сторонних погрешностей, проявляющихся как в самом принципе измерения глюкозы в крови, так и в его технической реализации.

К сторонним погрешностям можно отнести:

погрешности, зависящие от внешнего освещения, которое исказит информацию о количестве отраженного света.

погрешности, появляющиеся как следствие движений пациента.

погрешности, связанные с различными деформациями пальца, приводящими к пережатию сосудов.

Метод инфракрасной спектроскопии принятый за основу для разработки функциональной схемы неинвазивного измерителя уровня глюкозы в крови, в сочетании с использованием специального программного обеспечения и определенного конструктивного решения позволит уменьшить влияние внешних помех, сделать результаты измерений и диагностики более достоверными.

### Библиографический список

1. Муранова Т.П., Гуржин С.Г. Принципы построения оперативного неинвазивного измерителя уровня глюкозы в крови. // Сб. тр. XXX Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биомедсистемы-2017». – Рязань: ИП Коняхин (Book Jet), 2017. 612 с. С. 185-187.
2. New Methodology to Obtain a Calibration Model for Noninvasive Near-Infrared Blood Glucose Monitoring / K.Maruo, T.Oota, M.Tsurugi et al. // Applied Spectroscopy, 2006, 60(4).
3. Получение термостабилизированного спектра и его обработка [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.amp.life3000.ru/articles/poluchenie-termostabilizirovannogo-spektra-i-ego-obrabotka.html> (дата обращения: 15.02.2018).
4. Possible correlation between blood glucose concentration and the reduced scattering coefficient of tissues in the near infrared / J.Maier, S.Walker, S.Fantini et al. // Optics Letters, 1994, 19(24).
5. Correlation between blood concentration in diabetics and noninvasively measured tissue optical scattering coefficient / T.Bruulsema, J.Hayward, T.Farrell et al. // Optics Letters, 1997, 22(3).
6. Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – СПб.: «Невский Диалект»; – М.: «Издательство БИНОМ», 2000. 301 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО МИКРОПУЧКА В БИОЛОГИЧЕСКИХ МИКРОИССЛЕДОВАНИЯХ

Д.Г. Филон

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, г. Рязань, fillzz786@gmail.com

*Аннотация.* В данной статье пойдет речь о использовании лазерного микропучка в биологических микроисследованиях, а именно, о фемтосекундном лазере, возможностях его применения и воздействия на биологические организмы и ткани.

*Ключевые слова.* Микропучок, фемтосекундный лазер, тутовый шелкопряд

## USE OF A LASER MICROBEAM IN BIOLOGICAL MICROSTUDIES

D.G. Filon

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

Abstract. This report will focus on the use of a laser microbeam in biological micro-studies, namely, on a femtosecond laser, the possibilities of its use, and the effect on biological organisms and tissues.

Keywords. Microbeam, femtosecond laser, silkworm

Использование лазера в медицине и биологии, нашло своё применение практически с момента его создания. Уже в 1964 году был создан газовый CO<sub>2</sub> лазер непрерывного действия на алюмоитриевом гранате с длиной волны 1064нм. Вода очень хорошо поглощает его излучение, а так как мягкие ткани человека в основном состоят из воды, то данный тип лазера стал отличной заменой обычному скальпелю. Применение CO<sub>2</sub> лазера для разрезания тканей, свело кровопотери к минимуму, что и обусловило его использование в хирургии. Чуть позже стало возможным применение лазерной технологии в косметологии, в связи с разработкой импульсного лазера. Большим плюсом таких лазерных систем является точное воздействие на проблемную зону, без повреждения тканей вокруг.

Большим вкладом в науку и медицину в целом, стало использование лазера в офтальмологии. Диагностика, коррекция, возврат потерянного зрения, задача очень важная. Но для её решения обычные лазеры, по типу газовых, не подходят, т.к избыточная мощность и недостаточная фокусировка лазерного пучка, не позволяют выполнять такие сложные операции. Тогда был разработан и создан, узкоспециализированный, фемтосекундный лазер.

Фемтосекундный лазер (лазер сверхкоротких импульсов)- оптический квантовый генератор способный генерировать и испускать импульсы лазерного излучения короче 1пс, то есть в области фемтосекунд (1фс= 10-15с)

Генерация ультракоротких импульсов (УКИ) в таком лазере, происходит в двух случаях:

1)Окно усиления, создаваемое тем или иным нелинейным элементом, производит дискриминационное выделение интенсивного пика из структуры многомодового излучения свободно генерирующего лазера.

2)Генерация начинается на одной из мод, но в результате межмодового взаимодействия , генерация активируется и на других модах с необходимой разностью фаз и относительной интенсивностью. В итоге, картина полностью повторяет первый случай.

Таким образом, с помощью УКИ, формируется лазерный микропучок высокой точности. Например: лазерный импульс длиной в 250фс, формирует лазерный микропучок в 5 мкм. Возможность фокусировать пучок таких размеров позволяет моделировать тончайший лоскут глазной роговицы с точным определением центровки, диаметра, толщины, при минимальном нарушении архитектуры глаза.

В данной работе, на рассмотрение предлагается использование фемтосекундных лазерных систем, т.к для проведения экспериментальных и теоретических исследований, только они обладают необходимым набором характеристик. Суть эксперимента заключается в воздействии лазерного излучения на биологические организмы, а именно на тутового шелкопряда. Важность использования его как объекта воздействия продиктована следующими причинами:

1)Тутовый шелкопряд-это единственное полностью одомашненное насекомое, которое может плести паутину. Паучья паутина является более крепкой, она в несколько раз прочнее таких материалов как сталь и кевлар, именно поэтому может быть использована во многих



сферах и структурах, начиная от создания пуленепробиваемых жилетов и всевозможных вакцин ,заканчивая электроникой . Но из-за сложностей размножения пауков, её количества для коммерческого производства сильно не хватает.

2)Вторая причина тесно связана с первой, тутовый шелкопряд один из немногих биологических организмов, который на данный момент может переносить процессы связанные с изменением ДНК, добавлением геномов других особей и искусственным размножением. При удачном вводе ДНК в яйцо шелкопряда, можно получать до 500 новых яиц, которые будут в точности повторять особь, чья ДНК была введена. К третьему поколению, число яиц, выведенных таким способом, увеличивается до 30 тонн.

Но на данном этапе существует проблема. Искусственный ввод генома другой особи возможен только механическим способом, то есть вручную. Это долгая и кропотливая работа, требующая серьёзных навыков и знаний, поскольку размер яйца, в которое нужно вводить ДНК, составляет от 1 до 2мм. Процесс ввода заключается в следующем: яйца тутового шелкопряда устанавливаются на специальную подложку строго ориентированным образом и фиксируются. После чего, под микроскопом в определённой точке (размер от 0,5 мм до мкм), с помощью микрокальпеля делается надрез и через микропипетку вводится необходимый компонент.

Чтобы довести этот процесс до автоматизма и свести количество ошибок к минимуму, была предложена идея использования лазерной системы, которая должна выполнять роль скальпеля и проделывать отверстия нужного размера и толщины, не повреждая яйцо.

После проведения анализа существующих в настоящий момент лазерных фемтосекундных систем, было выявлено 3 модели, наиболее подходящих для данного вида работ.

| Характеристика                           | Femto LDV                        | Intralase     | Zeiss          |
|------------------------------------------|----------------------------------|---------------|----------------|
| Тип лазера                               | Твердотельный, ИК                | Усиленный, ИК | Волоконный, ИК |
| Продолжительность импульса               | Менее 250фс                      | 800фс         | Более 500фс    |
| Частота повторения импульсов             | Более 5 МГц                      | 60-150кГц     | 200кГц         |
| Энергия импульса                         | Менее 100нДж                     | 1.5-7.8 мДж   | 300нДж         |
| Расстояние от линзы до точки фокусировки | 1.5мм                            | 7см           | 3см            |
| Размер пятна фокусировки                 | 2мкм                             | 5-7мкм        | 5мкм           |
| Размер рабочего поля                     | Небольшое за счет движения линзы | 10мм          | 9.5мм          |
| Всё рабочее поле                         | 11мм                             | 10мм          | 9.5мм          |
| Наибольший диаметр лоскута               | 10.5мм                           | 9.5мм         | 9.2мм          |
| Контроль создания лоскута                | На специальном мониторе          | Визуально     | Визуально      |
| Время стандартной операции               | 1мин                             | 5-15мин       | 2мин           |

К достоинству лазеров фирм Femto LDV, Zeiss и Intralase стоит отнести размер пятна фокусировки от 2 до 5мкм, минимальные мощности лазерного излучения а также возможность работы в микросреде.

### Библиографический список

1. Ella G. Faktorovich. Femtodynamics: A Guide to Laser Settings and Procedure Techniques to Optimize Outcomes with Femtosecond Lasers. 2009.
2. Козлов С.А Самарцев В.В Основы фемтосекундной оптики. 2009.

УДК 681.268

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ****А.И. Ерёмин, О.А. Бодров***Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, г. Рязань, eryomin95@list.ru**Аннотация.* Рассматриваются методы измерения расхода сыпучих веществ, оцениваются их достоинства и недостатки.*Ключевые слова.* Расход сыпучего материала, расходомер.**METHODS OF FLOW MEASUREMENT OF BULK MATERIALS****A.I. Eremin, O.A. Bodrov***Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, eryomin95@list.ru**Abstract.* The methods of measuring the flow of bulk substances are considered, their advantages and disadvantages are evaluated.*Keywords.* The flow rate of bulk material, flowmeter.

Измерение расхода сыпучего вещества необходимо в производстве для контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Процессы технологического цикла основываются на смешивании различных компонентов и ингредиентов, входящих в состав продукта на стадии изготовления. Расходомер позволит строго соблюдать соотношение ингредиентов, что уменьшит выбраковку продукта. Прибор основывается на учёте расхода вещества, который представляет собой массу или объем, проходящего через определенное сечение трубы в единицу времени, и подразделяется на объемный расход и массовый расход [1].

Существуют множество типов расходомеров сыпучих веществ. Они применяются в различных случаях в зависимости от их достоинств и недостатков [2]. Рассмотрим основные типы расходомеров.

**Ударный расходомер**

Ударный расходомер - для их применения необходимо создать с помощью труб траекторию движения вещества, которое будет ударяться об чувствительную пластину. Сила удара измеряется с помощью датчиков веса или линейных дифференциальных преобразователей. Принцип действия заключается в том, что чем сильнее ударяет сыпучее вещество на пластину, тем мощнее будет сигнал. Достоинством данного метода является то, что они могут преобразовывать как большие, так и малые расходы вещества. Так же остатки материала на пластине не повлияют на точность измерений, которая составляет 1%. Кроме того, ударные расходомеры обладают широким диапазоном измерений: 0-800 т/ч. Попадание продукта на пластину не влияет на точность измерения данных. Данная технология успешно используется на протяжении последних лет. Еще одним достоинством данных расходомеров является то, что они могут быть компактно спроектированы. Следует отметить, что изготовление ударных расходомеров очень трудоемкая задача, так как устройство измеряет расход в пыльной среде, и при этом должно иметь пыленепроницаемые корпуса. Кроме того, данный расходомеры обладают достаточно простой очисткой и калибровкой [3].

**Кориолисовый расходомер**

Кориолисовый расходомер – расходомер, применяемый для измерения сыпучих тел, с использованием кориолисового метода. Материал, попадая в расходомер, поступает на крыльчатки, которые приводятся в движение силовой установкой. К силовой установке присоединен рычаг с размещенным на нем датчиком веса. При попадании сыпучего вещества на крыльчатки нагрузка на силовую установку становится больше. Это изменение фиксирует

датчик веса и в последствии поступает на микроконтроллер, где рассчитывается расход во времени. Данные расходомеры сыпучих веществ применяются при высокой скорости потока. В кориолисовом расходомере точность измерений практически не уступает расходомеру, рассмотренному выше и составляет 1 %. Недостатком данного расходомера является необходимость постоянной замены материалов лопастей расходомера. Так же не рекомендуется применять данный метод для вещества, частицы которого имеют большие размеры, из-за угрозы засора устройства. Для данного расходомера силовая установка питается от переменного тока с напряжением 120-600 В, в то время как другие устройства имеют стандартное питание [3].

### **Микроволновый расходомер**

Микроволновый расходомер – измерение расхода основано на микроволнах, излучение которых варьируется в диапазоне от 25 ГГц до 126 ГГц. Принцип данного метода построен на эффекте Доплера, где изменение микроволн фиксируется приемником, а затем микроконтроллер преобразует поступающий сигнал в расход вещества. В данном расходомере сила потока, определяемая подачу сыпучего вещества, не влияет на расход, что показывает целесообразность его применения в системах пневматического типа. Микроволновый расходомер имеет достаточно низкую стоимость, но при этом обладает невысокой точностью [3]. Данный тип расходомеров используется для мобильного производства, где нет необходимости в точном измерении. Рассматриваемые расходомеры обладают достаточно простой и быстрой калибровкой, и не требуется ввода в трубопровод дополнительных устройств, что делает его использование удобным и простым. Недостаток данного метода заключается в его низкой точности измерения.

### **Микроволновый расходомер**

Микроволновый расходомер – расходомер в основе которого лежит независимости друг от друга двух измерений. На первом шаге измеряется емкость пустого аэрожелоба, пропорциональная концентрации измеряемого материала. На втором шаге с помощью двух датчиков измеряется скорость. Измеряется время за которое вещество перемещается от одного датчика до другого. После этого результаты полученных измерений поступают на интегратор, где происходит вычисление расхода вещества. Расходомеры рассматриваемого типа появились сравнительно недавно. Способ, основанный на измерении двух величин позволяет повысить точность определения расхода вещества, но при этом у данного устройства есть недостаток, заключающийся в невозможности работы с большими объемами вещества. Установка расходомера очень проста и легка и не требует квалифицированного персонала. Применение данного типа расходомеров целесообразно в таких системах, как пневматические и самотечные системы, а также имеет определенные преимущества в отношении больших механических устройств. Помимо этого, рассматриваемые расходомеры обладают возможностью измерения расхода вещества в труднодоступных местах. [3].

### **Центробежный расходомер**

Центробежный расходомер - центробежный расходомер является измененным видом ударного расходомера. Центробежный расходомер сыпучих материалов измеряет расход через измерения силы воздействия. Принцип действия данного расходомера основан на измерении силы, с которой воздействует материал на изогнутую пластину. При этом датчики веса прикреплены к изогнутой пластине. Направление потока измеряемого объекта должно быть параллельно пластине. Тогда при движении этого объекта по криволинейной траектории возникает тангенциальная сила, поступающая на интегратор. Интегратор переводит силу осуществляемого воздействия с помощью математического аппарата в расход вещества. Для

сыпучих материалов центробежные расходомеры обладают одной из самых высоких точностей, но измеряемый материал не должен быть липким. В противном случае он будет налипать на пластину с высокой чувствительностью и сигнал с данного расходомера будет смещаться. В этом случае измерение будет производиться как тангенциальное усилие. Следует отметить, что конструкция центробежного расходомера определяет предельный расход сыпучего вещества, но при этом может включать в себя пыленепроницаемые корпуса. Кроме того данные расходомеры обладают достаточно простой калибровкой [3].

В результате анализа указанных расходомеров можно сделать вывод, что большинству сформулированных требований технического задания системы измерения расхода веществ наиболее полно удовлетворяют центробежные расходомеры. Основное преимущество такого расходомера заключается в том, что он не требует ввода в трубопровод дополнительных устройств. Так же достоинствами центробежных расходомеров являются: измеряемая величина - момент реактивных сил не зависит от физико-механических свойств продукта и начальной скорости частиц при постоянной скорости вращения крыльчатки; точность не зависит от влажности продукта в пределах 10-20 %. Центробежные расходомеры зарекомендовали себя как надежные в работе устройства, которые имеют высокую точность и достаточно универсальны. Данные аспекты делают их перспективным для разработки систем различного назначения.

### Библиографический список

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

УДК 57.087.1; ГРНТИ 76.13.25

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПАЦИЕНТА ФИЗИОТЕРАПИИ

Чан Туан Зунг

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, dungdk4@gmail.com*

*Анотация.* Актуальность внедрения мониторинга пациента заключается в создании простой системы контроля дыхания с помощью датчиков.

*Ключевые слова.* Датчик дыхания, параметры дыхания, микросхема LDC1000 .

## MEASURING DIAGNOSTIC SYSTEM OF CONTROL OF RESPIRATORY ACTIVITY OF A PATIENT OF PHYSIOTHERAPY

Tran Tuan Dung

*Ryazan State Radio Engineering University  
Russia, Ryazan, dungdk4@gmail.com*

*Abstract.* The urgency of introducing patient monitoring is to create a simple breathing control system with the help of sensors.

*Keywords.* Breathing sensor, breathing parameters, chip LDC1000.

### Введение

Целью разработки является создание простой системы контроля дыхания с помощью датчиков для мониторинга основных параметров состояния здоровья человека (прежде всего

дыхательной деятельности) в условиях физиотерапевтических процедур. При этом концентрируем внимание на максимальной комфортности пациента при проведении диагностики. Для дыхательной деятельности пациента в работе используется метод импедансной пневмографии [1]. Данный метод имеет ряд достоинств: высокая линейность преобразования, высокая уровня комфортности пациента, низкая стоимость системы.

### Индуктивный датчик

Для регистрации дыхательной деятельности существуют различные методы: вихретоковый метод, термисторный метод, импедансная пневмографии, и так далее. В данной работе для регистрации дыхательной деятельности пациента используется импедансная пневмографии метод [2]. Данный метод имеет ряд достоинств: высокая линейность преобразования, высокая уровня комфортности пациента, низкая стоимость системы.

Функциональная схема метода измерения дыхательной деятельности на основе применения индуктивного датчика показана на рисунке 1.

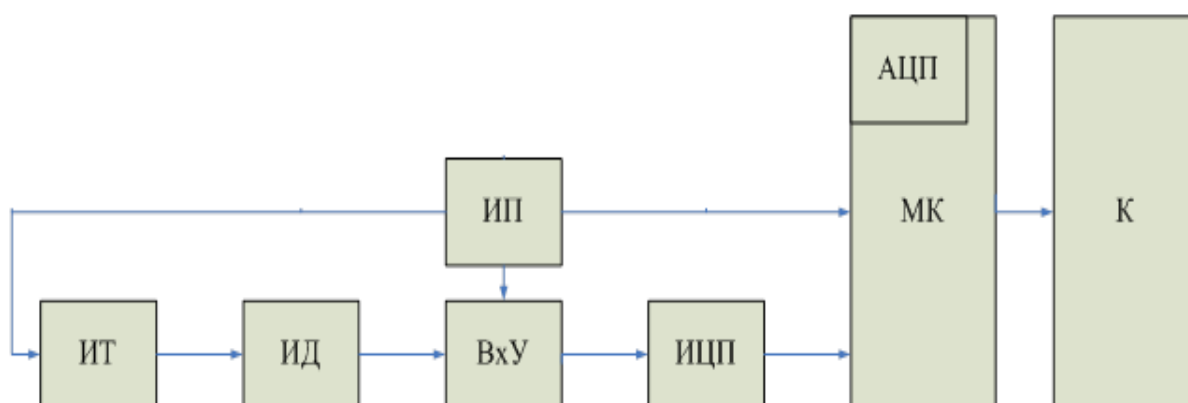


Рис. 1. Функциональная схема метода измерения дыхательной деятельности с индуктивным датчиком

Регистрация параметров дыхания осуществляется с помощью индуктивного датчика (ИД). Датчик дыхания состоит из катушки. При работе переменный электрический ток, проходящий через катушку возбуждения, создает переменное магнитное поле. Выходной аналоговый сигнал, снимаемый с индуктивного датчика (ИД) с помощью входного устройства (ВхУ), преобразовывается в цифровой сигнал с помощью индуктивно-цифрового преобразователя LDC1000 (ИЦП) [3]. На рисунке 2 изображена функциональная схема LDC1000.

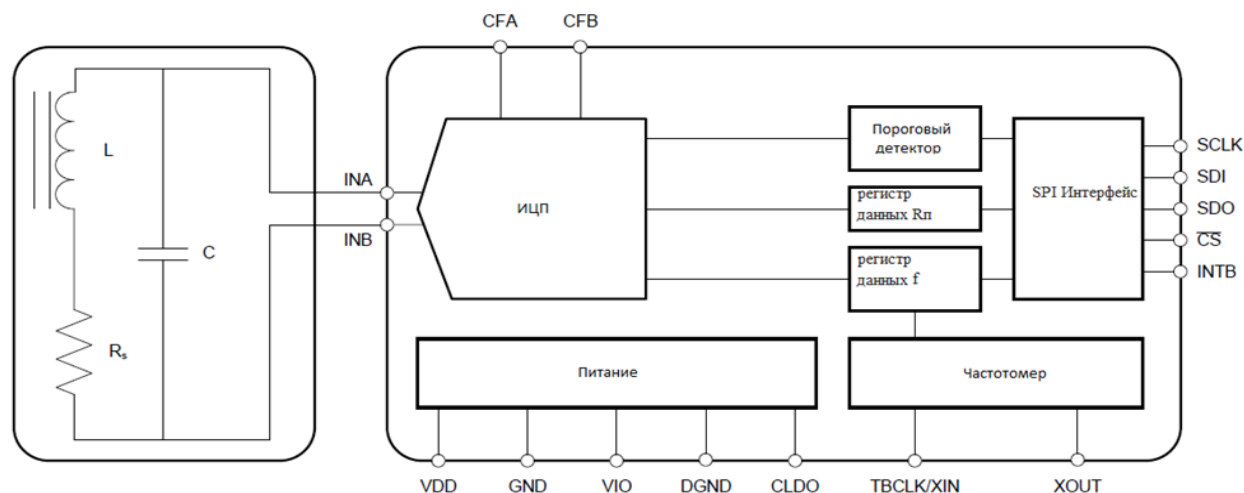


Рис. 2. Функциональная схема LDC1000

LDC1000 это индуктивно-цифровой преобразователь. Он позволяет измерять импеданса резонанса. Он решает эту задачу путем регулирования амплитуды колебания в замкнутом контуре на постоянном уровне во время контроля энергии. Контролируя количество энергии, вводят в резонатор, LDC1000 может определить значение в цифровом виде. Пороговый блок детектора обеспечивает компаратор с гистерезисом. Микросхема имеет 4х-проводной SPI интерфейс. INTB вывод выполняет несколько функций, которые программируются с SPI интерфейсом. Устройство имеет отдельные источники аналоговую и цифровую (для аналоговых, работающие на 5В и для цифровых, работающие на 1.8 – 5В)[4]. На рисунке 3 изображена схема подключения индуктивного датчика к микросхеме LDC1000. Данные передаются на микроконтроллер (МК) посредством последовательного SPI интерфейса. Далее данные передаются одновременно с сердечным сигналом на персональный компьютер (К) через USB интерфейс. Запись данных обеспечивается при помощи программной среды разработки LabView[5].

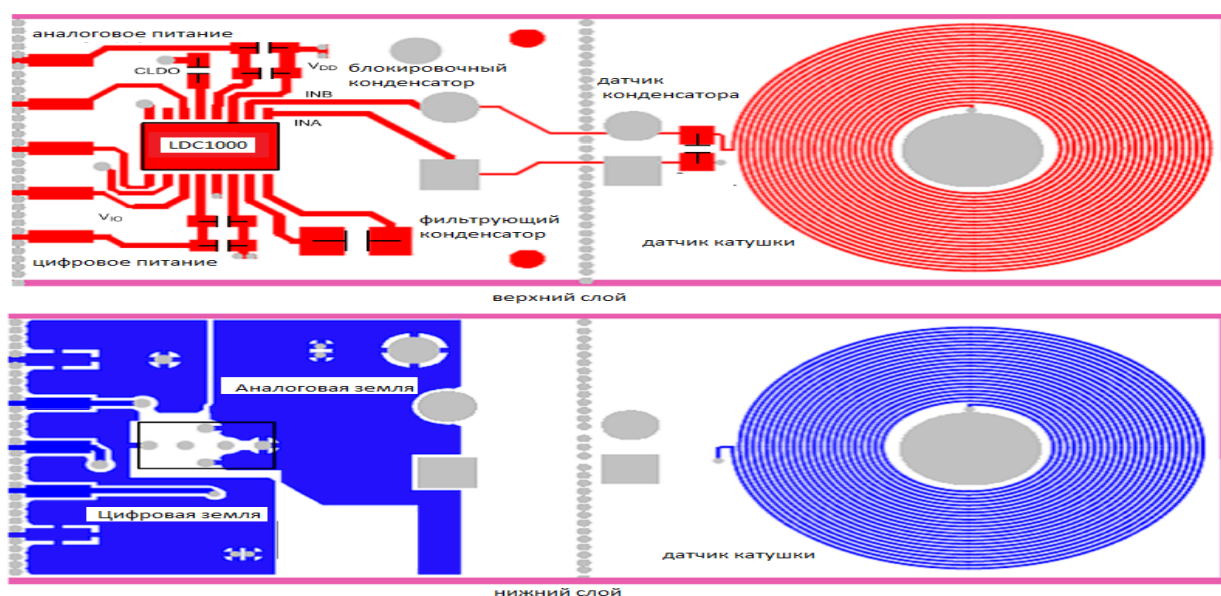


Рис. 3.. Схема подключения индуктивного датчика к микросхеме LDC1000

Моделирование сигнала в среде LabView показана на рисунке 4.

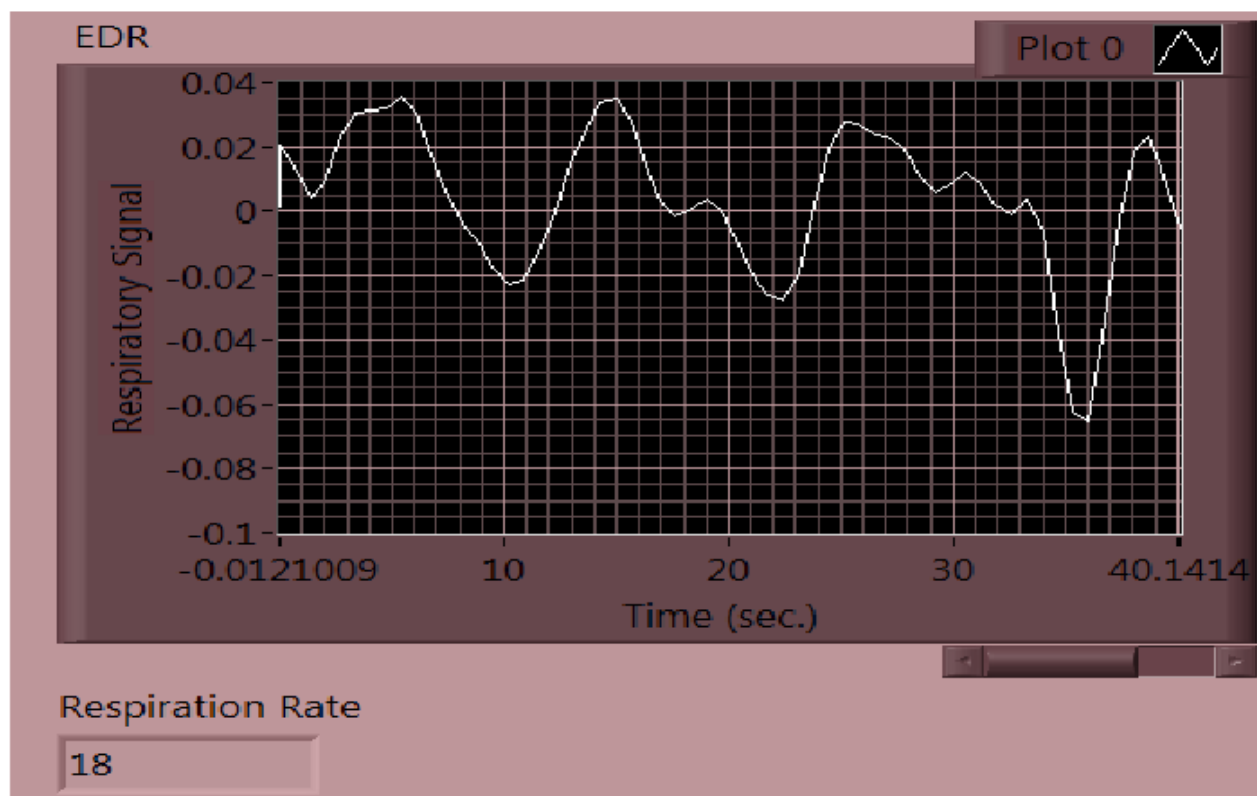


Рис. 4 . Регистрация дыхания с помощью отладочной платы на базе LDC1000

## Выводы

Микросхема LDC1000 не измерить сопротивления напрямую вместо этого он измеряет эквивалентное параллельное резонансное сопротивление . Данная разработка может найти свое применение в системах регистрации состояния пациента, системах суточного мониторинга параметров пациента, а так же в аппаратах искусственной вентиляции легких для контроля эффективности режимов.

## Библиографический список

1. "Derivation of Respiration from ECG Measured Without Subject's Awareness Using Wavelet Transform". IEEE Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference, October 23-26, 2002.
2. D. Campillo, R. Guardarrama, R. González et al. A Real Time ECG Preprocessing System Based on ADS1298. Computing in Cardiology. 2013 P. 947-950
3. Jusine Boyle, Niranjana Bidargiddi, Antti Sarela, Mohan Karunanithi, "Automatic Detection of Respiration Rate From Ambulatory Single-Lead ECG", IEEE transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 13, No. 6, November 2009, pp 890-896
4. Патент № 2064777. Максимов Г.И., Сивачев А.В., Шубин Н.Т., Корчагина Г.А. Устройство для измерения параметров дыхания
5. Дж.Трэвис, Дж.Кринг ( Lab VIEW для всех 4-е издание ) , 2011



УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.25

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ В РЕАБИЛИТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

**М.С. Ашапкина\*, А.В. Алпатов\*, А.А. Чекушин\*\****\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, mashaashapkina@gmail.com, alpatov-alexey@yandex.ru**\*\* Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова,  
Россия, Рязань, rmi-62@rambler.ru*

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются новые медицинские технологии сопровождения пациента с помощью мобильных систем. Разрабатываемая система позволит контролировать правильность выполнения лечебно-профилактических упражнений как в стационарный, так и в амбулаторный периоды восстановления работоспособности опорно-двигательного аппарата после травм и нарушений. Также система будет выдавать индивидуальные рекомендации и напоминать о своевременном чередовании отдыха и выполнения необходимых нагрузок.

**Ключевые слова.** Реабилитация опорно-двигательного аппарата, мобильные системы, лечебная физкультура, датчики движения смартфона.

## MODERN MEDICAL TECHNOLOGIES OF PATIENT SUPPORT IN THE REHABILITATION PERIOD

**M.S. Ashapkina\*, A.V. Alpatov\*, A.A. Chekushin\*\****\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, mashaashapkina@gmail.com, alpatov-alexey@yandex.ru**\*\* Ryazan State Medical University,  
Russia, Ryazan, rmi-62@rambler.ru*

**Abstract.** In this work, new medical technologies for accompanying patients using mobile systems are considered. The developed system will allow to supervise correctness of performance of therapeutic and preventive exercises in stationary and ambulatory periods of recovery efficiency of the musculoskeletal system after injuries and disorders. Also system will provide individual advice and remind the timely alternation of the alternation of rest and perform the required loads.

**Keywords.** Rehabilitation of the musculoskeletal system, mobile systems, exercise therapy, motion sensors smartphone.

### Введение

Широкое проникновение технологии мобильной связи в повседневную жизнь сделало возможным перенос функционала компьютерных систем с рабочего стола в карман пациента. Современный смартфон – это высокопроизводительный компьютер, оборудованный множеством различных датчиков, видеокамерой реального времени, оснащенный скоростным каналом доступа к ресурсам сети интернет. Такие возможности смартфонов привели к бурному развитию мобильного программного обеспечения, значительно расширяющего его базовый функции, как средства связи. Одним из актуальным направлений стали медицинские приложения и технологии, такие как «docdoc», «Дос+», «Яндекс.Здоровье», «Педиатр24/7». Это российские медицинские компании, оказывающие услуги по поиску врачей и вызова их на дом, хранения и обработки персональных медицинских данных. Интернет-сервиса дают возможность получения консультации квалифицированного врача вне зависимости от месторасположения. Общение с врачом происходит в чате или по видеосвязи, по результатам консультации предоставляется отчет.

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

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

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

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

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

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

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

### **Принцип работы системы**

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

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

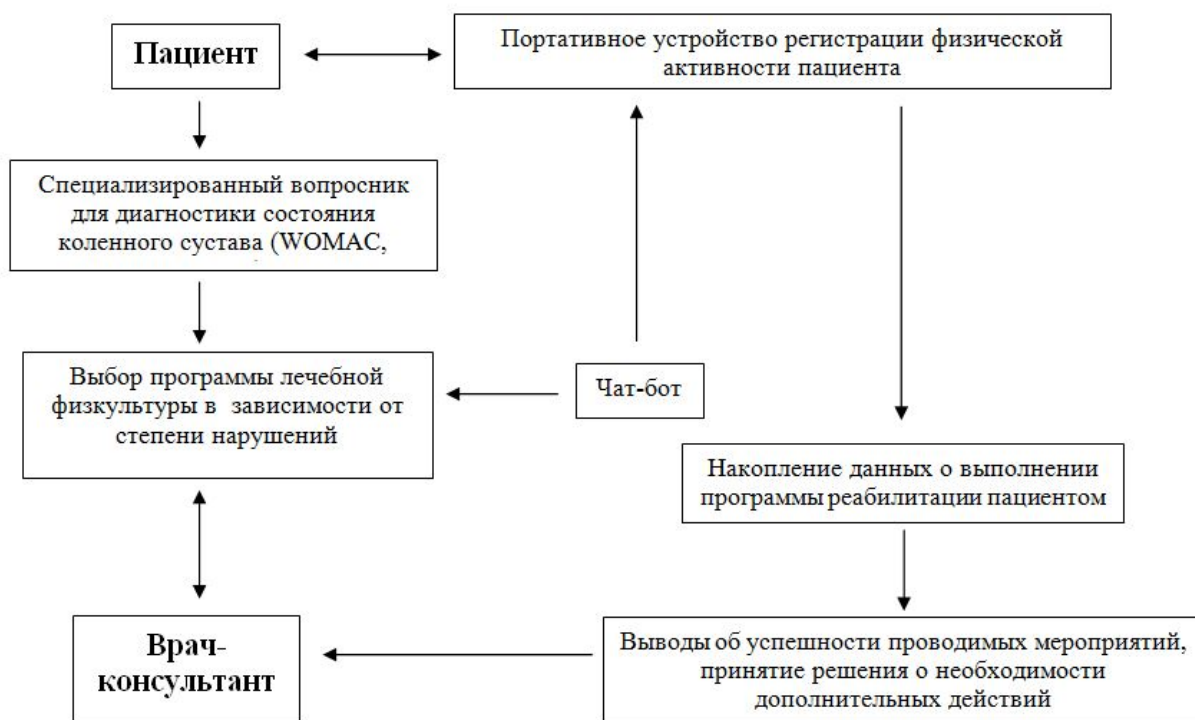


Рис. 1. Схема удалённого взаимодействия врача и пациента на амбулаторном этапе реабилитации

Данная схема взаимодействия реализует один из таких принципов реабилитации и механотерапии как обратная связь [7], где пациент может оценить эффект проводимых мероприятий с помощью вопросников, а врач может увидеть зарегистрированную физическую активность и результаты тестов, а также вопросы пациента offline.

Данный проект был поддержан программой «СТАРТ-1» в рамках Фонда содействия инновациям. Проект называется “НеФитнес со смартфоном”, подчеркивая неспортивный характер применения для широкого круга пользователей. В результате создано мобильное приложение с большим выбором упражнений для различных суставов с индивидуальной программой для подбора комплекса тренировок. Мобильное приложение в режиме реального времени контролирует правильность и регулярность выполнения назначенных упражнений с помощью встроенных датчиков движения смартфона.

Датчиков движения – акселерометр и гироскоп уже давно являются основной штатной функцией любого современного смартфона. Схема ориентации датчиков движения смартфона представлена на рисунке 2.

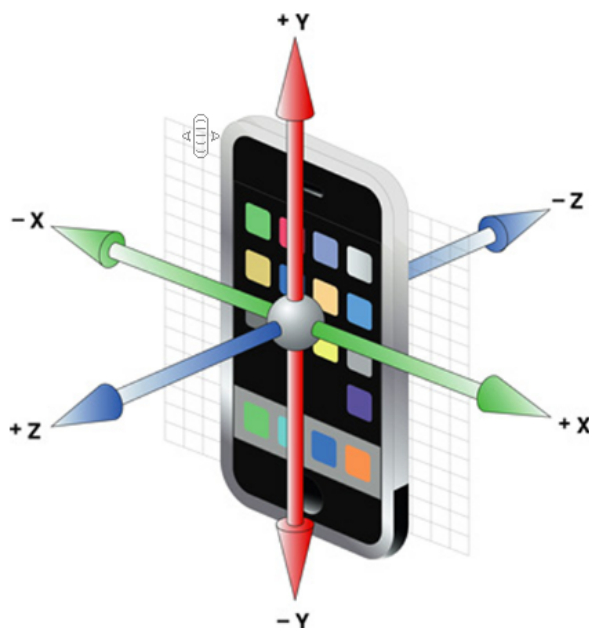


Рис. 2. Схема ориентации осей датчика движения в смартфоне iPhone

Информация с датчиков смартфона доступна для программиста iOS через библиотеку Core Motion. Эта библиотека предназначена для организации работы со встроенным гироскопом и акселерометром. С целью контроля правильности выполнения лечебной физкультуры смартфон необходимо закрепить в определенной точке с помощью специальной манжеты. Для коленного сустава точкой крепления будет щиколотка. Посмотрев видеопроцедуру в мобильном приложении, пациент фиксирует телефон на щиколотке и делает упражнения, слушая голосовые команды. По результатам выполнения лечебной физкультуры смартфон выдает оценку по трем параметрам.

Мобильное приложение – базовый независимый компонент, который может работать автономно, что дает максимальную доступность для пользователя и упрощает его использование. Остальные компоненты (гаджет и личный кабинет) расширяют сервис. Легкость крепления гаджета на требуемом суставе позволит повысить удобство и точность измерения. Через онлайн-кабинет врач дистанционно отследит график выполнения упражнений и динамику процесса восстановления пациента, что поможет создать полную картину реабилитации [8].

### **Реализации прототипа системы на основе микроконтроллер ATmega328**

Для получения информации о физической активности был сделан макет на основе Arduino Fio для работы с LiIon аккумулятором. К макету подключили SD карту и манжетку с акселерометром MMA7361L. Использовались только штатные библиотеки для работы с SD картой, а данные с акселерометра, регистрируют кривые ускорений движения, считывались по 3 каналам АЦП. Они выдают сигнал о перемещении тела человека в пространстве.

Частота дискретизации сигнала с осей XYZ равна 50 Гц. Полученные значения с акселерометров усиливаются и передаются на аналоговые входы блока обработки и передачи. Блок обработки и передачи регистрируемой информации включает в себя микроконтроллер ATmega328. Полученные данные о двигательной активности сохраняются в виде файла на флеш-карте типа SD. После регистрации сигнал может быть передан по каналу передачи Bluetooth или считан с SD-карты в ПК. Макет записывает в файл значения данных

акселерометра по осям XYZ.

Внешний вид макета представлен на рисунке 3.

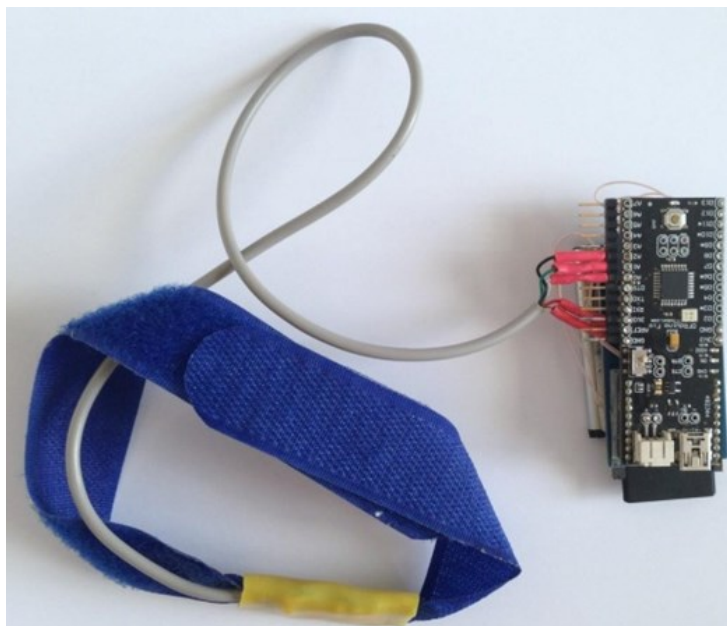


Рис. 3. Внешний вид макета

### Экспериментальная часть

Для проверки работоспособности устройства регистрации двигательной активности на стадионе университета был проведен эксперимент. В данном эксперименте участвовали три человека, средний возраст которых 25 лет. Участники данного исследования выполняли естественные физические нагрузки в виде ходьбы. При осуществлении этих видов физических нагрузок участвуют не только нижние конечности, но и весь организм, поэтому данные нагрузки вызывают большой интерес для исследований [4].

Устройство крепилось на одной из щиколоток испытуемых. Экспериментальные исследования показали, что сигнал целесообразно получать с макета, размещенного на ноге человека, поскольку он имеет большую амплитуду по сравнению с сигналом принятым с датчиков, расположенных на руке. В этом случае, обработанная информация о состоянии двигательной активности может быть представлена в виде различных графиков ускорений.

Для экспериментов была использована одна и та же дистанция в 285 метров. Участники прошли эту дистанцию обычным для них темпом и сосчитали про себя количество шагов. При этом данные макета записывались в текстовом виде на карту памяти.

На рисунке 4 представлен сигнал, который получился при естественном темпе ходьбы.

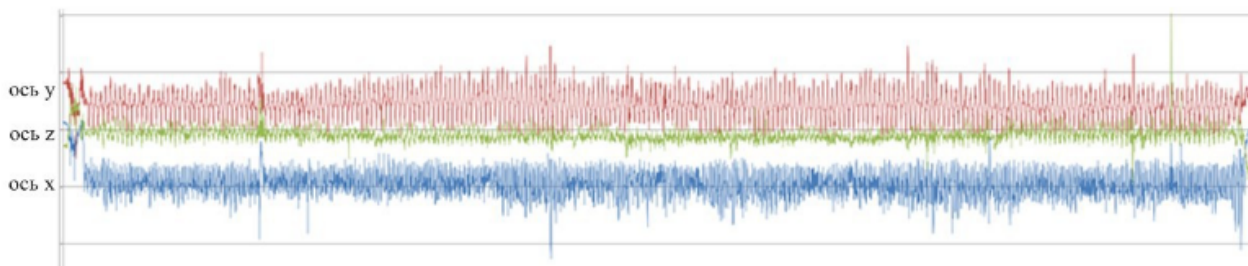


Рис. 4. Сигнал с разработанного макета

## Выводы

Разработан экспериментальный макет системы для анализа двигательной активности человека. Приведены результаты экспериментов, указывающие на возможность использования алгоритма на практике. Наличие технических возможностей оценки правильности выполнения пациентом реабилитационного комплекса даёт возможность практики удалённого взаимодействия врача и пациента и обратной связи с ним. Планируется разработка методических рекомендаций по проведению реабилитации с помощью мобильного приложения и тестирование мобильного приложения в контролируемых врачом условиях.

## Библиографический список

1. Минасов Т.Б., Филатова Л.Р., Минасов И.Б. Комплексная реабилитация после повреждений коленного сустава / Т.Б. Минасов, Л.Р. Филатова, И.Б. Минасов // Гений ортопедии. – 2010. – №4. – 29-31.
2. Рябчиков И.В., Панков И.О., Рябчикова Е.Н. Пассивная механотерапия в реабилитации пациентов с повреждениями крупных суставов нижних конечностей / И.В. Рябчиков, И.О. Панков, Е.Н. Рябчикова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2011. – №4 (80), ч.1. – С.168-171.
3. Епифанов В.А. Лечебная физкультура: Учебное пособие / В.А. Епифанов. – М: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа». 2006. – 568 с.
4. Федосеев А.В., Алпатов А.В., Ашапкина М.С., Чекушин А.А. Рекомендации по выполнению упражнений для суставов под контролем смартфона в режиме удалённого доступа // Материалы III Международного Конгресса «Физиотерапия. Лечебная физкультура. Реабилитация. Спортивная медицина». 2017. С.129.
5. Чекушин А.А., Федосеев А.В., Бердиев Р.М., Ашапкина М.С. Возможности оценки физической активности травматолого-ортопедических пациентов в условиях реабилитации // Сборник тезисов Международной конференции «Травма 2017: мультидисциплинарный подход» – Москва: Издательско-полиграфический центр «Научная книга» – 2017. С. 139-140.
6. Зайцева Н.А., Ширяева А.С. Телемедицина в современной системе здравоохранения / Н.А. Зайцева, А.С. Ширяева // Инновационная медицина России в начале XXI столетия. – Bulletin of Medical Internet Conferences. – 2016. – Volume 6, Issue 1. – Р. 58.
7. Гиниятуллин Н.И., Гильманшина И.Р., Сулейманова В.А. Механотерапия: состояние и тенденции развития / Н.И. Гиниятуллин, И.Р. Гильманшина, В.А. Сулейманова // Медицинский вестник Башкортостана. – 2014. – Т.9, №5. – С. 164-169.
8. НеФитнес [Электронный ресурс] URL: <https://vk.com/nefitness> (дата обращения 14.02.2017).

УДК 004.5; ГРНТИ 50.49.29

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ IRT-ТЕОРИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕСТИРОВАНИЯ

М.В. Васюков, Ю.С. Бехтин

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [Imaxtau@gmail.com](mailto:Imaxtau@gmail.com), [yuri.bekhtin@yandex.ru](mailto:yuri.bekhtin@yandex.ru)

*Аннотация.* Рассматривается применение элементов IRT-теории для разработки автоматизированных систем тестирования.

*Ключевые слова.* IRT-теория, автоматизированная система тестирования.

## APPLICATION OF IRT-THEORY ELEMENTS FOR DEVELOPMENT OF AUTOMATED TEST SYSTEMS

M.V. Vasyukov, Y.S. Bekhtin

Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, [Imaxtau@gmail.com](mailto:Imaxtau@gmail.com), [yuri.bekhtin@yandex.ru](mailto:yuri.bekhtin@yandex.ru)

*Abstract.* The application of elements of IRT-theory for the development of automated testing systems is considered.

*Keywords.* IRT-theory, automated testing system.

В настоящее время остро ощущается потребность в автоматизированных системах тестирования знаний обучаемых, которые позволяют, во-первых, обеспечить принцип саморегулирования (самоконтроля) в обучении, во-вторых, организовать образовательный процесс на основе реальных и имитационных стимулирующих проблемных ситуациях, и, наконец, в-третьих, обеспечить самостоятельную познавательную деятельность обучаемого [1]. Эффективное использование подобных систем невозможно без наполнения их качественным, разноуровневым тестовым материалом. Как показывает практика предыдущего десятилетия, использование в качестве наполнителя системы обычного лекционного материала превращает тестирование в рутинную процедуру, которая не только не повышает индивидуализацию обучения, но и не дает возможности объективно оценить достижения обучаемых. Реализация такой возможности позволит объективно измерять уровень обученности студентов, магистранов, что в результате предоставляет преподавателям возможность управления процессом обучения и проведения коррекции. При этом особое внимание должно уделяться степени соответствия достижений обучаемого определенному образовательному стандарту и динамике развития достижений обучаемого на каждом этапе процесса обучения [1, 2].

Для решения поставленной задачи известно не так много подходов. Один из них базируется на классической теории тестирования [1, 2]. Здесь тестовый балл рассматривается как сумма двух компонент: истинного значения оценки и случайной ошибки. Два схожих параллельных теста будут давать одну и ту же истинную оценку, хотя реальные баллы респондентов (обучаемых) не совпадут из-за непредсказуемой случайной ошибки. Тем не менее, величина данной ошибки может быть сведена к нулю при достаточном увеличении длины теста, что не всегда приемлемо в условиях временных ограничений образовательного процесса. Другой недостаток в том, что если имеется два идентичных теста, один из которых состоит из более простых заданий, то результаты использования тестов не являются сравнимыми, так как кривая распределения итоговых баллов будет иметь различную форму даже в одинаковых группах. Классическая теория не дает иного метода для сравнения различных тестов, кроме метода контрольных групп.

Другой подход в теории тестирования основан на использовании статистической теории тестирования IRT (Item Response Theory). Построение теории IRT [1-4] основано на предположении о существовании функциональной связи между латентными параметрами обучаемых и наблюдаемыми результатами выполнения теста. Главный постулат здесь в том, что латентные параметры обучаемых взаимодействуют с заданиями в процессе тестирования, а это, в свою очередь, приводит к получению наблюдаемых результатов выполнения теста. На практике всегда ставится обратная задача: по ответам обучаемых на задания теста требуется найти оценки значения латентного параметра  $\theta_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), определяющие уровень подготовки  $N$  обучаемых, и латентного параметра  $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), равные оценкам трудности  $n$  заданий теста [2, 4].

Для решения этой задачи была предложена математическая модель связи между латентными параметрами и наблюдаемыми результатами тестирования [1, 3, 4], которая содержала разность  $\theta - \beta$  при условии, что параметры  $\theta$  и  $\beta$  оцениваются в одной и той же шкале. В качестве такой единой шкалы введена интервальная шкала логитов [3, 4].

Если значение параметра  $\theta_i$  является положением  $i$ -го обучаемого на шкале логитов, а значение  $\beta_j$  – положением  $j$ -го задания на той же шкале, то абсолютная величина разности  $|\theta_i - \beta_j|$  показывает расстояние, на котором находится обучаемый с уровнем подготовки  $\theta_i$  от

задания с трудностью  $\beta_j$ . Если данная разность отрицательна и относительно велика по модулю, то тестовое задание бесполезно для измерения уровня подготовленности  $i$ -го обучаемого (он не сможет успешно пройти тест). С другой стороны, если разности  $|\theta_i - \beta_j|$  принимают относительно большие положительные значения, то нет смысла использовать такой тест ни для процесса контроля, ни для обучения  $i$ -го испытуемого, поскольку знания освоены обучаемым и он справится с ними успешно при выполнении теста. Таким образом, наименьшую ошибку измерения уровня подготовленности обучаемых обеспечивают задания, трудность которых подобрана по критерию  $\theta = \beta$ .

Таким образом, возникает задача в подборе некоторой функции  $P_j(\theta) = f(\theta - \beta_j)$ , описывающей вероятность правильного ответа обучаемых любого уровня подготовленности на задание определённого уровня трудности под номером  $j$ . В настоящее время, в теории рассматриваются одно-, двух- и трехпараметрические модели [4, 5]. Трехпараметрическая модель отличается введением в рассмотрение вероятности угадывания правильного ответа обучаемым, определяемая, в общем случае, как  $c_j = m/M$ , где  $M$  – число вариантов ответов в тестовом вопросе,  $m$  – число правильных ответов [5]:

$$P_j\{X_{i,j}=1|\beta_j, a_j, c_j\} = c_j + (1 - c_j) \exp a_j(\theta - \beta_j) / (1 + \exp a_j(\theta - \beta_j)), \quad (1)$$

здесь параметр  $a_j$  даёт информацию о тестовом задании с точки зрения оценки его дифференцирующей способности, то есть способности различать уровни подготовленности обучаемых.

Тем не менее, модель (1) не учитывает всех возможных ситуаций при прохождении теста обучаемыми, а именно, их психологическую составляющую. В работе предлагается усложнить модель (1) введением параметра  $d_j$ , который учитывал бы наличие т.н. «психологического барьера» при решении ряда тестовых задач. Например, хорошо известны случаи, когда обучаемый при ответе на вопросы искусственно возводит перед собой данный «психологический барьер», то есть он не может выйти из ограниченного пространства решений, или, по-другому, посмотреть на решение задачи из другого пространства решений. То или иное пространство решений формируется у проходящего тестирование обучаемого в процессе ответа на серию предшествующих вопросов. С другой стороны, известны случаи, когда отдельные обучаемые относительно легко справляются со сложными заданиями, а на относительно простых заданиях дают неправильные ответы. В данной работе вышеуказанный момент предлагается учитывать в модели (1) следующим образом:

$$P_j\{X_{i,j}=1|\beta_j, a_j, c_j\} = c_j + (1 - c_j) \exp\{a_j(\theta - \beta_j)\} / (1 + \exp\{a_j(\theta - \beta_j)\}) + d_j \exp\{a_j(\theta - \beta_j)\},$$

где  $d_j$  есть вероятность появления «психологического барьера» в данном тесте.

В работе были проведены исследования модели (2) при разных значениях параметра  $d_j$ . Исследования показали, что при относительно больших значениях параметра  $d_j$  наблюдается изменение вида кривой зависимости  $P(\theta)$ , подобно изображенному на рисунке примеру, полученному при  $d_j = 0,75$ . При этом остальные параметры модели (2) определяли задание с параметрами трудности  $b = 1,5$ , крутизны кривой  $a_j = 1,3$  и вероятностью правильного угадывания  $c_j = 0,2$ . Из рисунка видно, что кривая зависимости  $P(\theta)$  по внешнему виду совпадает с кривыми для графиков, направленными от «сверху-слева» к «вниз-направо». Это соответствует ситуациям, обусловленным нарушением содержательных,



формальных, организационных и этических требований. «Правильные» графики имеют противоположный тренд, то есть «снизу-вверх» [1, 3]. Очевидно, данный факт указывает на совершенно непригодный и абсурдный для проведения тестирования случай: чем выше уровень подготовленности обучаемых, тем ниже оказывается вероятность правильного ответа. Приведенный ниже рисунок отражает случай абсолютно не тестового задания и означает, что такой тест ни при каких обстоятельствах не должен быть применен. Похожий график зависимости  $P(\theta)$  могут иметь задания, у которых коэффициент их корреляции с суммой баллов проектируемого теста является отрицательной и близкой по модулю к единице величиной.

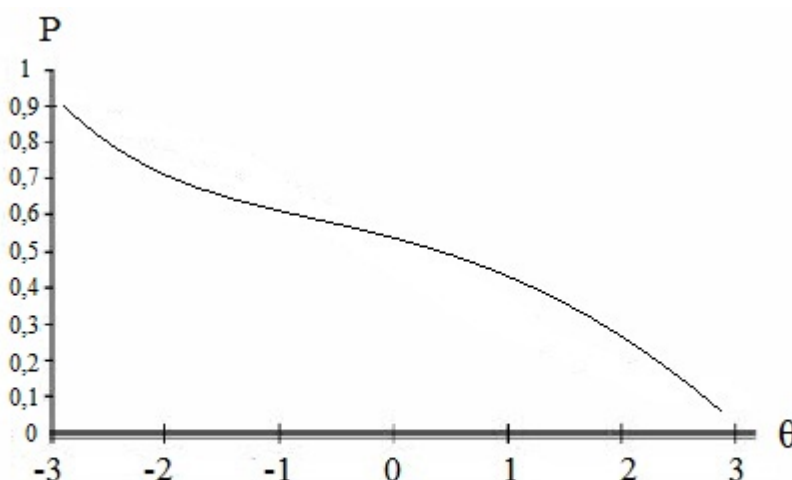


Рис. Пример графика оценки задания с отрицательной характеристикой тестируемости

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что возможно совершенствование тестовых заданий для избегания возникновения «психологических барьеров». В докладе также изложена методика расчета параметра  $d_j$  на ряде примеров тестовых заданий по дисциплинам подготовки магистров по направлению 27.04.04 «Управление в технических системах» в рамках образовательной программы «Обработка сигналов и изображений в информационно-управляющих системах».

### Библиографический список

1. Аванесов В.С. Основы теории педагогических заданий. Педагогические Измерения №2, 2006 г. С. 26-62.
2. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика.- СПб., издательство «Братство», 1994. – 364 с.
3. Baker, Frank *The Basics of Item Response Theory*. ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation, University of Maryland, College Park, MD. 2001.
4. Haley D.C. / Cited in: Hambleton R.K. Swaminathan H. *Item Response Theory: Principles and Applications*, Boston 1985. - 327 p.
5. Birnbaum A. Some Latent Trait Models and Their Use in Inferring an Examinee's Ability / In: F.M. Lord and M.R. Novick. *Statistical Theories of Mental Test Scores*. Reading, Mass: Addison - Wesley, 1968. - 568p.

УДК 004.3; ГРНТИ 59.13.19

## СЛЕДЯЩИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Д. Ситников, А. Измерли, Ю. Пастухов

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, Рязань, dengrpz@mail.ru

*Аннотация.* В данной работе проведено исследование слеящего метода подавления импульсных помех.

*Ключевые слова.* Селекция, слеящий фильтр, ЧИМ-сигнал, стробирование, флуктуационная помеха.

## WITNESS THE RECEPTION OF SIGNALS TELESERIALY

D. Sitnikov, A. Izmerli, Pastukhov Yu.

Ryazan State Radio-Technical University,  
Russian Federation, Ryazan, Russia dengrpz@mail.ru

*Annotation.* In this paper, we study a tracking method to suppress impulse noise.

*Keyword.* Selection, tracking filter, CHIM signal, strobe, fluctuation.

### Введение

Слеящий прием, основанный на использовании информации о предшествующих значениях селектируемого параметра сигнала позволяет существенно уменьшить зону неопределенности  $\Delta Y$  (возможную зону появления информационного импульса), по сравнению со стробированием по максимуму, что значительно снижает вероятность ошибки. При этом, если при стробировании по максимуму выигрыш в помехоустойчивости ограничен девиацией информационного параметра, то при слеящем приеме теоретически можно получить любой выигрыш, величина которого будет ограничена сверху лишь в том случае, если сигнал за которым следит приемник, содержит чисто случайную составляющую, предсказание которой невозможно на современном уровне знаний.

При исследовании слеящего приема будем предполагать, что сигнал в месте приема известен точно. Под сигналом известным точно понимается сигнал, единственным неизвестным параметром которого является полезное сообщение, которое может быть как детерминированной, так и случайной функцией времени [1]. Другими словами, будет рассматриваться лишь задача воспроизведения полезного сигнала при воздействии на приемник импульсных помех.

Для сравнения эффективности слеящего приема с другими методами подавления импульсных помех проведем анализ по выбранному критерию, а также рассмотрим некоторые методы повышения эффективности слеящего приема.

### Оценка точности слеящего приема при воздействии импульсных помех

Слеящий прием сигналов основан на экстраполяции будущего значения информационного параметра сигнала и перестройке приемника таким образом, сто он готов к приему этого значения параметра с некоторым допуском влево и вправо от предсказанного значения [2].

Алгоритм работы слеящего фильтра (СФ) можно записать в следующем виде:

$$Y_i \wedge (\hat{Y}_i \pm \Delta Y_i) = 1,$$

где  $Y_i$  – значение информационного параметра;

$\hat{Y}_i$  – предсказанное значение того же параметра;

$\Delta Y_i$  – погрешность предсказания значения параметра;

$\wedge$  – операция логического умножения.

Величина  $(\hat{Y}_i \pm \Delta Y_i)$  определяет положение  $i$ -го коридора на оси информационного параметра. При этом логическое произведение будет отлично от нуля лишь при условии равенства левой и правой частей. Если в результате воздействия помехи образуется значение информационного параметра выходящего из коридора, то оно отбрасывается.

Величина допуска (коридора) зависит от ряда факторов:

1. Ширины спектра экстраполируемой функции.
2. Порядка экстраполяции.
3. Интервала предсказания.

Очевидно, что чем уже спектр (шире интервал корреляции), чем выше порядок предсказания и чем меньше интервал предсказания, тем выше точность экстраполяции, и, соответственно, меньше зона допуска. В конечном счете от погрешности предсказания зависит выигрыш в помехоустойчивости при следящем приеме.

С учетом вышеперечисленных факторов можем записать общее выражение для погрешности экстраполяции:

$$\Delta Y = \hat{O}[n, (t - t_0), \omega_c] \quad (1),$$

где  $\Phi$  – некоторая функция, вид которой определяется способом предсказания;

$(t - t_0)$  – интервал предсказания, отсчитываемый от точки  $t_0$ ;

$\omega_c$  – высшая частота спектра экстраполируемой функции  $f(t)$ ;

$n$  – порядок экстраполяции.

В дальнейшем рассматриваем лишь следящий прием ЧИМ (ПИМ)-сигналов по той причине, что полученные результаты могут быть распространены на системы с ВИМ, ФИМ и др.

Для ЧИМ-сигнала информационным параметром является частота следования импульсов, тогда погрешность экстраполяции имеет вид:

$$\Delta F = kF, k = k[n, 1/F, \omega_c]; 0 < k < 1, \quad (2)$$

где  $\Delta F$  – текущая полоса пропускания следящего фильтра, ось симметрии полосы совпадает с предсказанным значением частоты ЧИМ-сигнала;

$F$  – текущее значение частоты следования импульсов;

$\frac{1}{F} = (t - t_0)$  – текущий интервал предсказания (текущий период следования импульсов).

Для ПИМ-сигнала информационным параметром является период следования импульсов. Погрешность экстраполяции в этом случае имеет вид:

$$\tau = kT, k = k[n, T, \omega_c]; 0 < k < 1 \quad (3)$$

где  $\tau$  – текущая длительность строб-импульса, отпирающего вход приемника;

$T = (t - t_0)$  – текущий интервал предсказания (текущий период следования импульсов).

Анализ выражения (3) показывает, что для уменьшения ошибки на выходе СФ (уменьшения длительности строб-импульса) необходимо либо повышать порядок экстрапо-

ляции  $n$ , либо уменьшать интервал предсказания  $(t - t_0)$  при заданной  $\omega_c$ . Повышение  $n$  связано со значительными аппаратными затратами. Кроме того, если высшие производные экстраполируемой функции быстро затухают, то увеличение  $n$  может привести даже к снижению точности экстраполяции за счет увеличения аппаратной погрешности при усложнении схемы экстраполятора.

Уменьшение интервала  $(t - t_0)$  эквивалентно увеличению частоты квантования (увеличению избыточности квантованного сигнала). В системах с импульсной модуляцией увеличение избыточности сигнала связано с увеличением средней мощности передатчика, что мало приемлемо в системах с автономной передающей частью и ограниченной энергоемкостью источника питания. Среднюю мощность передатчика можно сохранить постоянной при увеличении частоты квантования за счет уменьшения длительности импульсов. Однако, это приводит к увеличению полосы входного фильтра приемника, что необходимо для соблюдения условия согласованности между полосой приемника и длительностью импульса. Увеличение же полосы, в свою очередь, повышает вероятность появления выброса флуктуационной помехи над уровнем ограничения, что эквивалентно увеличению интенсивности помех на входе приемника.

Метод повышения помехоустойчивости импульсных систем связи – увеличение частоты квантования – имеет еще один существенный недостаток: при повышении частоты квантования увеличивается относительная погрешность измерения информационного параметра для компенсации которой необходимо использовать более точные, а соответственно более сложные интерполяторы.

Поиск компромиссного решения для систем с ЧИМ(ПИМ)-сигналами приводит к выводу о необходимости использования метода передачи с переменной избыточностью [3], что позволяет значительно повысить помехоустойчивость таких систем при следящем приеме благодаря использованию одного из статистических свойств пуассоновского потока импульсных помех, а именно – ординарности, в соответствии с которым вероятность появления на малом интервале более одной помехи есть величина высшего порядка малости по сравнению с вероятностью появления одной помехи.

Средняя мощность передатчика при таком методе передачи увеличивается лишь в два раза, а относительная погрешность измерения информационного параметра (для ПИМ-периода) остается неизменной. Кроме того, использование данного метода не вызывает значительных усложнений передающей части СМТ.

Сущность метода заключается в следующем.

В передающей части один период  $T'$  формируется с избыточностью  $R_1$ , которая определяется [4] как

$$R_1 = 1 - \frac{T'}{\tau_0},$$

где  $\tau_0$  – интервал корреляции преобразующего процесса.

Следующий период  $T''$  формируется с избыточностью  $R_2$ .

Если  $R_1 \gg R_2$ , то  $T'' = m T'$ , где:

$$m = \frac{1 - R_2}{1 - R_1} \ll 1.$$

При следящем приеме такого сигнала блок экстраполяции (рис. 1) по величине периода  $T'$  формирует строб-импульс  $\tau'$ , а по величине  $T''$  –  $\tau''$ .

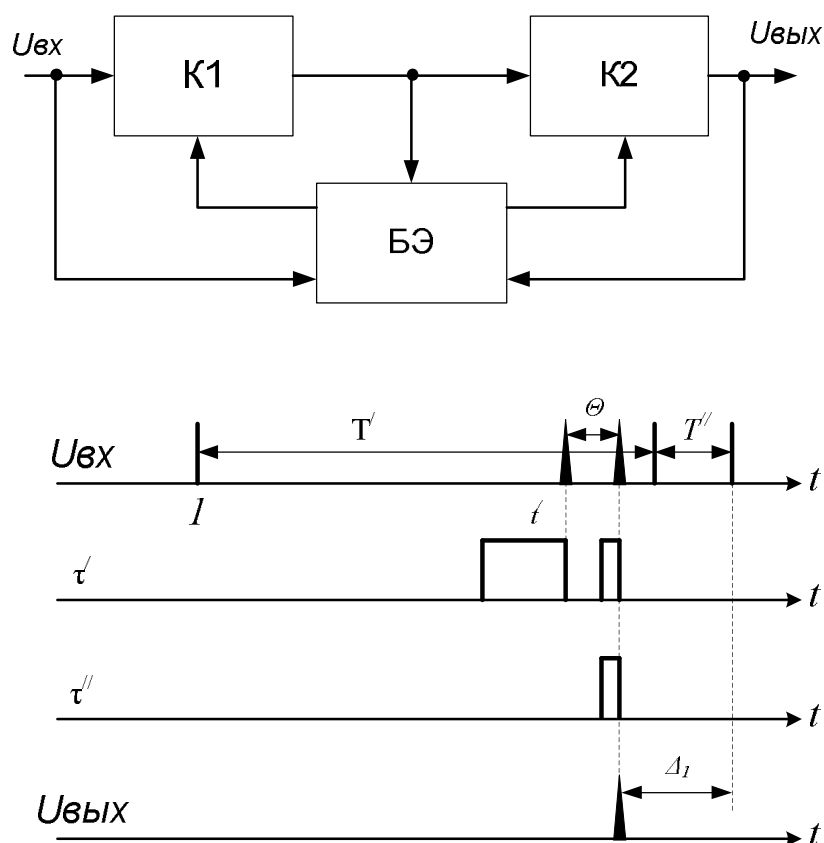


Рис. 1.

В момент прихода первого информационного импульса  $\tau'$  формирование строб-импульса и ключ K1 закрывается. В момент  $(T' - \tau')$  оба ключа открываются и в этом состоянии схема находится до прихода второго информационного импульса, либо, если первый импульс помеха, то ключ K1 и K2 будут открыты в течении  $2\tau''$ , после чего они закроются. Мгновенное значение ошибки для такой системы уменьшается в  $1/m$  раз по сравнению с обычной передачей.

### Выводы

1. Для успешной борьбы с импульсными помехами в СМТ с импульсной модуляцией целесообразно использовать прием со слежением за мгновенным значением информационного параметра.
2. Средняя и результирующая ошибки на выходе СФ монотонно растут по мере увеличения интенсивности помех, стремясь к предельному значению, определяемому длительностью строб-импульса. Наличие ограничителя в приемнике повышает помехоустойчивость следающего приема.
3. При одинаковой вероятности появления выброса флуктуационной помехи, приемник со следящим фильтром может иметь более широкую полосу пропускания по сравнению с приемником без фильтра, что свидетельствует о возможности уменьшения ошибки от слабой флуктуационной помехи.

### Библиографический список

1. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах. Изд. 2-е, доп. и перераб. — М.: Сов. радио, 1972. — 448 с.
2. Коломиец О.М., Петухов В.И., Прошин Е.М., Струтинский Ю.А. Адаптивный временной селектор частотно-импульсных измерительных сигналов. Материалы II республиканской научно-технической конференции, вып.2, Киев, 1973.
3. Прошин Е.М., Струтинский Ю.А. Защита частотно-импульсных систем телеизмерения от импульсных помех. Труды РРТИ, 1975.
4. Кудрейко В.И. Экстраполяция при широтно-импульсной модуляции. Кандидатская диссертация. Рязань, 1969.

УДК 615.47

## БЕСКОНТАКТНЫЙ РЕГИСТРАТОР ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ

М.И. Качмар, Е.М. Прошин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, г. Рязань, maksimkachmar2110@gmail.com*

*Аннотация.* Выполнена оценка необходимости создания бесконтактных устройств регистрации дыхания и сердцебиения, рассмотрены возможные методы решения поставленной задачи, сравним их достоинства и недостатки.

*Ключевые слова.* бесконтактное измерение, регистрация дыхания, сердцебиение, ультразвуковое излучение, сдвиг фазы, биение частоты.

## CONTACTLESS THE REGISTRAR OF BREATHING AND HEARTBEAT

M. I. Kachmar, E. M. Proshin

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, maksimkachmar2110@gmail.com*

*Abstract.* Creating of contactless recording of breathing and heartbeat are evaluated, possible methods of solving the tasks, compare their advantages and disadvantages are considered.

*Keywords.* Contactless measurement, check the respiration, heartbeat, the ultrasonic radiation, the phase shift of the beating frequency.

Дыхательная система является жизненно-важной функцией для каждого человека. Именно она, вместе с сердечнососудистой системой является одной из важнейших направлений современной медицины. Чтобы избежать, угрожающей жизни человека, апноэ или угнетений дыхания, для понимания функционального состояния человека в целом необходим постоянный и жесткий контроль над дыханием и сердцебиением пациента.

Основной проблемой современных средств регистрации дыхания, будь то портативный регистратор дыхания или стационарный капнограф, является непосредственный контакт с пациентом, который доставляет неудобство больному, обременяет врача дополнительной работой, на которую уходят драгоценные минуты времени. Поэтому актуальной задачей современности является исследование и разработка бесконтактных методов регистрации и мониторинга процессов дыхания и сердцебиения.

В настоящий момент существуют радиолокационные методы дистанционной регистрации ритмов дыхания. В основном это радар для непрерывного мониторинга дыхания и сердцебиения пациентов в различных лечебно-профилактических учреждениях, ожоговых и инфекционных отделениях. Данный прибор посылает волны, которые отражаются от тела пациента и принимаются прибором. Изменение спектра излучения позволяет судить о частоте дыхания и сердечных сокращений.

Достаточно распространенным стало использование видеокамеры для регистрации

сердцебиения. Так, например, фирма PanasonicCorp представила свою новую разработку «ContactlessVitalSensing». Данное устройство позволяет дистанционно измерить ритм сердцебиения человека по его видеоизображению лица. Путем измерения коэффициента отражения кожи человека, который изменяется на значительную величину вследствие расширения кровеносных сосудов, соответствующего ритму сердцебиения. В составе данного устройства находится веб-камера со средним разрешением и специализированное программное обеспечение.

Главными недостатками данных методов являются низкая чувствительность и низкая помехозащищенность. Борьба с этими недостатками существенно усложняет конструкцию устройства и повышает стоимость прибора. Поэтому на данный момент стоит задача, обеспечить высокую чувствительность, надежность и достоверность показаний приборов для бесконтактной дистанционной регистрации функционального состояния человека. Достичь этого можно с помощью использования ультразвуковых колебаний. Ультразвук обладает рядом особенностей: технически простая реализация методов получения ультразвука, не требующая дорогостоящих технических решений; человек не воспринимает ультразвуковые частоты, поэтому этот метод не доставляет дискомфорта; полезное воздействие на организм, за счет микровибрации; Основными параметрами при регистрации перемещений грудной клетки пациента могут быть амплитуда, фазовый сдвиг и время пробега принятого ультразвукового сигнала.

В статье представлен метод, основанный на биениях ультразвуковых частот. В данном методе грудная клетка пациента непрерывно облучается сигналом суммы двух различающихся ультразвуковых частот (рис.1):

$$x_d = 2A \cos[\pi(f_1 - f_2)t] \sin[\pi(f_1 + f_2)t] ,$$

где  $A$  – амплитуда колебаний;  
 $f_1$  - частота первого генератора;  
 $f_2$  - частота второго генератора.

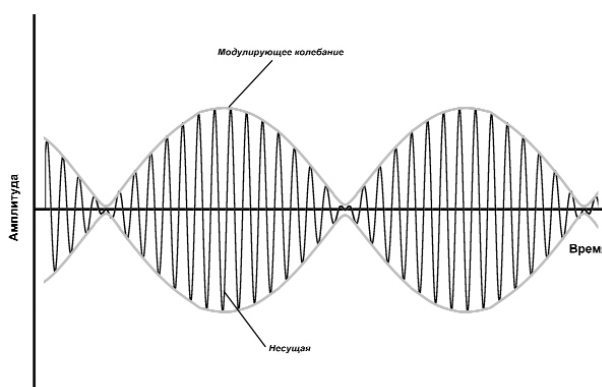


Рис. 1. Сигнал биений ультразвуковых частот

Структурная схема устройства, основанного на методе биений, представлена на рисунке (рис. 2).

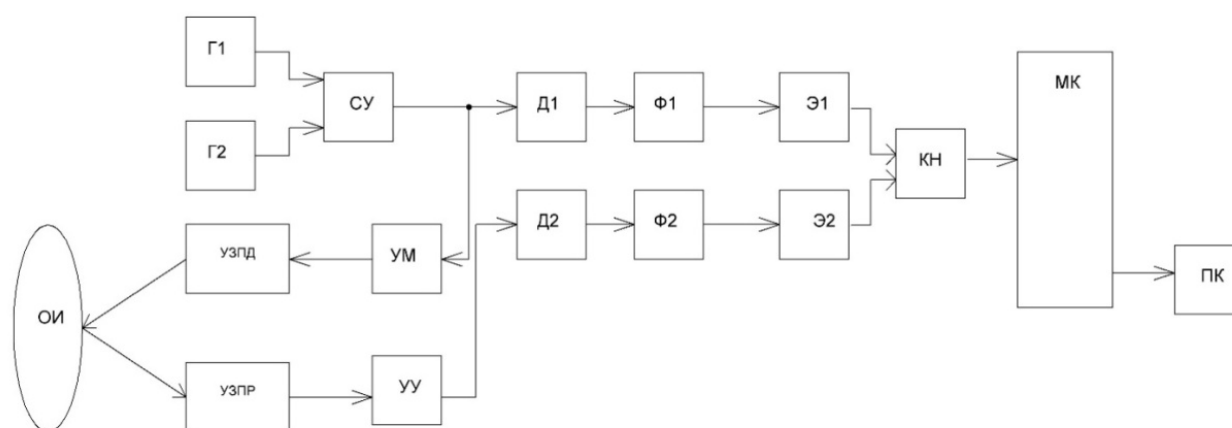


Рис. 2. Структурная схема бесконтактного регистратора

С помощью СУ выходные сигналы генераторов суммируются, в результате чего получаем модулируемый сигнал (рис. 1), который усиливается с помощью УМ и поступает на УЗИД, где преобразуется в ультразвуковые волны. С помощью Д1 происходит выделение положительной огибающей модулируемого сигнала, далее фильтруется Ф1, а Э1 выделяет моменты минимумов огибающих этого сигнала. После этого сигнал поступает на МК.

Ультразвуковые волны, отразившись грудной клетки пациента, поступают на УЗИР, где преобразуются в электрическое напряжение. Выход УЗИР соединен с УУ (полоса определена разностью частот), который усиливает сигнал. После усиления сигнал поступает на Д2, для выделения огибающей, далее на Ф2 для фильтрации и затем на Э2 для выделения моментов минимумов огибающей, далее сигнал подается на МК.

Регистрация фазового сдвига между огибающими переданного и отраженного сигналов осуществляется в МК, с помощью таймера. С выхода Э1 на МК поступают такты, соответствующие минимумам огибающей переданного сигнала. При поступлении на вход таймер сигнала с Э1, он запускается и считает до тех пор, пока с Э2 не поступит такой же сигнал, но уже со сдвигом фаз, соответствующий минимуму огибающей отраженного сигнала. В результате получаем время, соответствующее сдвигу фазы, а также и движению грудной клетки. Полученный массив данных времени поможет нам изобразить кривую дыхания.

Дальнейшая задача: разработка интегрированной части регистратора, ответственной за сердцебиение человека и основанный на ультразвуковом методе, и объединение ее с представленным механизмом регистрации дыхания.

### Библиографический список

1. И.П. Голямина. Ультразвук М. - : Советская энциклопедия, 1979.
2. Пат. на полезную модель № 82536 Российская Федерация, МПКА 61 В5/00. Медико-биологический комплекс для дистанционного мониторинга физиологических параметров / Монич В.А., Кушников О.И., Алакаев Р.Р. – № 2008145324/22; заявлено 19.11.2008; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13. – 2 с.Источник 2.
3. В.П. Северденко, В.В. Клубович. Применение ультразвука в промышленности. – Минск : Наука и техника, 1967.



УДК 004.896: 621.865.8

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ

**А.В. Кондрашов, Д.И. Нефедьев**

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

*Аннотация.* В данной работе описаны особенности интеллектуального управления робототехническим манипулятором, рассмотрена реализация прямой кинематики и решение обратной задачи кинематики.

*Ключевые слова.* Интеллектуальное управление, прямая задача кинематики, инверсная кинематика, метод градиентного спуска.

## INTELLECTUAL CONTROL ROBOTECNICAL MANIPULATOR

**A.V. Kondrashov, D.I. Nefedev**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, kondrashov170596@gmail.com*

*Abstract.* In this paper, the intelligent control of a robotic-technical manipulator is described, the implementation of direct kinematics problems and the solution of the inverse problem are considered.

*Keywords.* Intellectual control, direct kinematics problem, inverse kinematic, gradient descent method.

Ввиду широкого применения робототехнических комплексов с манипулятором методы управлением последним является весьма актуальной задачей. В эту область входят алгоритмы расчета координат расположения в пространстве для каждого из имеющихся звеньев манипулятора, алгоритмы расчета положения звеньев для достижения заданной точки конечным актуатором, а также алгоритмы выделения и распознавания объектов интереса в случае автономного захвата. В работе предлагается рассмотреть вопрос реализации алгоритмов, позволяющих осуществлять управление с высокой степенью автоматизации.

Система называется интеллектуальной, если она обладает следующими отличительными особенностями:

1. Система обладает знаниями, которые определяют ее поведение в сложной и заранее неизвестной ситуации.
2. Система имеет механизм обучения или самообучения, позволяющий ее пополнять базу собственных знаний.

Несложно заметить, что неотъемлемой частью интеллектуальной системы являются знания. Знания представлять собой либо набор правил, либо иную форму представлений, позволяющую на их основе производить процедуру принятия решения в той или иной ситуации.

Механизм обучения или самообучения интеллектуальной системы должен позволять пользователю добавлять или изменять знания, заложенные в систему.

Если интеллектуальная система обладает исключительно механизмом самообучения, то такая система должна обладать интерфейсом, позволяющим пользователю формировать обучающие примеры.

Для механизмов самообучения важно правильно сформировать критерий качества работы системы, минимизация или максимизация которого дает системе возможность судить о правильности самообучения.

Поэтому предусмотреть все возможные комбинации входов попросту невозможно.

Поэтому приходится прибегать к механизму классификации.

Классификация – это процесс разбиения входного значения по каждому входу на диапазоны значений. Действия системы при попадании входной величины в тот или иной диапазон может быть различно.[1]

Классификация является важной составляющей работы интеллектуальной системы.

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

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

Математически преобразование координат происходит путем использования матриц поворота.

Матрицы поворота вокруг осей X, Y, Z:

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

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

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

Также необходимо учитывать габаритные размеры самого сочленения.

Итоговая формула для расчета координат положений звеньев:

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

где  $M_i$  – матрица поворота  $i$ -го звена,

$l_i$  – длина  $i$ -го звена.

Результаты моделирования в среде MATLAB представлены на рисунке 1. Размеры сочленений и матрицы поворота указаны для манипулятора KUKA YouBot.

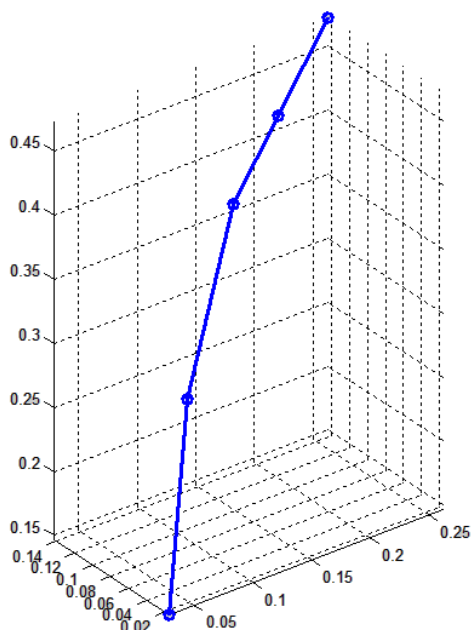


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора KUKA YouBot

Решение обратной задачи кинематики состоит в установлении соответствия между конечной точкой, которая является целевой и известной, и соответствующим вектором углов поворота сочленений. Трудность заключается в том, что одной точке в пространстве может соответствовать множество различных положений сочленений, что делает невозможным составление единственного кинематического уравнения.

Конкретная точка в пространстве, называемая целевой, позволяет использовать оценку близости к ней манипулятора с учетом текущей конфигурации соединений. Расстояние до цели – это некоторая функция, минимизация которой является решением проблемы инверсной кинематики.

Подход к минимизации функции, который планируется использовать – это метод градиентного спуска.

Градиент – это вектор, показывающий направление наискорейшего подъёма. Он тесно связан с понятием производной.

В трехмерном пространстве градиент представляет собой различные скалярные числа, каждое из которых показывает, как растёт функция в определённом направлении (или по оси).

Компоненты градиента по осям для трехзвенного манипулятора, полученные с помощью достаточно малых приращений  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , и  $\Delta z$  :

$$\nabla f_{\theta_0}(\theta_0, \theta_1, \theta_2) = \frac{f(\theta_0 + \Delta x, \theta_1, \theta_2) - f(\theta_0, \theta_1, \theta_2)}{\Delta x},$$

$$\nabla f_{\theta_1}(\theta_0, \theta_1, \theta_2) = \frac{f(\theta_0, \theta_1 + \Delta y, \theta_2) - f(\theta_0, \theta_1, \theta_2)}{\Delta y},$$

$$\nabla f_{\theta_2}(\theta_0, \theta_1, \theta_2) = \frac{f(\theta_0, \theta_1, \theta_2 + \Delta z) - f(\theta_0, \theta_1, \theta_2)}{\Delta z}.$$

Общий вектор градиента:

$$\nabla f(\theta_0, \theta_1, \theta_2) = [\nabla f_{\theta_0}(\theta_0, \theta_1, \theta_2), \nabla f_{\theta_1}(\theta_0, \theta_1, \theta_2), \nabla f_{\theta_2}(\theta_0, \theta_1, \theta_2)]$$

Функция  $f(\theta_0, \theta_1, \theta_2)$  возвращает значения углов  $\theta_0, \theta_1, \theta_2$ . Тогда уточнение значений этих углов происходит следующим образом:

$$\begin{aligned}\theta_0 &\leftarrow \theta_0 - L \cdot \nabla f_{\theta_0}(\theta_0, \theta_1, \theta_2), \\ \theta_1 &\leftarrow \theta_1 - L \cdot \nabla f_{\theta_1}(\theta_0, \theta_1, \theta_2), \\ \theta_2 &\leftarrow \theta_2 - L \cdot \nabla f_{\theta_2}(\theta_0, \theta_1, \theta_2),\end{aligned}$$

где  $L$  – положительный параметр, управляющий скоростью удаления от поднимающегося градиента.

Также необходимо отметить, что существуют ограничения, накладываемые на каждое из сочленений, т.к. поворотные устройства не имеют возможности вращаться на 360° во всех плоскостях.

Целью дальнейшей работы является реализация инверсной кинематики для робототехнического манипулятора KUKA YouBot, а также экспериментальные исследования разработанного алгоритма.

### Библиографический список

1. Евстигнеев Д.В. Проектирование роботов и робототехнических систем в Dyn-Soft RobSim 5. Часть I. М.: 2014.
2. Вукобратович М., Стокич Д., Кирчански Н. Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами. М.: Мир, 1989.

УДК 628.9.041; ГРНТИ 90.27.37

## ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ НА СТАРЕНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

**В.А. Данилко**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, v\_danilko@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе описаны проблемы и особенности организации испытаний на старение светодиодных осветительных приборов, включая анализ нормативной базы и методологии испытаний. Приведены проблемы, возникающие в испытательных лабораториях при проведении испытаний. Предложена разработка новой методики испытаний и информационно-измерительной системы.

*Ключевые слова.* Светодиодные светильники, испытания на старение, продолжительность горения, световой поток, светильник, осветительный прибор

## ORGANISATION PROBLEMS AND FEATURES OF LED LAMPS LIFE-TIME TESTING

V.A. Danilko

Ryazan State Radio-engineering University,  
Russia, Ryazan, v\_danilko@mail.ru

*Abstract.* This paper deals with the problems and features of LED lamps life-time testing, including the analysis of the regulatory framework and testing methodology. It describes testing laboratories problems during life-time testing. The author of paper proposes development of a new test methodology and information-measuring system.

*Keywords.* LED lamps, life-time testing, life-time, luminous flux, lamp, lighting device

В современном мире все большую популярность приобретает применение светодиодных светильников различного назначения, соответственно производители осветительных приборов постоянно увеличивают объемы производства данного вида продукции. Уже сегодня на одном из предприятий, производство которого расположено на территории г. Рязани, выпуск светодиодной продукции составляет 55,3% и планируется его увеличение (рис. 1). Стоит отметить, что компания «Световые технологии», о которой идет речь, занимает 10,4% рынка светотехнической продукции в России и является динамично развивающейся организацией.

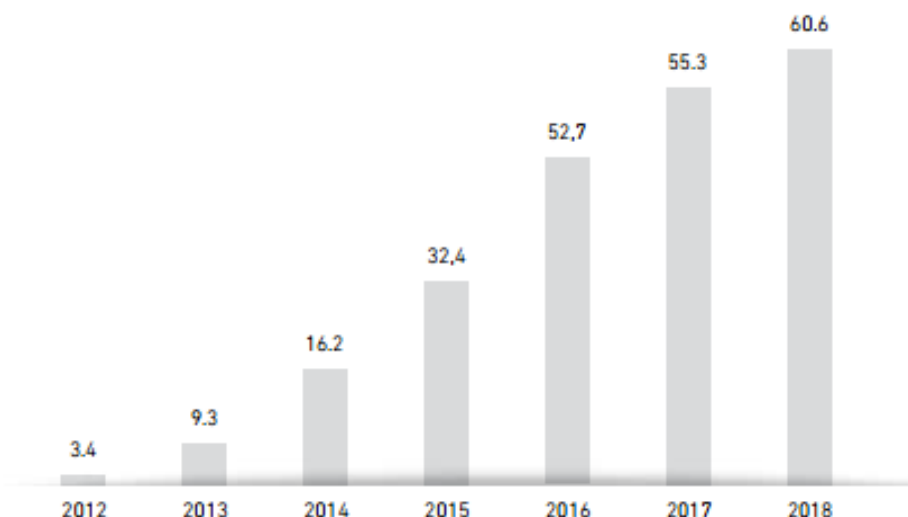


Рис. 1. Доля светодиодной продукции в продажах ООО «МГК «Световые технологии»  
(в денежном выражении), %. Прогноз на 2018 год

Подобный интерес потребителя к светодиодным осветительным приборам обусловлен рядом факторов, среди которых их высокая энергоэффективность при организации системы освещения на объектах с различными условиями эксплуатации, а также экологическая безопасность и низкие эксплуатационные затраты.

Однако с возросшим спросом возросли и требования к значениям показателей, функциональным возможностям и качеству данной продукции в целом. При этом потребитель, как правило, заведомо ожидает сокращение затрат от эксплуатации осветительных приборов и их значительный срок службы.

В случае с рядовым потребителем, когда у него перегорит светодиодный светильник через один или два года эксплуатации, он может просто разочароваться в данном производителе полупроводниковой светотехники. В случае же с целым предприятием, таких

осветительных приборов может выйти значительное количество, так как, как правило, заказывается партия осветительных приборов для освещения целого помещения производственного или другого характера, то есть это может привести к значительным финансовым потерям. Предприятие, скорее всего, возместит свои убытки за счет выплаты компенсации со стороны поставщика, однако это может сказаться на его финансовом положении в определенный временной промежуток, а отношения с поставщиком будут пересмотрены или прекращены. Таким образом, поставщик осветительных приборов может потерять крупного клиента.

Кроме того, потребитель (заказчик) на сегодняшний день уже не считает достаточным просто указание в технической документации к осветительному прибору его характеристик. Его интересует подтверждение данных значений. Как правило, данный аспект не вызывает проблем, так как существует целая методологическая база испытаний и контроля параметров, а также широкий спектр контрольного и испытательного оборудования. Однако подобное утверждение неверно относительно испытаний на старение светодиодных осветительных приборов.

Существует целый ряд проблем организации испытаний на старение светодиодных светильников. Среди них можно выделить недостатки нормативной базы, в которую входят такие нормативные документы как ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011, ГОСТ Р 56231-2014, ГОСТ Р 54350-2015. [7,6,4] Согласно методике, приведенной в указанных документах, испытания на ресурс проводятся только для осветительных приборов, на светодиодные модули которых не распространяется ГОСТ Р 56230-2014. [5] Таким образом, для светодиодных осветительных приборов с «белыми» модулями не учтена надежность всего устройства во взаимодействии его компонентов. Кроме того в отечественной нормативной базе отсутствуют рекомендации по экстраполяции данных по величине светового потока, исходя из полученных результатов измерений и испытаний. [9]

Также к недостаткам приведенной в нормативных документах методики стоит отнести значительную продолжительность процесса испытаний, согласно ГОСТ Р 56231-2014 [6] она составляет не более 6000 ч, однако и не менее 2000 ч. Сокращение времени испытаний до 2000 ч только при выполнении некоторых условий:

а) измеренное значение светового потока светильников после 2000 ч наработки должно быть не менее значения светового потока в конце продолжительности горения, заявленного производителем;

б) снижение светового потока светильников после 2000 ч наработки должно соответствовать кодам снижения светового потока, заявленным производителем (табл. 1). [8]

Таблица 1. Код сохранения светового потока за время работы 6000 ч [5]

| Сохранение светового потока, % | Код |
|--------------------------------|-----|
| $\geq 90$                      | 9   |
| $\geq 80$                      | 8   |
| $\geq 70$                      | 7   |

Кроме того испытания на старение, согласно приведенной в нормативной базе методике, требуют привлечение большого числа испытательного и измерительного оборудования, что затрудняет организацию иных видов испытаний в лабораториях. Сюда входят климатические камеры, гониофотометры, различная аппаратура для контроля электрических, фотометрических и спектральных характеристик осветительного прибора.

Стоит отметить, что на время испытаний на ресурс климатические камеры, имеющиеся в испытательных лабораториях, будут полностью заняты и климатические и термические испытания иных осветительных приборов будут невозможны. Покупка дополнительных климатических камер специализированных для данного вида испытаний потребует от предприятия значительных финансовых вложений.

Также, на время испытаний на старение, будет значительно затруднено проведение плановых измерений параметров осветительных приборов. Данное обстоятельство связано с необходимостью проведения измерений параметров испытываемых образцов каждые 1000 ч, которые могут занять 2-5 дней, то есть на это время все остальные плановые измерения невозможны. Так как испытания на ресурс занимают 6000 ч, соответственно измерения будет необходимо произвести минимум 7 раз.

Таким образом, существует необходимость разработки более совершенной методики испытаний на старение и информационно-измерительной системы, объединяющей в себе все необходимые конструктивные элементы для проведения испытаний и измерений, связанных с ними, а также представляющей собой целостный информационно-измерительный прибор. При проведении данных разработок следует учесть опыт иных стран, в том числе США (IES TM-28-14, IES LM-84-14, IES LM-79-08), так как в них ведутся работы в данной области. [1-3,9]

### Библиографический список

1. IES LM-79-08 Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products. – USA, New York: IES, 2007.
2. IES LM-84-14 Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires. – USA, New York: IES, 2014.
3. IES TM-28-14 Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaries. – USA, New York: IES, 2014.
4. ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. – Взамен ГОСТ Р 54350-2011; введ. 01.01.2016. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 41 с.
5. ГОСТ Р 56230-2014/IEC/PAS 62717:2011. Модули светодиодные для общего освещения. Эксплуатационные требования. – Введен впервые; введ. 1.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
6. ГОСТ Р 56231-2014/IEC/PAS 62722-2-1:2011 Светильники. Часть 2-1. Частные требования к характеристикам светильников со светодиодными источниками света. – Введен впервые; введ. 1.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 13 с.
7. ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011. Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. – Взамен ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003; введ. 28.09.2011. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 144 с.
8. Данилко В.А. Методология и нормативная база испытаний на старение светодиодных осветительных приборов в Российской Федерации / В.А. Данилко // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции (15 ноября 2017 года) / редкол.: Павлов Е.В. (отв. ред.); в 3-х томах, Т.1. Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск: Из-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – с. 194-197.
9. Данилко В.А. Проблемы и особенности испытаний на старение светодиодных осветительных приборов медицинского назначения / В.А. Данилко // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2017: сб. тр. XXX Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 6-8 декабря 2017 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2017. – с. 111-114.

УДК 615.847; ГРНТИ 59.14.19

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТОТЕРАПИИ

Е.П. Матюхин, С.Г. Гуржин

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, matyukhinz@yandex.ru

*Аннотация.* В данной работе обозначена структура построения системы электромагнитотерапии, перечислены механизмы действия электромагнитных полей на биологические объекты, показана модель биотехнической системы управления внутреннего регулирования, обозначены требования к проведению лечебного воздействия.

*Ключевые слова.* Электромагнитотерапия, биотропные параметры, компартмент, система.

## PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE ELECTROMAGNETIC THERAPY SYSTEM

E.P. Matyukhin, S.G. Gurzhin

Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, matyukhinz@yandex.ru

*Abstract.* This paper deals with the structure of the construction of the electromagnetic therapy system is outlined, the mechanisms of the action of electromagnetic fields on biological objects are listed, the model of the biotechnical control system of internal regulation is shown, the requirements for the therapeutic effect are indicated.

*Keywords.* Electromagnetotherapy, biotropic parameters, compartment, systems.

Развитие современного здравоохранения немыслимо без разработки и использования современных диагностических и терапевтических средств, совершенствования существующих технических решений. Исследования в области технических и биологических элементов системы для достижения поставленных задач в области медицины объединяются в биотехническую систему целенаправленного действия. Биотехнический системный подход исключает случайное и необдуманное перенесение в медицину средств достижений техники. Этот подход подразумевает последовательность в разработке медицинской техники, этапы моделирования, предопределяет назначение клинической апробации и другие.

Рассматривая воздействие электрическим и магнитным полем или их сочетания на биологические объекты нельзя не отметить их естественное интегрирование в процессы организма: естественное магнитное поле окружает нас, внутри протекают электрические процессы на клеточном и некоторых других уровнях организации живой материи.

Для математического описания процессов воздействия на биообъект наиболее общим методом изучения систем является структурное и функциональное моделирование.

Анализ принципов построения аппаратов и систем электромагнитотерапии позволяет представить их обобщенную структурную схему (рис.1).

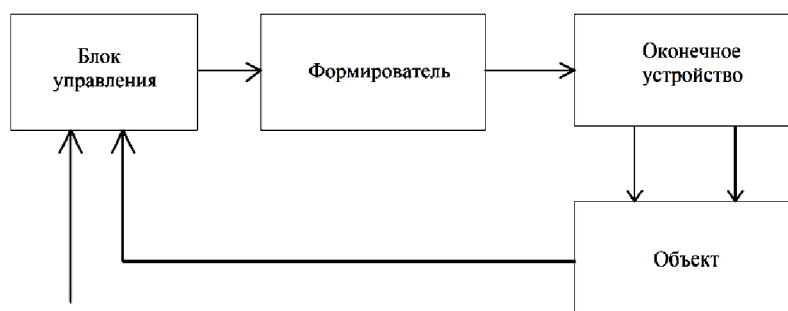


Рис.1. Обобщенная структурная схема



От внешнего устройства с помощью блока управления задается набор биотропных параметров воздействия (индукция, амплитуда, частота, форма магнитного и электрического поля во времени и пространстве, их интенсивность и синхронизация). Формирователь предназначен для получения определенных характеристик составляющих воздействия. Оконечное устройство представляет собой совокупность электродов, индукторов, непосредственно контактируемых с биологическим объектом.

Для достижения поставленных перед разработчиком задач часто определяется целевая функция  $Q$ . Ее выполнение означает формирование такого управления  $x_i$ , при котором стимул  $y_i$  компенсирует отклонение диагностического показателя до нормы. При одномерном однофакторном регулировании каждый управляющий сигнал влияет только на один параметр выходного воздействия. Например, важным параметром является амплитуда, частота, форма сигнала. Простейшее многообразие последнего фактора показано на рис.2. Постоянный ток непрерывен в отличие от переменного, который может иметь различные формы. На рисунке изображены формы сигналов: однофазный прямоугольный, двухфазный прямоугольный, полисинусоидальный, синусоидальный, треугольный, экспоненциальный.

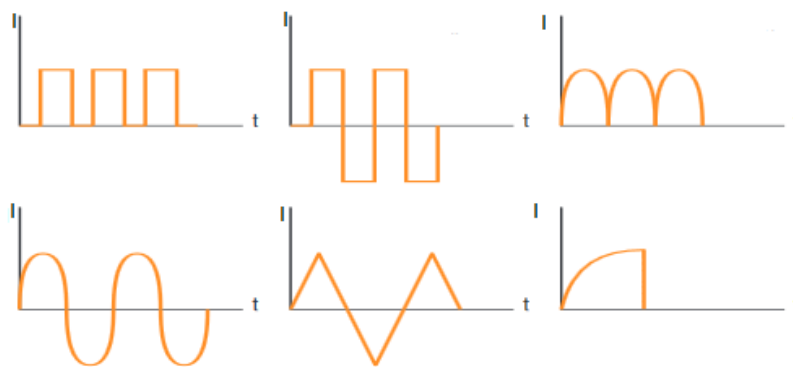


Рис. 2. Формы сигналов (слева направо снизу вверх):  
однофазный прямоугольный, двухфазный прямоугольный,  
полисинусоидальный, синусоидальный,  
треугольный, экспоненциальный

В работе [1] были выделены следующие механизмы действия окружающих, в т.ч. антропогенного происхождения полей на живой организм:

1. Ядерно-молекулярный.
2. Клеточный.
3. Тканевый.
4. Органный.
5. Системный, в особенности на центральную, периферическую и вегетативную нервные системы, сердечно-сосудистую, систему крови, эндокринную систему.
6. Межсистемный.
7. Общесистемный.
8. Межличностный.

При рассматривании процессов идентификации системы важно учитывать внутренние (эндогенные) и внешние (экзогенные, собственно лечебные, стимулирующие) процессы. Эндогенные процессы прослеживаются на всех уровнях вышеперечисленных механизмов действия. Показательным является изучение процессов, происходящих на системном уровне.

В первом приближении функциональную идентификацию регуляторных систем можно считать линейными системами первого порядка [2]. Внутренний регулятор процессов, происходящих в биологическом объекте, можно описать с использованием компартментного моделирования. В таком случае эту модель можно представить в следующем виде (рис. 3):

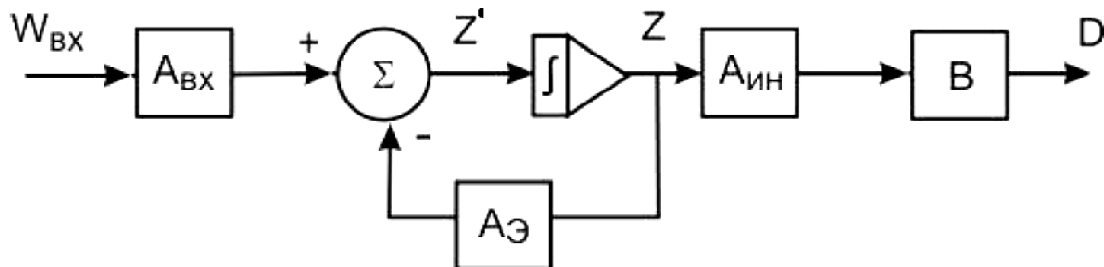


Рис. 3. Модель внутреннего регулятора физиологической системы

Выполняется следующее условие системы:

$$\begin{aligned} Z' &= -A_Э Z + A_{BX} W_{BX}, \\ D &= Z A_{ИН} B \end{aligned}$$

Здесь  $Z$  – матрица уровней компартмента;

$W_{BX}$  – матрица возмущающих воздействий;

$D$  – матрица диагностических показателей;

$A_Э$  – матрица коэффициентов внутренней регуляции;

$A_{BX}$  – матрица коэффициентов преобразования возмущающих воздействий в темпы изменения уровней компартментов;

$A_{ИН}$  – матрица коэффициентов преобразования уровней компартментов в информационные параметры;

$B$  – матрица коэффициентов преобразования информационных параметров в диагностический показатель.

В качестве возмущающего воздействия  $W_{BX}$  может быть увеличение концентрации глюкозы в крови.  $Z$  определяет работу эндокринной системы, а в качестве диагностического показателя  $D$  может являться уровень концентрации глюкозы в крови, состояние сосудистой стенки. Но необходимо понимать, что помимо внутренних регулирующих факторов при лечебном воздействии присутствуют также экзогенные, которые также необходимо учитывать. За счет анализа информативных параметров жизнедеятельности биообъекта формируется диагностический показатель [3]. Он определяет степень достижения в биотехнической системе лечебного эффекта, то есть реализацию целевой функции  $Q$ .

Очевидным является то, что система с экзогенным контуром управления будет обладать высоким быстродействием по сравнению с эндогенным контуром. Управление в биотехнической системе возникает в случае воздействия на нервные рецепторы. Лечебный эффект связан с использованием в системе эффективных параметров управления. В результате анализа источников были определены требования к проведению воздействия: ограничение параметров величин электрического тока и индукции магнитного поля, частот, отсутствие постоянной составляющей электрического тока, организация согласованного воздействия с естественной биоэлектрической активностью биообъектов, применение импульсного тока с малым нарастанием фронта, согласование длительности воздействия с постоянной времени релаксации тока в тканях, согласование режима экзогенного

воздействия с временными характеристиками эндогенного регулятора биотехнической системы. Указанные требования позволяют выбрать верное направление на пути конструирования аппаратуры для лечебного электромагнитотерапевтического воздействия, а также накладывает ограничения на применение диагностических средств для оценки информативных параметров в режиме реального времени во время сеанса лечения.

Важным направлением в исследовании построения систем электромагнитотерапии является синхронизация электромагнитотерапевтического воздействия с биологическими ритмами и реализация биотехнической обратной связи в разрабатываемых системах. Первый процесс основан на принципе биорезонанса. Используя биорезонансный эффект можно целенаправленно влиять на состояние биологического объекта. В качестве физиологических параметров для подстройки воздействия могут выбираться сердечные и дыхательные ритмы (сейсмические, акустические и фотометрические методы), которые могут определяться специальными датчиками. Необходимость введения биологической обратной связи в системах определяется в том, что во время лечения в организме происходят изменения и оператору (врачу) необходимо быстро отслеживать их и производить корректировку. То есть процедура заключается в том, что при непрерывном мониторинге некоторых физиологических показателей в режиме реального времени осуществляется их управление и таким способом можно быстрее достичь целевое значение.

### Библиографический список

1. Беркутов А.М. и др. Системы комплексной электромагнитотерапии. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2000. – 376 с.
2. Калакутский Л.И. и др. Системы электростимуляции органов и тканей. Эл.учебное пособие. Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева. – Самара, 2012. – 91с.
3. Пономаренко Г.Н. Доказательная физиотерапия. – СПб: ВМедА, 2011. – 176 с.

УДК 615.841; ГРНТИ 76.13.19

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА

М.Г. Кузнецов, В.И. Жулев

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

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы, связанные с проектированием и применением модуля для системы оптико-локационного измерения и контроля состояния пациента. Анализируются способы съема информации с аналоговых и цифровых датчиков.

*Ключевые слова.* Модуль, модульная система, оптико-локационный контроль, бесконтактный сбор данных.

## THE USE OF THE MODULAR PLATFORM FOR THE DESIGN OF THE SYSTEM OF OPTIC-LOCATIONAL MEASUREMENT AND MONITORING OF THE PATIENT'S CONDITION

M.G. Kuznetsov, V.I. Zhulev

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

*Abstract.* Questions related to the design and application of the module for the system of optical-location measurement and monitoring of the patient's condition are considered. Analyzed are ways of removing information from analog and digital sensors.

*Keywords.* Module, modular system, optical-location control, non-contact data collection.

В современных реалиях проектирование медицинских аппаратов и комплексов сводится к разработке такой системы, которая могла бы со временем наращивать функционал без критичных изменений в конструкции и с минимальными затратами на доработки прибора или целого комплекса. Для решения данной проблемы прекрасно подходит разработка отдельно взятых модулей, совокупность которых при умелом объединении позволила бы создать такое устройство, которое удовлетворяло бы следующим качествам: дешевизна в разработке, быстрое изменение функционала и повышенная ремонтопригодность[1].

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод, что для создания современного прибора или даже целого комплекса необходимо применять модульный подход в проектировании конкретных блоков, которые могут выполнять как отдельные функции – будь то бесконтактный съем сигнала от пациента, запись дыхания или частоты сердечных сокращений, – так и совместную работу в качестве системы, способной давать комплексную оценку состояния пациента.

В дальнейшем будем рассматривать модуль для снятия параметров дыхания оптическим способом. В качестве исходного материала для сборки модуля были закуплены следующие элементы:

- Плата Arduino UNO – выступает в роли платы, обрабатывающей информацию от датчика и передающей данные на рабочее место пользователя для их дальнейшей обработки.
- Цифровой оптический датчик расстояния – представляет из себя подготовленную плату, состоящую из ИК-диода и фотоприемника.
- Аналоговый дальномер фирмы Sharp модель GP2Y0A21YK0F.

Цель проектируемого модуля – бесконтактное снятие данных о параметрах дыхания пациента для последующей обработки на компьютере. Для получения и передачи данных на компьютер в плату Arduino вводилась простейшая программа:

```
const int analogPin = 0; // Задание пина, с которого происходит считывание данных при
использовании аналогового датчика.
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Скорость работы порта
  Serial.println("Analog Test"); // Выводим текст
  Serial.println(); // Пустая строка
}
void loop() {
  int analogValue = analogRead(analogPin); // Задаем переменную analogValue для
считывания показаний
  Serial.println(analogValue); // Выводим значение
  delay(100);
}
```

Используя данную программу, можно снимать данные как с цифрового датчика, так и с аналогового, при этом в случае цифрового датчика необходимо скорректировать переменные analogPin на digitalPin, а analogRead(analogPin) на digitalRead(digitalPin)[2].

При проведении эксперимента был выявлен недостаток простейшего датчика расстояния. При съеме данных на выходе появлялась либо «1» - сообщая, что уровень сигнала максимальный, объект в зоне видимости приемника, либо «0» - сообщая, что объект

вне зоны измерений. Результаты можно схематично представить на диаграмме, рис. 1, где  $a$  – время, в течение которого объект был в зоне видимости датчика (вдох),  $b$  – интервал времени, когда объект был вне зоны видимости датчика (выдох),  $t$  – интервал времени проведения замера.

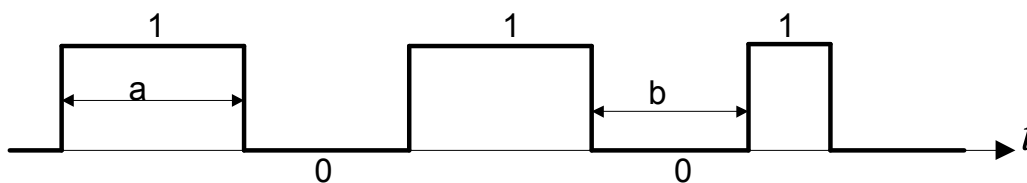


Рис. 1. Выходные данные с цифрового оптического датчика расстояния

Цифровой датчик позволяет в общих чертах снять данные от пациента и зафиксировать время начала и конца вдоха и интервал задержки, если дыхание не равномерное. Данные измерения не позволяют в полной мере оценить процесс дыхания, поэтому цифровой датчик был заменен на аналоговый фирмы Sharp.

В датчиках Sharp установлен инфракрасный (IR) светодиод (LED) с линзой, который излучает узкий световой луч. Отраженный от объекта луч направляется через другую линзу на позиционно-чувствительный фотоэлемент (Position-Sensitive Detector, PSD). От местоположения падающего на PSD луча зависит его проводимость. Данный датчик более точный за счет применения линз и позволяет проводить измерения в диапазоне расстояний 10-80 см. В качестве позиционно-чувствительного фотоэлемента выступает линейная CCD матрица.

### Принцип работы инфракрасного дальномера GP2Y0A21YK0F

Импульсы инфракрасного излучения испускаются излучателем. Это излучение отражается от объектов, находящихся в поле зрения сенсора. Отраженное излучение возвращается на приемник. Испускаемый и отраженный лучи образуют треугольник «излучатель — объект отражения — приемник». Угол отражения напрямую зависит от расстояния до объекта. Полученные отраженные импульсы собираются высококачественной линзой и передаются на линейную CCD матрицу. По засветке определенного участка CCD матрицы определяется угол отражения и высчитывается расстояние до объекта. На рисунке 2 схематично представлен принцип работы данного датчика [3].

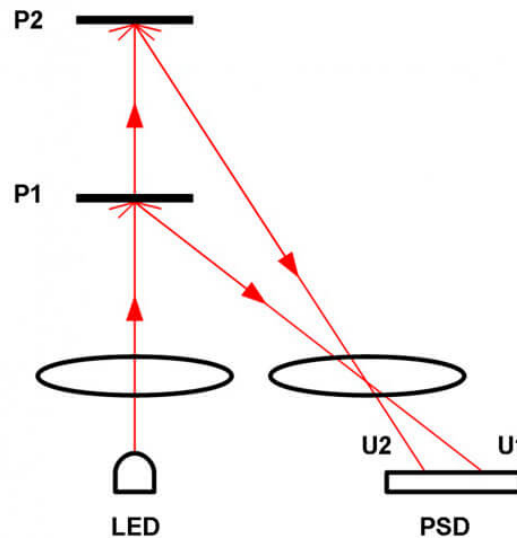


Рис. 2. Принцип работы датчика Sharp

После замены цифрового датчика на аналоговый в ходе проведения эксперимента были получены следующие данные, приведенные на рисунке 3, где  $a$  – время полного цикла ВДОХ-ВЫДОХ.

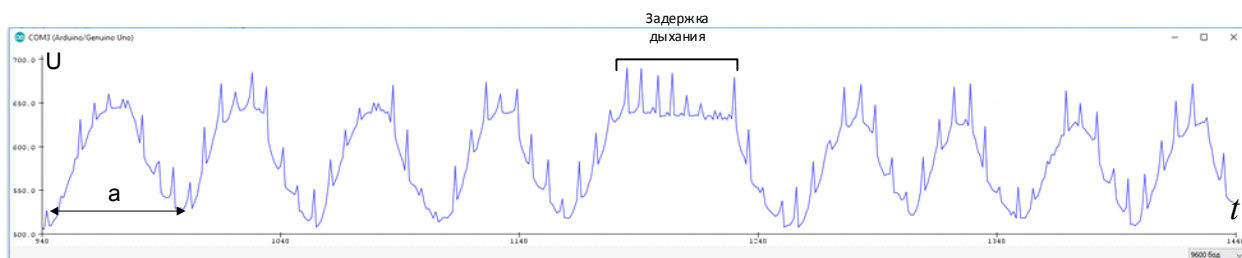


Рис. 3. Данные с аналогового датчика без обработки

Экспериментальные данные наглядно показывают, что аналоговый датчик позволяет обработать большее количество информации от объекта измерения. Также на графике отчетливо отображены моменты от начала вдоха до момента его завершения. Помимо этого, четко отражен промежуток времени, когда объект задерживал дыхание.

Применение аналогового датчика позволяет обработать весь сигнал от объекта, а не начальные и конечные промежутки, которые получались при съеме данных с цифрового датчика. После обработки и фильтрации сигнала должен получиться график, приведенный на рисунке 4.

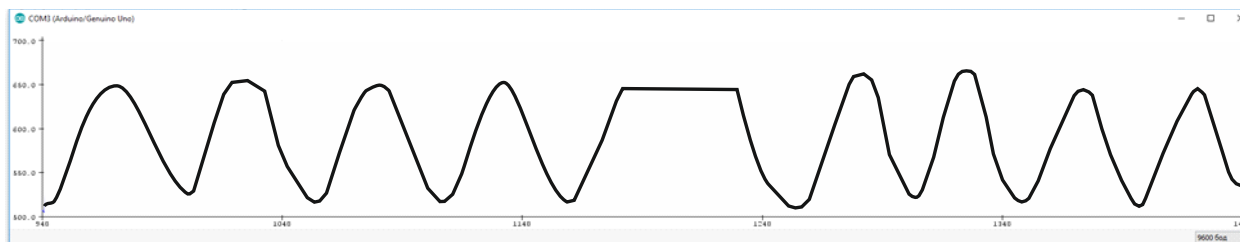


Рис. 4. Данные с датчика после фильтрации

Таким образом, с помощью модуля на основе платы Arduino и датчика Sharp появляется возможность производить бесконтактный съем данных дыхания от объекта. В дальнейшем предполагается перенаправление исходного сигнала (приведен на рис.3) средствами программного обеспечения компании National Instruments LabVIEW в спроектированный виртуальный прибор для накопления, обработки и последующего изучения графиков дыхания. В перспективе разработанное ПО позволит производить автоматизированный расчет количества вдохов/выдохов, сообщать об отклонениях в процессе дыхания и предупреждать о длительной задержке дыхания. В итоге модуль сможет выступать как отдельный блок для системы опτικο-локационного измерения и контроля состояния пациента.

### Библиографический список

1. Кузнецов М. Г., Жулев В. И. Модульность при построении медицинских аппаратов и комплексов [текст]/ Кузнецов М. Г., Жулев В. И.// Материалы Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Естественнонаучные основы медико-биологических знаний» ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России Материалы конференции. ISBN 978-5-8423-0180-5, Рязань 2017г. с.66-67
2. Программирование Arduino - цифровой ввод/вывод <http://robocraft.ru/blog/arduino/31.html>
3. Принцип работы инфракрасного дальномера GP2Y0A21YK0F <http://makerplus.ru/shop/infrakrasnyj-dalnomer-gp2y0a21yk0f>

УДК 681.784.88

## СОВМЕЩЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПОРАЖЕНИЙ КОЖИ

**В.М. Строев, А.Н. Ветров**

*Тамбовский государственный технический университет,  
Россия, Тамбов, stroev2006@yandex.ru*

**Аннотация.** В данной работе предлагается совмещать изображения инфракрасного и оптического диапазона, приведённых к общему пространственному формату. Целью предлагаемого совмещения и последующей обработки является получение более полной и достоверной информации об очаге поражения кожи человека.

**Ключевые слова.** Изображение, совмещение, тепловизионный, оптический, очаг поражения.

## COMBINING INFRARED AND OPTICAL IMAGES IN THE DIAGNOSIS OF SKIN LESIONS

**V.M. Stroeve, A.N. Vetrov**

*Tambov State Technical University,  
Russia, Tambov, stroev2006@yandex.ru*

**Abstract.** In this paper, it is proposed to combine images of the infrared and optical ranges, which are reduced to a common spatial format. The purpose of the proposed combination and subsequent processing is to obtain more complete and reliable information about the lesion of the human skin.

**Keywords.** Image, alignment, thermal imaging, optical, lesion focus.

При построении автоматизированных оптоэлектронных систем скрининга состояния кожи очень важно учитывать психо-физиологические свойства зрительного аппарата человека-оператора, так как при этом предъявляются жесткие требования как ко времени обнаружения, так и к вероятности правильного обнаружения.

Принято различать три уровня задач /1/, решаемых при наблюдении очагов поражения в изображении:

1. Обнаружение. В этом случае наблюдатель выделяет очаг поражения (ОП) на фоне здоровых участков кожи.

2. Оpoznание. В этом случае наблюдатель способен выделять размер, форму, т.е. крупные детали ОП.

3. Идентификация. В этом случае наблюдатель, учитывая мелкие детали изображения, способен отличать очаг поражения от других очагов и принимать решение о его принадлежности к реальным ОП кожи.

При выполнении скрининга, как правило, требуется опознавание ОП и, если возможно, распознавание, причем, при максимально возможной вероятности правильного принятия решения в рамках ограниченного времени. В этом случае один из способов совершенствования оптоэлектронных систем заключается в совместном использовании информации от различных датчиков изображений.

Так в некоторых зарубежных разработках информация от теплообнаружительного прибора выдается в виде ярких точек, накладываемых на изображение цели. Использование такого способа комплексирования не позволяет оператору определить тип цели и, даже наоборот, закрывает часть изображения и, следовательно, уменьшает вероятность правильного определения типа цели.

Таким образом, актуальной становится задача разработки такого способа комплексирования различных датчиков изображений, который позволил бы произвести идентификацию ОП, причем при максимально возможной вероятности правильного принятия решения в рамках ограниченного времени.

При этом следует учитывать, что даже обычное телевизионное изображение является избыточным, поэтому совместное использование информации хотя бы двух датчиков изображения уже весьма проблематично и требует определения наиболее важных параметров требуемого комплексированного изображения.

Основными факторами, определяющими результат работы оператора являются /2/:

- угловые размеры  $\delta$  очага поражения;
- контраст  $K$  очага поражения с фоном, который определяется отношением разности яркостей ОП и фона к их сумме;
- угловые размеры  $2\beta$  поля обзора;
- яркость  $L_f$  фона;
- время  $t$  наблюдения.

В результате экспериментальных исследований /2/ установлено следующее.

Чем больше площадь ОП и выше его контраст с фоном, тем раньше он будет обнаружен, т.к. в поиске будет принимать участие не только центральная область глаза, но и периферическая, обладающая большим полем. При этом опознавание ОП может производить центральная область глаза – фовеа, обладающая высокой разрешающей способностью. При поиске ОП его форма не играет большой роли, а имеет значение только его площадь в пределах соотношения сторон от 1:1 до 1:10. Увеличение угловых размеров ОП в 2 раза сокращает время, необходимое для обнаружения, в 8 раз!



Значение контраста также существенно влияет на результативность поиска ОП. Контраст  $K=0,32$  считается средним, а контраст  $K=0,08$  – низким, в этом случае ОП почти сливается с фоном и оператору без решения задачи распознавания невозможно выделить ОП. Время, необходимое для обнаружения ОП, которые светлее и темнее фона, при одинаковых абсолютных значениях положительного и отрицательного контрастов, одно и то же.

С увеличением яркости фона время поиска ОП уменьшается, так как увеличивается разрешающая способность и контрастная чувствительность глаза. Увеличение поля обзора увеличивает и время, необходимое для поиска ОП. Так, двукратное увеличение поля обзора вызывает четырехкратное увеличение времени поиска. При этом определяющей является угловая площадь поля обзора и его форма значения не имеет.

Невооруженный глаз человека имеет поле зрения умеренного качества  $40^\circ$  по горизонтали и  $30^\circ$  – по вертикали. Кольцевое поле высокого качества –  $9^\circ$  и поле максимального качества –  $2^\circ$ . Эти качества обеспечиваются на разнообразных фонах в дневное время.

Таким образом, требования к изображению оптоэлектронной системы достаточно многообразны и полное их удовлетворение представляется достаточно трудным.

Тем не менее, целесообразно выделить ситуации, в которых комплексирование изображений позволит облегчить работу оператора.

Реально в условиях скрининга контраст ОП на общем фоне кожи очень низкий и работа оператора крайне затруднена. В то же время тепловизионные приборы позволяют обнаруживать теплоконтрастные ОП, однако в силу специфики изображения и малой детальности распознавание ОП также затруднено. В этом случае целесообразно, используя ИК-изображение, выделить ОП на ТВ-изображении. При этом изображение остается привычным для оператора.

Наибольшее влияние на эффективность работы оператора при выделении ОП оказывают следующие факторы:

- повышение контраста ОП/фон,
- повышение яркости фона,
- ограничение поля обзора.

Последний фактор требует наложения определенных ограничений. Действительно, нельзя полностью ограничить поиск внутри окна, в котором по информации ИК-изображения ожидается ОП, т.к. в этом случае могут быть потеряны даже высококонтрастные ОП, имеющие слабый тепловой контраст. Целесообразно косвенно ограничить поле обзора, например, создав различную яркость фона в области ОП и в оставшейся части изображения. Безусловной является необходимость повышения контраста ОП.

Учитывая вышеизложенное, схема комплексирования ТВ- и ИК- изображений может быть представлена следующим образом (рис.1).

В соответствии с приведенной схемой формирование комплексированного изображения производится путем поточечного перемножения исходного ТВ-изображения и обработанного ИК-изображения. В данном случае эффективность работы схемы определяется способом формирования модулирующего сигнала. Процесс формирования комплексированного изображения можно представить как формирование реального оптического изображения путем слабого освещения сцены с подсветкой области ОП дополнительным источником света.

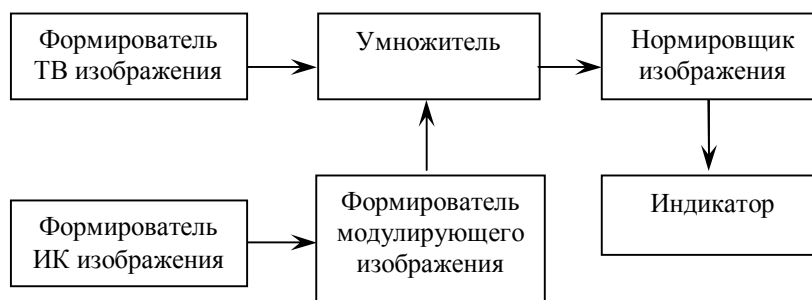


Рис.1. Схема комплексирования ТВ- и ИК- изображений

При этом в изображении формируется участок повышенной яркости фона и ОП с увеличенным контрастом ОП/фон.

В случае наблюдения теплопоглощающего ОП, тепловой контраст которого отрицателен, для формирования комплексированного изображения, в соответствии с рис.1, достаточно проинвертировать видеосигнал ИК-изображения.

На рисеурт 2 представлен алгоритм комплексирования, соответствующий случаю, когда область поражения имеет определенную визуальную форму.



Рис. 2. Алгоритм комплексирования ТВ- и ИК- изображений

В этом случае цветное визуальное изображение раскладывается на RGB составляющие, используется либо одна составляющая, либо их комбинация, характеризующиеся наибольшей контрастностью искомой области, производится фильтрация визуального изображения с маской ориентированной на заданную форму. Операция выделения наибольшей области скопления точек позволяет исключить выделение ложных областей. После перемножения на тепловизионном изображении выделится область очага поражения.

Таким образом, актуальной становится задача анализа возможных способов

формирования модулирующего изображения из тепловизионного. К таковым можно отнести алгоритмы пороговой и пространственно-частотной обработки изображений.

Алгоритмы пороговой обработки изображений достаточно подробно проанализированы в [1]. Однако следует отметить, что применение данных алгоритмов подразумевает автоматическое принятие решения о наличии ОП, что в общем случае может снизить эффективность работы оператора, поэтому целесообразно использовать методы пространственно-частотной селекции ОП в изображении с полуавтоматическим выбором порога.

### Библиографический список

1. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска.-М.: Машиностроение, 1985.- 128 с.
2. Орлов В.А., Петров В.И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости.- М.: Воениздат, 1989.-254 с., ил.

УДК 615.47; ГРНТИ 76.13.15

## ОБЗОР СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В АППАРАТАХ ДЛЯ ЭОД

В.Ю. Андриевский

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, andrievs94@mail.ru*

*Аннотация.* Данная работа посвящена рассмотрению наиболее распространенных схемотехнических решений применявшихся на различных этапах развития аппаратов для электроодонтодиагностики.

*Ключевые слова.* Аппарат для ЭОД, схемотехнические решения, электроодонтодиагностика, схема Рубина.

## OVERVIEW OF ELECTRIC SCHEMES USED IN EPT DEVICES

V.U.Andrievskiy

*Ryazan State Radioengineering University,  
Ryazan, Russia, crasssy001@gmail.com*

*Abstract.* This paper is devoted to an overview of the most popular types of electric schemes used in electric pulp testing devices at different stages of their technological development.

*Keywords.* EPT device, electric schemes, electric pulp testing, Rubin's scheme

### Введение

Электроодонтодиагностика — это методика диагностирования нарушений в пульпе зуба с целью постановки наиболее точного диагноза с целью выбора наиболее эффективной методики лечения. Суть метода заключается в определении болевой реакции нервных рецепторов на электрический ток.

Метод нашел крайне широкое применение в диагностировании сложных случаев заболеваний пульпы, в конце прошлого века, но также метод применяется специалистами и в наши дни, и имеет немалое значение для диагностики.

### Первый аппарат для ЭОД, схема Рубина

Самый первый вариант метода был разработан доктором медицинских наук Львом Рувимовичем Рубиным. В 1947 году под его руководством был разработан и внедрен в стоматологическую практику предложенный им метод электроодонтодиагностики. Также под

его руководством были созданы диагностические аппараты ОД-1, ОД-2, ИВН-1. Аппараты представляли собой эволюционное развитие техники для ЭОД, и каждый следующий аппарат был совершеннее предыдущего, но их объединял достаточно простой принцип функционирования, и два общих недостатка: низкий уровень электробезопасности и высокий риск повреждения пульпы пациента. Аппарат включался в сеть переменного тока 127 В, 50 Гц. Ток электросети проходил через токоограничивающие резисторы, через повышающий трансформатор 127/485 В, после чего, выпрямлялся диодным мостом и, проходил через делитель на переменном резисторе, через микроамперметр, активный электрод, зуб, правую руку пациента, и пассивный электрод. Конечно, подобная схема была крайне небезопасна по современным меркам, однако аппараты схожей конструкции производились вплоть до конца 70х годов [1].

В зависимости от положения ручки переменного резистора, через пациента протекал ток разной величины — от 0,5 до 200 мкА. После установки ручки потенциометра в очередное положение, согласно инструкции к аппарату: «на 1-2 мм вправо относительно предыдущего положения», стоматолог замыкал измерительную цепь и пускал ток через зуб пациента. Нажатия должны были быть достаточно длинными, чтобы успеть зафиксировать отклонение стрелки микроамперметра, но достаточно короткими, чтобы не вызвать чрезмерной боли у пациента и не допустить повреждения нервных рецепторов. На практике регулятор прибора часто смещали большими шагами, чем рекомендовалось в инструкции с целью уменьшения продолжительности измерения, поскольку многократные удары током приводили к адаптации рецепторов или поляризации пульпы и ослаблению болевых ощущений, что приводило к необходимости увеличения тока и иногда к повреждению пульпы.

Однако, именно при помощи таких аппаратов была составлена диагностическая таблица, сопоставляющая ток, при котором возникают болевые ощущения с диагнозом, которой пользуются стоматологи и в наши дни [2].

Таблица 1. Диагностическая таблица для ЭОД

| № п/п | Ток чувствительности, мкА | Диагноз                                                                 |
|-------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2-8                       | Интактный (здоровый) зуб                                                |
| 2     | 9-14                      | Кариес                                                                  |
| 3     | 15-24                     | Глубокий кариес (воспалительные изменения обратимого характера)         |
| 4     | 25-44                     | Пульпит (воспалительный процесс в коронковой пульпе)                    |
| 5     | 45-100                    | Корневой пульпит (гибель коронковой пульпы, воспаление корневой пульпы) |
| 6     | 101-200                   | Периодонтит (полная гибель пульпы)                                      |

### ЭОД по переменному току

С целью борьбы с негативными эффектами ранних аппаратов был осуществлен переход к измерениям при помощи не постоянного, а переменного тока. Характерным примером аппарата такого типа можно считать ЭОМ-3. Аппараты подобного типа, равно как и предыдущее поколение электроодонтометров были разработаны в стенах ММСИ. Схема аппарата ЭОД второго поколения изображена на рисунке 1.

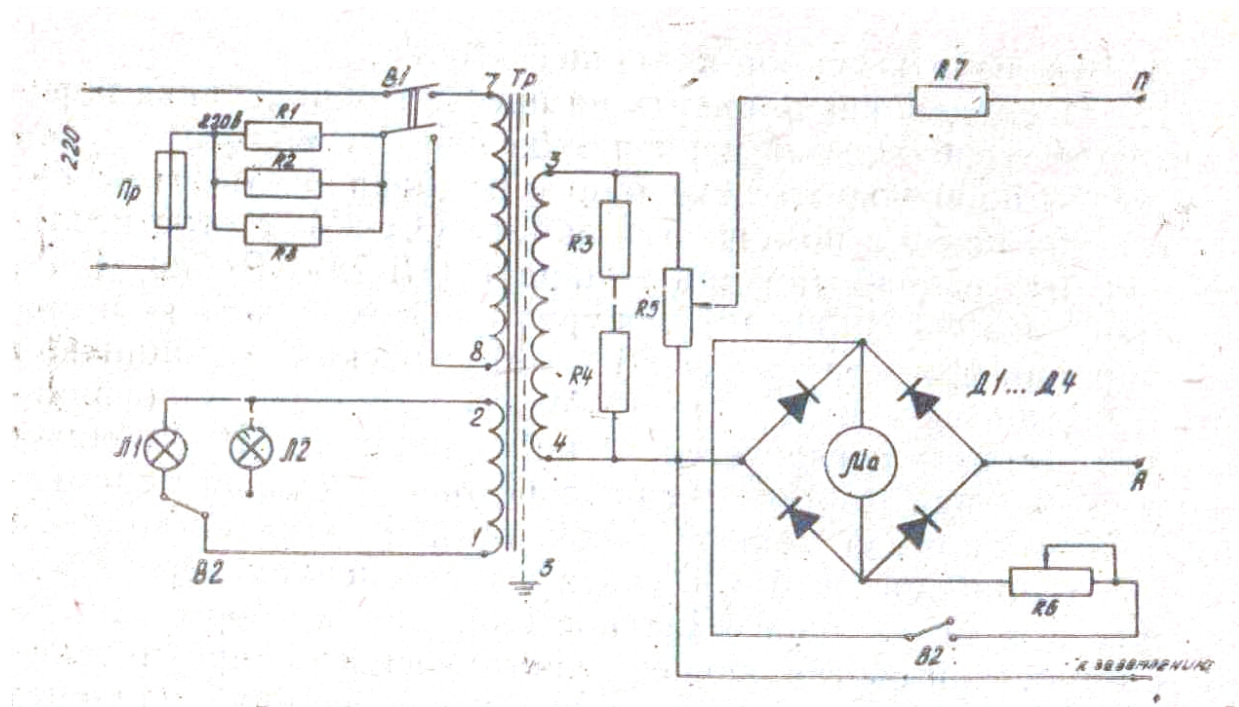


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема прибора ЭОМ-3

Как показали исследования Л.Р. Рубина, применение переменного тока частотой 50 Гц для ЭОД приводит к двукратному снижению порогового болевого тока. Основываясь на этом открытии, сотрудники ММСИ разработали прибор ЭОМ-3, в котором повышение тока происходило плавно, что приводило к уменьшению общего времени проведения процедуры и снижению разрушающего воздействия на нервные рецепторы и пульпу, по сравнению с приборами первого поколения. Это связано с тем, что при меньшем измерительном токе и меньшем времени проведения процедуры на пульпе и нервных рецепторах успевала выделиться более чем вдвое меньшая энергия.

Как видно из рисунка 1 данная схема отличается от схемы Рубина только исключением диодного моста из цепи пациента (через диодный мост включен только микроамперметр), также отсутствует кнопка для замыкания цепи пациента — эта цепь замкнута всегда, пока включен прибор и подсоединен пациент [3].

Регулирование тока в таких приборах осуществляется плавно а не дискретно, и не движковым, а вращательным переменным резистором. Напряжение на делителе в цепи пациента — всё те же 485 В, а ток меняется уже в диапазоне 0,5-100 мкА. Но, с тем, чтобы соответствовать диагностической таблице 1, шкала прибора показывала удвоенные значения тока. Приборы второго поколения эксплуатировались с конца 70х годов прошлого века, до второй половины 00-х годов 21 века.

### Импульсные приборы для ЭОД

В современных приборах для ЭОД в связи с требованиями электробезопасности измерительная схема существенно отличается от приборов первого и второго поколения. В современных приборах нет возможности выбора режима измерения — постоянным или переменным током, как это было в некоторых приборах второго поколения, нет возможности ручной регулировки тока и напряжения, поскольку, в современных приборах эти параметры регулируются автоматически, тем не менее, в точности измерений они не уступают своим предшественникам, но при этом оказывают в десятки раз меньшее разрушительное воздействие на пульпу и нервные рецепторы. Все дело в том, что в современных приборах для ЭОД применяются импульсные схемы на основе импульсного инвертора с трансформатором с выводом средней точки на двух транзисторах [4]. Пассивный электрод любого современного прибора для ЭОД располагается не в руке у пациента, а представляет собой загубный крюк.

Такой инвертор выполняет сразу две функции — генерирует короткие импульсы тока положительной и отрицательной полярности длительностью 0,5 мс 10 раз в секунду, и при этом гальванически развязывают измерительную цепь пациента от чувствительной электроники, управляющей инвертором со стороны низковольтной обмотки. Напряжение питания такого инвертора составляет 5 или 3,3 В зависимости от типа микроконтроллера используемого в приборе. Управляющий микроконтроллер открывает один из транзисторов, через первичную обмотку импульсного трансформатора начинает протекать ток, индуцирующий напряжение во вторичной обмотке, через 0,5 мс микроконтроллер закрывает этот транзистор, прерывая ток и завершая импульс напряжения. В начале следующего периода микроконтроллер проделает те же действия со вторым транзистором, создавая импульс отрицательной полярности, чтобы не допустить поляризации пульпы.

Микроконтроллер способен управлять степенью открытия транзисторов со стороны первичной обмотки и, соответственно напряжением, подаваемым на неё. Поэтому, чтобы соответствовать диагностической шкале, микроконтроллер пересчитывает значение энергии, выделившейся в цепи пациента и зависящее от напряжения, поданного им в первичную обмотку трансформатора в эквивалентную величину тока, которая вызвала бы у пациента такие же болевые ощущения в приборе, собранном по схеме Рубина, хотя ни таких напряжений, ни таких токов в современных приборах не присутствует. Так, например, при показаниях на экране прибора ЭндоЭст-3Д в режиме ЭОД, равным 5 мкА, на самом деле к пациенту с суммарным сопротивлением зуба и слизистой равным 300 кОм будет приложено напряжение 120 В и будет протекать ток 0,4 мА, а при показаниях прибора 50 мкА, к пациенту будет приложено напряжение в 1000 В и будет протекать ток 2,7 мА. Пример формы импульса отрицательной полярности, генерируемого современным аппаратом на резистор номиналом 10 кОм, при показаниях прибора 9 мкА можно видеть на рисунке 2.

Аппарат генерирует импульсы противоположных полярностей 10 раз в секунду, чтобы избежать поляризации. Длительность одного импульса составляет 0,5 мс. В течение измерения ток постепенно повышается с нарастающей скоростью и в тот момент, когда пациент чувствует покалывание в зубе, он нажимает на кнопку, останавливающую процесс нарастания тока. Проход всей шкалы занимает около 30 секунд.



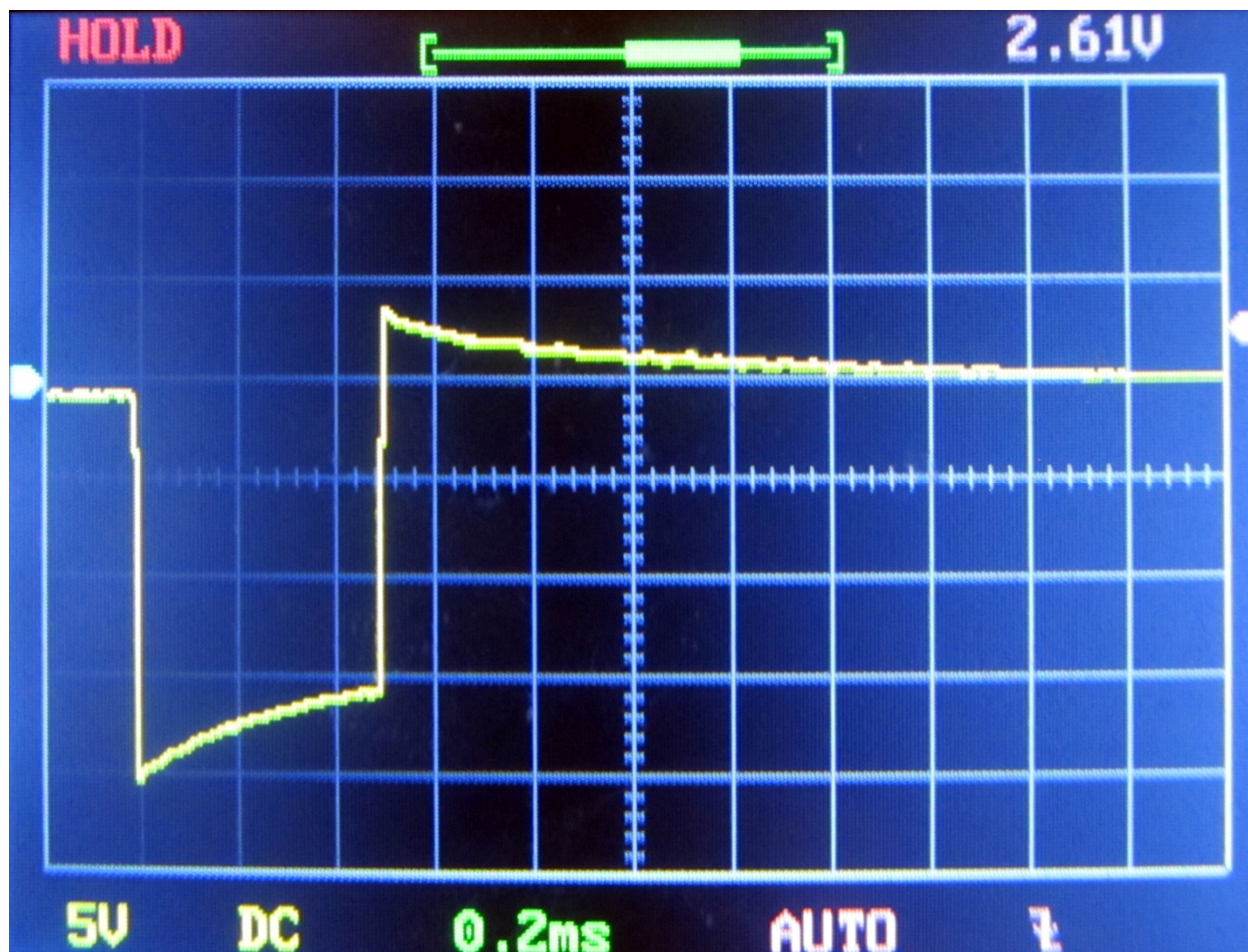


Рис. 2. Импульс напряжения отрицательной полярности современного аппарата ЭОД

Таким образом, энергия, выделяющаяся за один сеанс ЭОД современным аппаратом, длительностью в 30 секунд (что сопоставимо с сеансом ЭОД второго поколения) составит 0,27 Дж. Когда как у прибора второго поколения выделившаяся на зубе и слизистой пациента энергия составит 0,66 Дж, а у аппарата первого поколения – не менее 1,3 Дж. Таким образом, современные приборы – не только более электробезопасны, но ещё и более компактны, просты в использовании и оказывают меньшее негативное воздействие на пульпу и нервные рецепторы зуба, и слизистой оболочки ротовой полости.

### Библиографический список

1. Энциклопедия «История медицины», статья «Рубин Лев Рувимович» [Электронный ресурс], URL: [http://www.historymed.ru/encyclopedia/doctors/index.php?ELEMENT\\_ID=683](http://www.historymed.ru/encyclopedia/doctors/index.php?ELEMENT_ID=683) (дата обращения 11.02.2018)
2. А.И.Николаев, Е.В.Петрова, учебное пособие «Электроодонтодиагностика», ГБОУ ВПО «Смоленская государственная медицинская академия», Москва «МЕДпресс-информ», 2014, С. 8-10.
3. Паспорт «Электроодонтометр ЭОМ-3», ММСИ, 1985
4. Руководство по эксплуатации «ЭндоЭст-3Д», ЗАО «Геософт Дент», 2016, С. 23-25.

УДК 531.784; ГРНТИ 59.31.35

## ОБЗОР СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЦИФРОВЫХ ДИНАМОМЕТРАХ

М.А. Рядовой

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, crasssy001@gmail.com*

*Аннотация.* Данная работа посвящена рассмотрению наиболее распространенных схемотехнических решений применяемых при разработке цифровых динамометров для нужд промышленности и науки.

*Ключевые слова.* Цифровые динамометры, тензодатчик, схемотехнические решения, микроконтроллер.

## OVERVIEW OF ELECTRIC SCHEMES DEVELOPMENT SOLUTIONS USED IN DIGITAL DYNAMOMETERS

M.A. Ryadovoi

*Ryazan State Radioengineering University,*

*Ryazan, Russia, crasssy001@gmail.com*

*Abstract.* This paper is devoted to an overview of the most popular digital dynamometers electric schemes solutions used in development of digital dynamometers for industrial and scientific use.

*Keywords.* Digital dynamometers, strain gauge, electric schemes development solutions, microcontroller.

### Введение

Динамометр – прибор для измерения силы или момента силы, состоящий из силового звена и измерительного устройства.

В цифровых динамометрах силовым звеном выступает тензодатчик – упругая S-образная скоба или толстая широкая прямая пластина, в которой смонтировано 4 тензорезистора по мостовой схеме, как показано на рисунке 1. Составляющими элементами тензодатчика являются тензорезисторы.

Тензорезистор – это полупроводниковый резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от деформации [1].

Чувствительность тензорезистора определяется по формуле:

$$K=dR \cdot R_0 / e,$$

где  $dR$  – абсолютное изменение сопротивления, вызванное деформацией;

$R_0$  – начальное сопротивление недеформированного тензорезистора;

$e$  – относительная деформация, вычисляющаяся по формуле:

$$e=dL/L_0,$$

где  $dL$  – абсолютное изменение длины;

$L_0$  – длина недеформированного тензорезистора.

### Схема подключения тензорезистора

Из рисунка 1 хорошо понятен принцип действия подобного датчика. В точки А и В подается питание тензодатчика  $U_{row+}$  и  $U_{row-}$ , с этих же точек снимается уровень опорного напряжения, относительно которого производятся измерения  $U_{ref+}$  и  $U_{ref-}$ . А полезный сигнал снимается с двух других точек мостового тензодатчика – напряжения  $U_{sig+}$  и  $U_{sig-}$ .

В динамометрических измерительных установках, где тензодатчик должен находится



на значительном удалении от управляющей электроники усилитель, вместе с цепями питания располагается непосредственно возле датчика, поскольку, чем меньше длина проводников от датчика до усилителя сигнала, тем более высокой будет точность измерений. В таких системах после усилителя и фильтра устанавливается токовый преобразователь, преобразующий усиленную величину напряжения в ток, чья величина зависит от измеренного напряжения, и уже преобразователь соединен с микроконтроллером, расположенным удаленно, как показано на рисунке 2.

В тех же случаях, когда управляющий контроллер должен располагаться более чем в 10 метрах от датчика, такая схема также оказывается непригодной, в таком случае в одном блоке с тензодатчиком и усилителем также располагается измерительный микроконтроллер, измеряющий напряжение в узле, после чего передающий эти данные управляющему контроллеру по последовательному порту или промышленному сетевому интерфейсу [2].

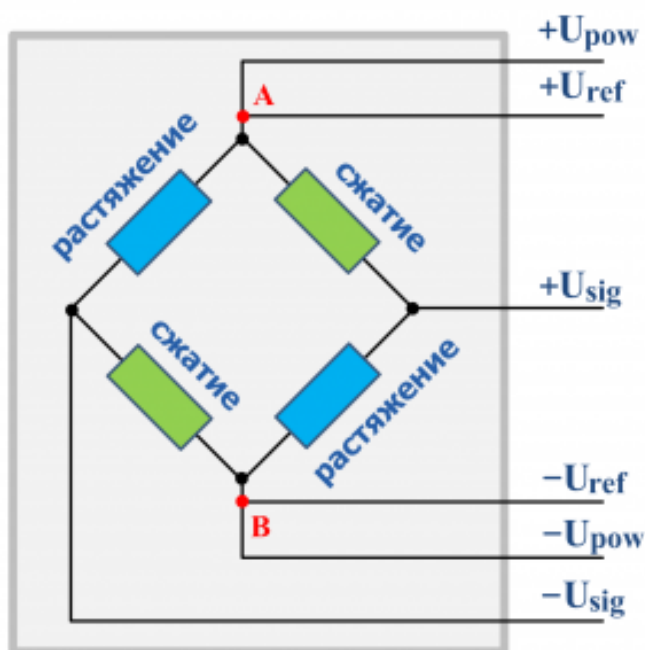


Рис. 1. Схема подключения тензодатчика к усилителю

### Усилитель сигнала тензодатчика

Остановимся подробнее на ключевой части измерительной схемы – усилителе, поскольку именно от его конструкции и точности будет зависеть принцип считывания данных измерительным контроллером.

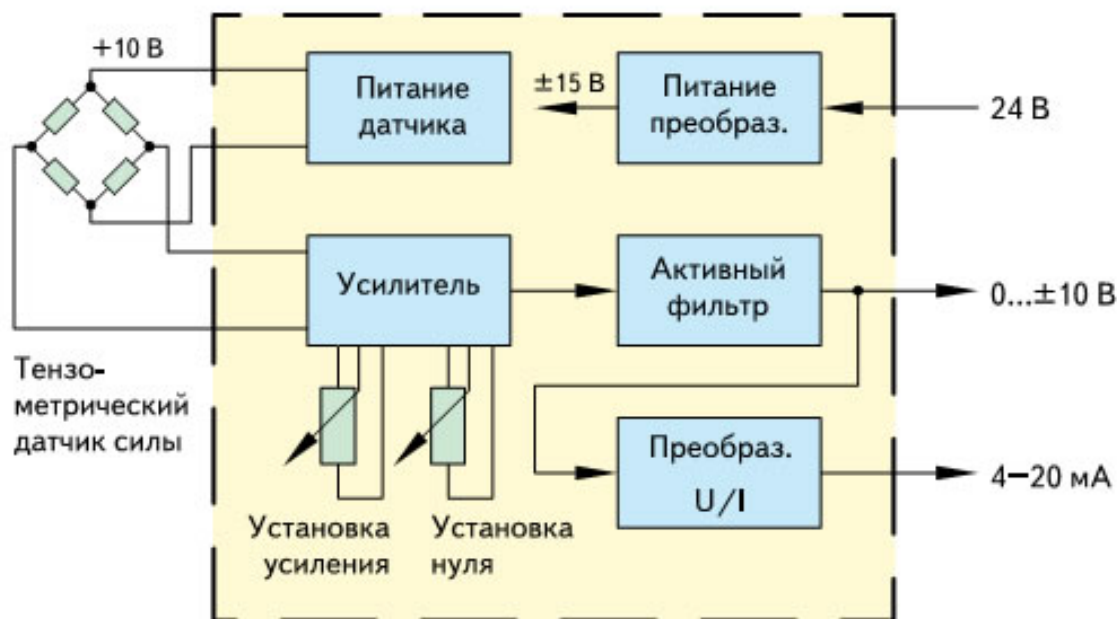


Рис. 2. Промышленная измерительная схема на тензодатчике

Для работы с тензодатчиками необходимо применение дифференциальных усилителей. Дифференциальный усилитель на ОУ выполняет в такой схеме сразу две функции – преобразует биполярное напряжение в униполярное с уровнем нуля, совпадающем с уровнем нуля измерительного микроконтроллера и усиливает напряжение снимаемое им с тензодатчика. Схема подключения ОУ к тензодатчику изображена на рисунке 3. Здесь  $U_2$  соответствует  $U_{sig+}$  рисунка 1, а  $U_1$  соответствует  $U_{sig-}$  рисунка 1. А выходное напряжение рассчитывается по формуле:

$$U_{вых} = R_2/R_1 * (U_2 - U_1).$$

При этом  $U_{вых}$  не должно превышать максимальное измеряемое напряжение  $U_{max}$  встроенного АЦП измерительного микроконтроллера, используемого в схеме, в противном случае это может привести к выходу МК из строя или, как минимум, к неверным измеренным показаниям усилий, испытываемых тензодатчиком [3].

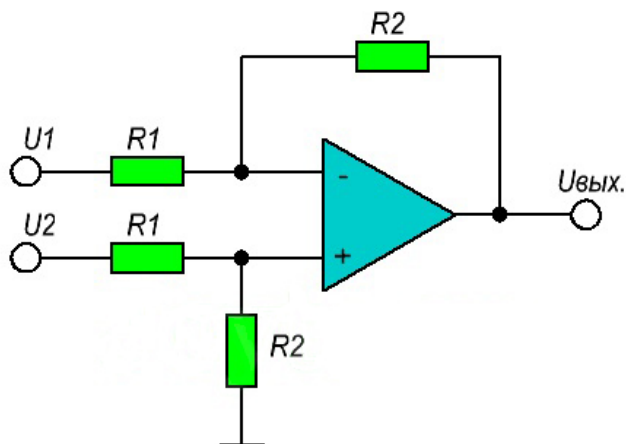


Рис. 3. Схема включения дифференциального ОУ

### Подключение микроконтроллера к усилителю

При выборе микроконтроллера для измерений необходимо учитывать не только максимальное напряжение его АЦП, но и также его разрядность. МК с встроенным АЦП имеющим большую разрядность, максимальное напряжение и скорость преобразования достаточно дороги. Из чего вытекают некоторые проблемы при проектировании динамометров в бюджетном ценовом сегменте. Если у вас нет возможности заменить имеющийся МК на МК с подходящими параметрами встроенного АЦП, и он не отвечает вышеописанным требованиям, возможны два решения.

Первое - применение внешнего АЦП (на рынке доступны также решения совмещающие настраиваемый дифференциальный усилитель и АЦП с большой разрядностью и большим максимальным измеряемым напряжением). Но подобные внешние АЦП обычно отличаются низкой скоростью работы в связи с тем, что имеют возможность связываться с МК только по последовательному порту.

Второй решение потребует от нас применить некое схемотехническое решение, позволяющее нам расширить диапазон измерений нашего МК, без потери точности измерений – разделить напряжение на несколько входов АЦП нашего МК при помощи вычитающих ОУ. Схема включения показана на рисунке 4.

Таким образом, мы получаем схему, в которой тензодатчик точно также подключается к входам U2 и U1, как и в схеме на рисунке 3, но на этот раз, благодаря вычитающим ОУ полезный сигнал будет приходить на 4 входа микроконтроллера. Поэтому мы считываем полезный сигнал с ОУ4, в диапазоне от 0 до 5 В, с ОУ3 в диапазоне от 5 до 10 В, с ОУ2 в диапазоне от 10 до 15 В, и с ОУ 1 в диапазоне от 15 до 20 В с точностью  $\pm 4,8\text{мВ}$ . Если мы используем для измерений МК Atmega 328 и максимальная частота измерений для него составляет 8,9 кГц, из-за такого решения частота измерений снизится до 2,25 кГц и отдельные измерения будут разнесены во времени [4]. Но если вас не интересуют частоты измерений более 2,25 кГц и неодновременность работы АЦП, то этот вариант может вам подойти.

Также имеется важный момент для работы данной схемы, необходимо подать на ОУ следующие напряжения питания: ОУ1 20В, ОУ2 15В, ОУ3 10В, ОУ4 5В с тем, чтобы при повышении напряжения на входах ОУ1-4 выше измерительного диапазона на выходе каждого из них всё равно не могло оказаться напряжения более 5 В, чтобы не допустить повреждения аналоговых входов МК.

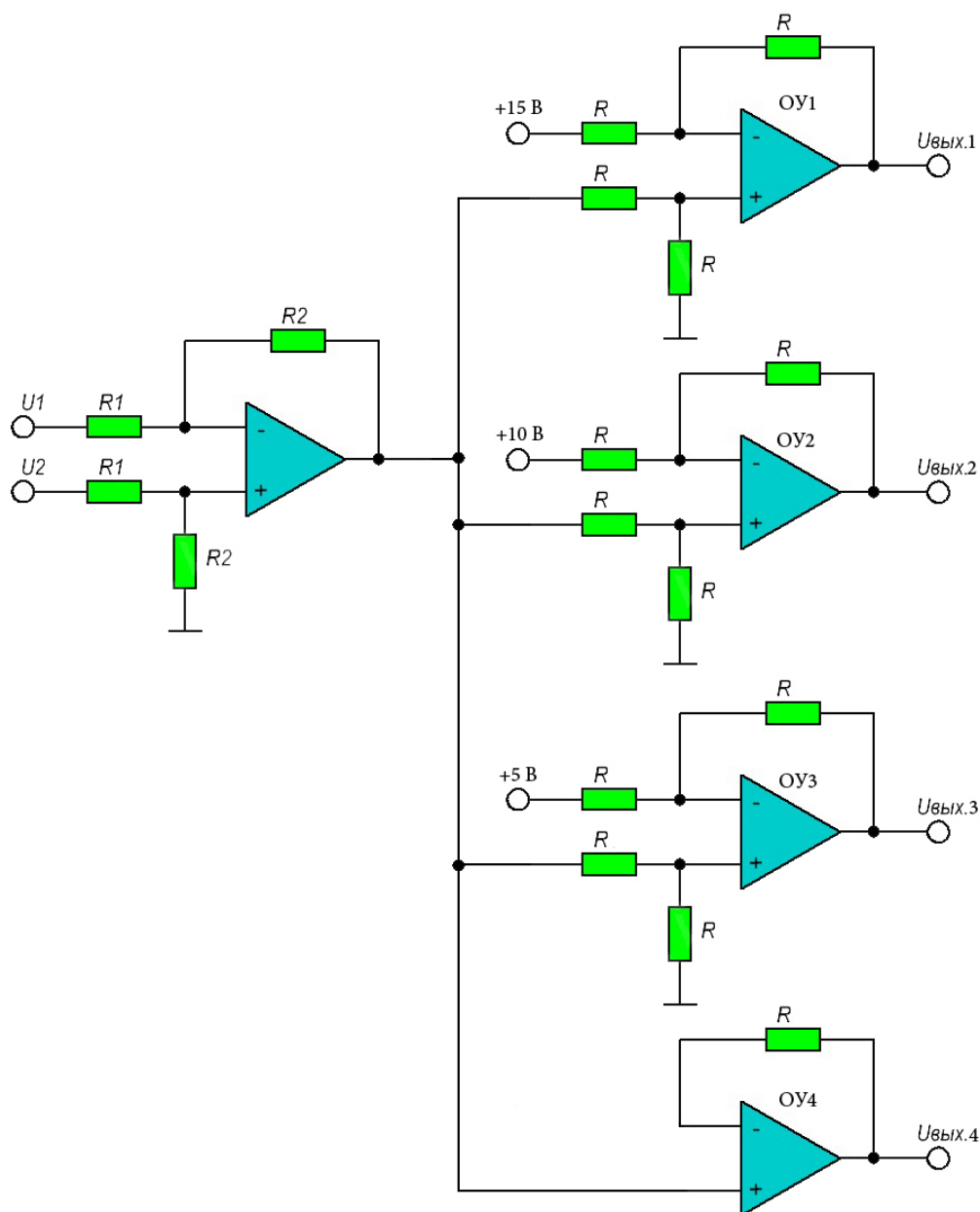


Рис. 4. Альтернативная, бюджетная схема подключения тензорезистора

### Библиографический список

1. Словарь «Академик», статья «Тензорезистор» [Электронный ресурс], URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/194019> (дата обращения 12.02.2018)
2. Энциклопедия АСУ ТП, статья «Тензорезисторы» [Электронный ресурс], URL: [http://www.bookasutp.ru/Chapter6\\_3\\_5.aspx](http://www.bookasutp.ru/Chapter6_3_5.aspx) (дата обращения 12.02.2018)
3. А.Соколюк, статья «Операционный усилитель? Это очень просто!» [Электронный ресурс], URL: <http://cxem.net/beginner/beginner96.php> (дата обращения 12.02.2018)
4. Техническое описание, Atmel, ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P, ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KB YTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH, 2015.

УДК 615.47; ГРНТИ 76.13.23

## **РАЗРАБОТКА УСТАНОВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАЗРЫВ И СДВИГ**

**Н.В. Булгакова**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, tasha0813@mail.ru*

*Аннотация.* Данная работа посвящена результатам разработки установок на разрыв и сдвиг, применяющихся для изучения прочностных характеристик временных пломбировочных материалов.

*Ключевые слова.* Временные пломбировочные материалы, разрыв, сдвиг.

## **TENSILE STRENGTH AND SHEARING FORCE OF TEMPORARY DENTAL FILLING MATERIALS TESTING DEVICE**

**N.V.Bulgakova**

*Ryazan State Radioengineering University,*

*Ryazan, Russia, tasha0813@mail.ru*

*Abstract.* This paper is devoted to the description of the results of a tensile strength and shearing force of temporary dental filling materials testing device.

*Keywords.* Temporary dental filling materials, tensile strength, shearing force.

### **Введение**

Стоматологические препараты, такие, как временные цементы, созданы для краткосрочного (как правило до месяца) фиксирования зубных пломб, к примеру, с лекарственным препаратом перед постоянным пломбированием. В то же время некоторые временные пломбы очень трудно устранить по истечению этого срока, а иные наоборот не дотягивают по времени, разрушаясь иногда уже через 2-3 дня.

Если для постоянных пломбировочных материалов прописаны технические характеристики на разрыв и сдвиг, то для временных пломбировочных материалов подобная информация отсутствует. Поэтому стоматологами из РязГМУ им. Павлова было предложено проведение исследования, посвящённого изучению прочностных характеристик временных пломбировочных материалов. Основной целью при этом становится получение и обработка данных, демонстрирующих фактические величины сил, воздействующих на временные цементы. Исследование, которое необходимо провести, требует предварительного создания установок для проверки на разрыв и сдвиг.

### **Установка на разрыв**

Первой частью работы было создание установки, позволяющей производить испытания на разрыв временных пломбировочных материалов. Данная конструкция продемонстрирована на рисунке 1. и состоит она из следующих элементов:

- 1 – место фиксации нижнего зуба из пары;
- 2 – место фиксации верхнего зуба из пары;
- 3 – поворотная ручка;
- 4 – измерительный элемент;
- 5 – подвижная рама;
- 6 – металлическое основание.

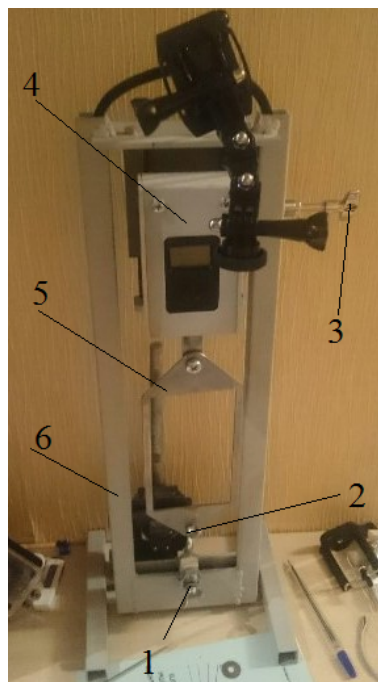


Рис 1. Установка на разрыв

Принцип работы установки на разрыв следующий: посредством 1 и 2 частей установки вертикально крепится пара зубов, скреплённая исследуемым временным пломбировочным материалом. Стоит отметить, что нижний зуб будет прочно зафиксирован на металлическом основании 6, а верхний зуб будет подвижным, т.к. будет крепиться к подвижной раме 5. После включения измерительного элемента 4, которым выступает динамометр, можно начать вращать ручку 3 для того, чтобы увеличивалась сила натяжения рамы. Когда рама поднимется достаточно высоко, появится сила, воздействующая на верхний зуб из пары и динамометр начнёт фиксировать увеличение силы, воздействующий на цемент. После того, как сила достигнет максимального значения, которое способен выдержать пломбировочный материал, пара зубов окажется не соединённой из-за разрыва. Максимальное значение – это тот параметр, который потребуется для дальнейшего изучения.

### Установка на сдвиг

Вторая часть работы была посвящена созданию установки на сдвиг, финальное изображение которой находится на рисунке 2.

Здесь:

- 1 – неподвижное основание;
- 2 – элемент конструкции для зажима пары зубов;
- 3 – подвижная рама;
- 4 – поворотная ручка;
- 5 – измерительный элемент.

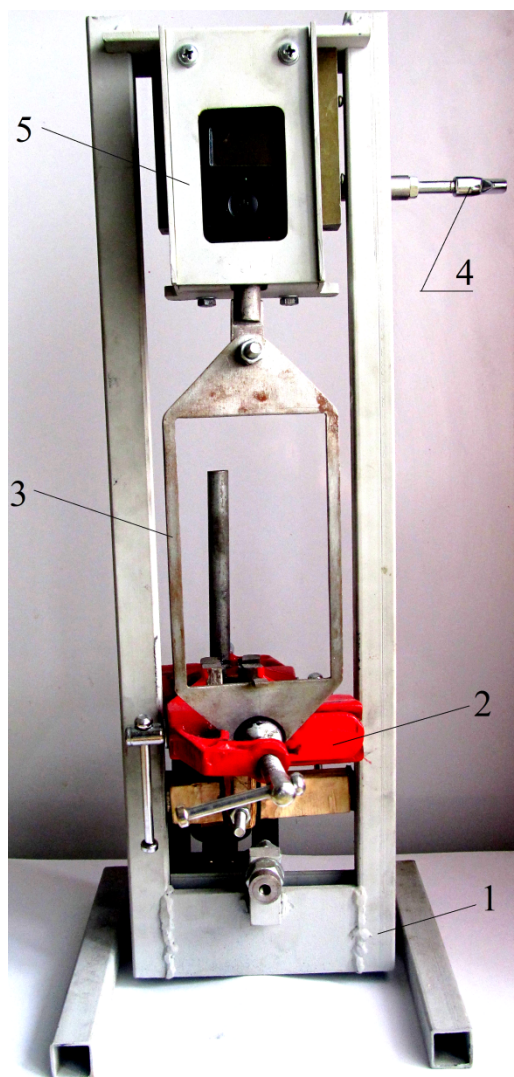


Рис 2. Установка на сдвиг

Работает данная установка по схожей схеме с установкой на разрыв, однако, есть отличительные особенности. Элемент конструкции 2 представляем собой фиксирующий элемент, способный фиксировать пару зубов, скреплённых цементом, горизонтально. Если посмотреть сверху на элемент установки под номером два (рис. 3), то можно увидеть, что он состоит из следующих элементов: тисков с губами 1 (а) и 1 (b); резиновых вставок – 2 и направляющих – 3.



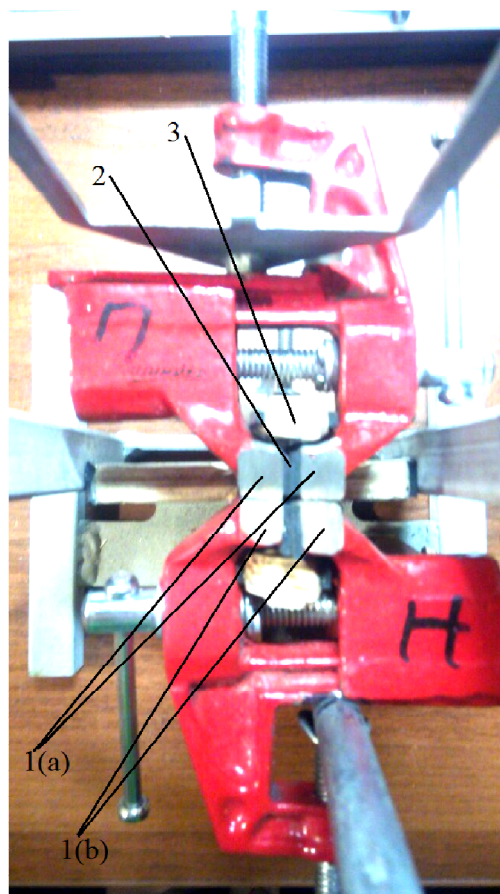


Рис 3. Элемент конструкции для зажима зубов при исследовании на сдвиг

Пара зубов, скреплённых цементом, помещается в резиновые вставки губ в каждые тиски. Резиновые вставки созданы для защиты от разрушения/повреждения зубов тисками. Тиски с губами 1 (b) прочно закреплены на одном уровне и не могут смещаться вверх. В то же время тиски с губами 1 (a) закреплены на подвижной раме, и когда начинает вращаться ручка, то рама начинает движение вверх, а вместе за ней и тиски с губами 1 (a). Таким образом, помещённый в эти тиски зуб начинает вертикальное смещение вверх, однако на него действуют не разрывные силы, а силы на сдвиг, поскольку два зуба движутся параллельно друг другу. Через некоторое время возникает деформация цемента и происходит его разрушение. Максимальная величина – основной параметр, необходимый для дальнейшей обработки. После того, как будут получены результаты измерений, необходимо преобразовать их посредством математического анализа.

Стоит отметить, что аналогичных исследований, проводимых ранее, было немного и в основном они проводились именно на измерение адгезионной прочности, к примеру источник [1]. Вторым недостатком всех найденных источников является отсутствие описания измерительных установок [2], поэтому опора на результаты других схожих работ будет весьма условной.

### Библиографический список

1. Карамян А.Э. Сравнительная характеристика цементов для временной фиксации // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – №2.
2. Арутюнов, С.Д., Жулев, Е.Н., Казарин, А.С., Бейтан, А.В. Изучение адгезии фиксирующих цементов к твёрдым тканям зуба. // Российский стоматологический журнал. – 2006. – №4. – С. 6-8.



УДК 621.317.421; ГРНТИ 90.27.34

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

**А.С. Жестков, К.Р. Ловягин, С.Г. Гуржин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, jumper654@yandex.ru*

*Аннотация.* Показана актуальность создания виртуальной измерительной системы лечебных магнитных полей, представлена лицевая панель и блок-диаграмма измерительной системы для исследования магнитных полей.

*Ключевые слова.* Магнитотерапия, блок-диаграмма, преобразователи Холла.

## MODELING OF THE MEASURING SYSTEM FOR INVESTIGATION OF MAGNETIC FIELDS

**A.S. Zhestkov, K.R. Lovyagin, S.G. Gurzhin**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russia, Ryazan, jumper654@yandex.ru*

*Abstract.* The urgency of creating a virtual measuring system of therapeutic magnetic fields is shown, the front panel and the block diagram of the measuring system for the investigation of magnetic fields are presented.

*Keywords.* Magnetotherapy, block diagram, Hall converters.

В данный момент в медицине используется достаточно большое число приборов, магнитотерапевтических аппаратов (МТА) и систем локального, распределенного и общего воздействия, лечебное действие которых основано на сочетании определенного комплекса параметров, основанных на применении магнитных полей. Однако за долгий период эксплуатации многие терапевтические аппараты могут потерять свои исходные свойства по разным причинам, а некоторые представленные на продажу образцы лечебной техники не отвечают параметрам, заявленным в сопроводительном паспорте. В результате может возникнуть опасность для пациента получить не ту дозу воздействия магнитного поля, назначенную врачом. Аналогией является долговременная работа со всеми средствами измерений или первичная их эксплуатация, которые обязаны пройти поверку, чтобы результаты были достоверны и не выходили за пределы допустимых погрешностей. Ведь подвергаясь воздействию лечебного магнитного поля, пациент надеется на положительный результат. В любом случае врач должен быть уверенным, что заданные им параметры магнитного поля (МП) находятся в пределах допустимых значений и соответствуют нормируемым характеристикам. Для повышения достоверности реально воспроизводимых параметров магнитного воздействия МТА становится актуальным создание измерительной системы, позволяющей с большой точностью измерять параметры лечебного МП и визуализировать его изменения в реальном масштабе времени.

Поскольку для широкого разнообразия существующих МТА ранее было очень сложно создать в большей степени универсальное средство аттестации параметров лечебных магнитных полей. С развитием технологий и программного обеспечения на сегодняшний день появилась возможность создания такого средства аттестации на основе персонального компьютера, различных устройств ввода аналоговой информации и преобразования ее в кодовую последовательность отсчетов. Появились также новые технологии и физические эффекты, которые позволяют построить очень точные и магниточувствительные измерительные датчики [1].

Разработана структурная схема магнитоизмерительной системы (рис. 1) состоящая из блока датчиков Холла, многоканального модуля сбора данных NI USB-6212 с USB-

интерфейсом, который подключается к персональному компьютеру (ПК), и программного обеспечения (ПО) виртуального прибора (ВП) в среде графического программирования LabVIEW. Использование стандартных средств при проектировании системы значительно упростило и ускорило ее аппаратную реализацию. Разрабатываемое ПО в среде LabVIEW позволит сделать систему более универсальной, гибкой в работе и с возможностями дальнейшего расширения функций.

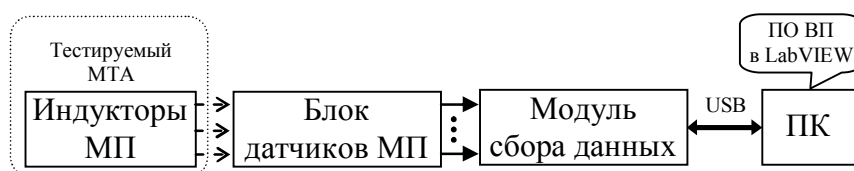


Рис. 1. Структурная схема магнитоизмерительной системы

В качестве датчика будем использовать преобразователь на эффекте Холла. Датчики Холла имеют малые габариты, широкий частотный диапазон. Важно отметить, что датчики Холла имеют линейную характеристику. Такие датчики часто используются в системах, где возможно преобразование контролируемой величины в изменение магнитного поля. Данное поле впоследствии легко проконтролировать датчиком Холла. С помощью Эффекта Холла возможно построения разнообразных датчиков положения. Данные датчики нашли широкое применение в системах автоматики; в технике бытового, медицинского, научного и промышленного назначений и в современных приводах. В настоящий момент производство датчиков Холла в своем пике. Они нашли широкое применение в магнитоизмерительных приборах для измерения составляющих индукции постоянных и переменных магнитных полей, для измерения параметров неоднородного магнитного поля и магнитодвижущей силы. Преобразователи Холла широко используются для измерения и таких физических величин, как: постоянный и переменный электрический ток, фаза, электрическая мощность, неэлектрическая величина, с предварительным ее преобразованием в изменение тока или магнитной индукции. [2].

Модулем сбора данных является NI USB-6212, который имеет 16 аналоговых входов (16 бит, 400 кВыб/с), 2 аналогового выхода (250 кВыб/с), до 32 цифр вводов-выводов, многофункциональное устройство ввода-вывода USB. USB-6212 — это многофункциональное устройство сбора данных. Устройство располагает аналоговым вводом, цифровым вводом-выводом и двумя 32-битными счетчиками. Устройство содержит встроенный усилитель, предназначенный для быстрой стабилизации сигнала при большой частоте сканирования. Многофункциональное устройство идеально подходит для испытаний, управления и проектирования, включая мобильную регистрацию данных, контроль в процессе эксплуатации и в учебных целях. Выбор данного устройства обусловлен тем, что оно имеет большое количество аналоговых входов, что позволяет легко подключать датчики Холла, описанные ранее. Устройство USB-6212 реализовано в виде законченного автономного модуля и закрыто легким пластмассовым корпусом. Питание и передача информации осуществляются по шине USB от ПК. Данная особенность также позволяет быстро и удобно подключать измерительную систему к любому ПК, на который можно установить специальное ПО.

Моделирование измерительной системы для исследования магнитных полей проводится в программной среде LabVIEW. В данной программе возможно смоделировать

реальную систему. Достоинствами программной среды LabVIEW являются возможность работы с реальным сигналом, поступающим с датчика на ЭВМ и глубокая диагностика полученных сигналов. На данный момент известны приборы, позволяющие измерять индукцию магнитного поля лишь единичными числовыми значениями в определенный момент времени. Задача измерительной системы, представленной в данной статье, проводить не только единичные измерения магнитной индукции, а так же возможность регистрировать, измерять магнитную индукцию в различных точках пространства аппарата и отображать в реальном масштабе изменение магнитной индукции во времени. Данная функция измерительной системы для исследования магнитных полей очень важна. Ведь если провести измерение значения магнитной индукции в одной точке в определенный момент времени у диагностируемого прибора у нас не будет информации о равномерности распределения магнитного поля во времени. Измерительная система для исследования магнитных полей, описанная в данной работе, в перспективе будет способна визуализировать распределение магнитного поля исследуемого прибора. Так же будет возможность анализа полученного распределение и возможность получения числовых значений индукции магнитного поля в различные моменты времени [3].

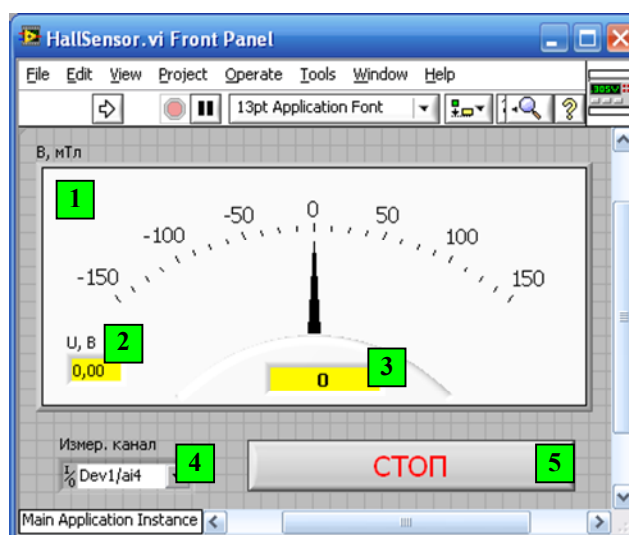


Рис. 2. Лицевая панель измерительной системы для исследования магнитных полей

На рис. 1 представлен пример измерительной системы для исследования магнитных полей разработанной в программной среде LabVIEW. Данная лицевая панель является начальным этапом разработки. В данной модели имеются следующие элементы: 1 – шкала индукции магнитного поля, мТл; 2 – индикатор выходного напряжения датчика Холла, В; 3 – цифровой индикатор индукции магнитного поля, мТл; 4 – выбор измерительного канала; 5 – кнопка остановки. С помощью представленной измерительной системы на данном этапе возможно измерение числового значения индукции магнитного поля. В дальнейшем совместно с цифровым индикатором индукции магнитного поля возможно использование осциллографа для фиксирования распределения индукции магнитного поля во времени с дополнительными анализирующими функциями данного распределения.

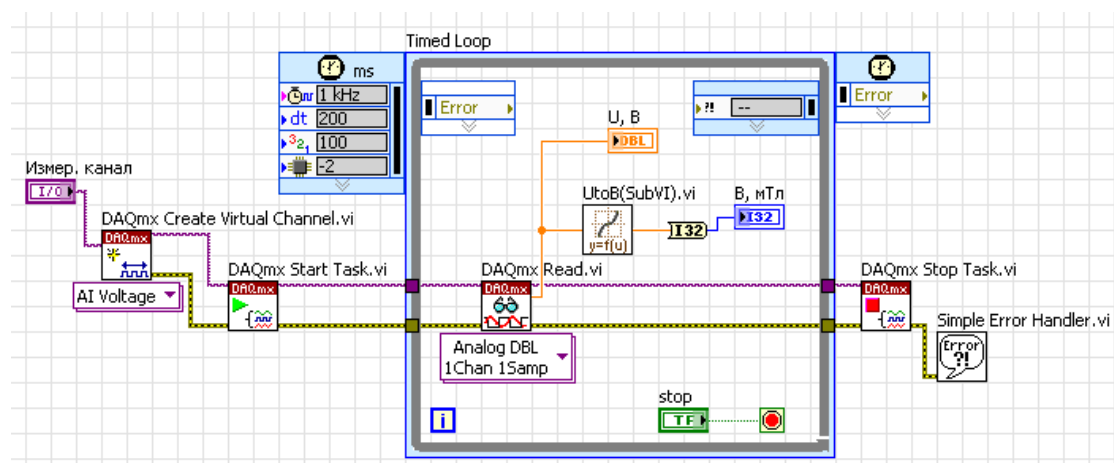


Рис. 3. Блок-диаграмма измерительной системы для исследования магнитных полей

На рисунке 2 представлена блок-диаграмма измерительной системы для исследования магнитных полей, разработанная в программной среде LabVIEW.

В данной модели измерительной системы для исследования магнитных полей используется один измерительный канал. В перспективе в данной системе может использоваться большое количество измерительных каналов, датчиков Холла. Большое количество датчиков позволит очень точно описывать распределение магнитной индукции в выбранный для аттестации МТА промежуток времени. Для упрощения мы рассмотрим данную систему на примере одного канала измерения.

### Библиографический список

1. Системы комплексной электромагнитотерапии: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.М. Беркутова, В.И. Жулева, Г.А. Кураева, Е.М. Прошина – М.: Лаборатория Базовых Знаний «БИНОМ», 2000. 376 с.
2. Гуржин С.Г., Жулев В.И., Лукьянов Ю.А., Никитин С.В. Магнитные измерения. Учебное пособие. – Рязань: РГРТУ, 2006. 72 с.
3. Баранчиков М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. – М.: ДМК Пресс, 2001. 544 с.
4. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В., Папуловский В.Ф. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: Учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2005. 208 с.

УДК 621.317.31.014.33; ГРНТИ 45.53.35

## ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ

Д.А. Нагорян

Рязанский государственный радиотехнический университет  
Россия, Рязань, [dnagoryan@mail.ru](mailto:dnagoryan@mail.ru)

*Аннотация.* В данной работе рассматриваются основные системы анализа и восстановления цифро-аналоговых блоков.

*Ключевые слова.* Аналого-цифровые преобразователи, цифро-аналоговые преобразователи, ремонт.

## THE MAJOR SYSTEMS AND ANALYZERS DIGITAL-TO-ANALOG RECOVERY BLOCKS

D.A. Nagoryan

*Ryazan state radio engineering University*

*Russia, Ryazan, dnagoryan@mail.ru*

*Abstract.* In this paper we consider the main systems of analysis and recovery of digital-analog blocks.

*Keywords.* Analog-to-digital converters, digital-to-analog converters, repair.

Новый шаг в усовершенствовании радиолокационных систем, телевидения, записи и проигрывания звука характеризуется переходом на цифровую форму описания информации. Большинство начальных сигналов (напряжение, ток, давление, скорость и другие электрические характеристики, изменяющиеся с течением времени) представляются в аналоговой форме, и для работы с их помощью ЭВМ их переводят в цифровой n-разрядный код. [1-2]

Для управления заданных аналоговых величин по результатам их проработки в ЭВМ необходимо производить обратное преобразование в аналоговую информацию, из цифровой. [3]

Такие преобразования помогают осуществить цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи. Существуют различные методы, алгоритмы функционирования и соответствующие структуры технической реализации ЦАП и АЦП.

Основные характеристики преобразователей:

1. Временные параметры: частота квантования  $f_{кв} = 1/T_{кв}$  - данный параметр выбирается в зависимости от спектра сигнала; период квантования -  $T_{кв}$ , время преобразования - характеризует быстродействие;

2. Динамический диапазон - отношение максимального уровня сигнала к уровню шумов, измеренных при подаче сигнала с малой амплитудой;

3. Точностные характеристики ЦАП описываются понятием абсолютного отклонения ( $\delta_{шк}$  - это уход значения выходного напряжения (тока) от заданного расчетного, которое соответствовало конечной точке функции преобразования), нелинейностью ( $\delta_{нл}$  характеризует идентичность минимальных приращений выходного сигнала во всем диапазоне преобразования и определяется как наибольшее отклонение выходного сигнала от прямой линии абсолютной точности, проведенной через начало координат и точку пикового значения выходного сигнала), дифференциальной нелинейностью ( $\delta_{диф}$  характеризует идентичность соседних приращений сигнала), нестабильностью опорного источника напряжения, влиянием нагрузки и другими факторами.;

4. Не мало важные характеристики такие, как надежность, помехозащищенность, достоверность и т.д.

5. Динамические параметры.

Время установления (рис. 1) - промежуток времени с периода изменения входного уровня до момента, когда выполнится условие:

$$|U_{вых} - U_{пш}| = \frac{d}{2}$$

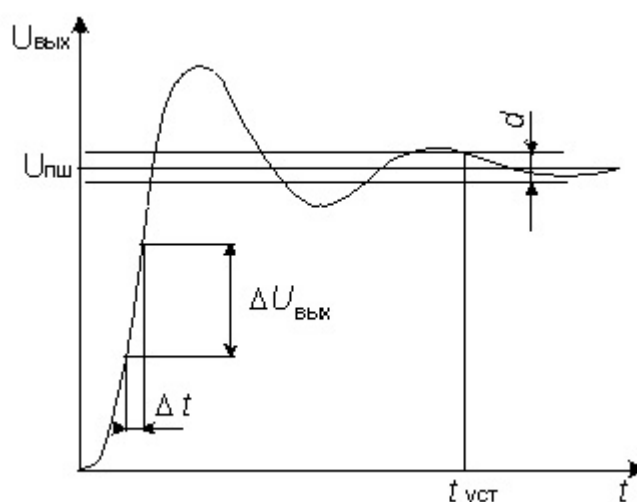


Рис. 1. Переходная характеристика ЦАП

Скорость нарастания – пиковая скорость изменения выходного напряжения во время переходного процесса.

По своему функциональному назначению можно выделить основные типы ЦАП:

1. Последовательных ЦАП. С последовательностью, равной преобразуемому цифровому коду, включается источник напряжения или тока, и полученный результат импульсной последовательности фильтруется аналоговым фильтром низких частот;

2. Для достижения большей разрядности конечного преобразования используют систему на изменяемой плотности импульсов – ЦАП передискретизации;

3. Взвешивающий ЦАП. Подключенный на общую точку суммирования резистор или источник тока, принадлежит каждому биту изменённого двоичного кода. Вес бита прямо пропорционален проводимости резистора, которому он соответствует. Вследствие чего складываются с весом все отличные от нуля биты кода. Данный метод один из самых быстрых, но его минус в низкой точности из-за необходимости наличия набора источников опорного напряжения и резисторов;

4. Цепная схема R-2R. Ещё один вариант исполнения взвешивающего ЦАП. При помощи резисторов с сопротивлением R и 2R позволяет реализовать существенное повышение точности. Недостатком является более низкая скорость по причине присутствия паразитной ёмкости;

5. Сегментный ЦАП. Включает в себя на каждое значение выходного сигнала по источнику тока или резистору. Теоретически, данный метод имеет самое значительное быстродействие, так как для преобразования можно закоротить один ключ, принадлежащий входному коду;

6. Смешанные ЦАП. Обладают самым широким спектром применения, т.к. объединяют в себе вышеперечисленные способы.

Для безопасного использования ЦАП необходимо строго соблюдать указанные в технической документации схемы подключения. Если напряжение питания сравнительно ниже чем указано в паспорте на ЦАП, то работа в таком режиме может выдавать сбои, что способно проявиться только после ввода нескольких комбинаций входных значений. Проверка правильности функционирования рекомендуется проводить подбором входных значений и контролем выходных состояний.

В настоящее время существуют системы диагностирования, предназначенные для

регулирующих операций, ремонта и выходного контроля на предприятиях, а также для входного контроля приобретенных блоков и проведения испытаний.

Система «Тест-Д» - автоматизированная система, имеющая 6 двенадцати разрядных каналов и по 16 каналов входов и выходов, имеющая возможность подавать на вход ЦАП комбинации данных, которые изменяют выходное напряжение и при помощи логического зонда «VI-зонд» произвести поиск компонента. [4]

Система контроля и диагностики цифро-аналоговых блоков «Крона-512». Обеспечивает до 128 каналов в уровнях ТТЛ-логики по двунаправленным каналам. [5]

Система позволяет:

- Автоматически контролировать функциональные блоки;
- Автоматизировать параметрический контроль блоков и выходить при отклонении за пределы допусков;
- Автоматизировать формирование протоколов проверок узлов;
- Диагностировать узел при помощи щупов, позволяя локализовать находить неисправность;
- Корректировать и разрабатывать программы контроля функционирования узлов;

### Система

Автоматизированная система параметрического контроля АЦП-ЦАП NI-PXI6251 американской компании National instruments.

В системе присутствует:

- На 16-ти разрядный АЦП подаётся 8 дифференциальных входных аналоговых каналов, имеющие обозначения – ai0, ai1, ..., ai7 (аналоговый вход);
- Аналоговые выходы ao0, ao1;
- Три 8-ми разрядных порта ввода вывода. Обозначение – port0, port1, port2;
- Два цифровых счетчика разрядностью 32. Обозначение – ctr0, ctr1.
- терминальный блок, на который выведены цифровые, входные и выходные аналоговые каналы.

Из трёх рассмотренных выше вариантов можно подчеркнуть, что система «Тест-Д» старого поколения, и позволяет работать в автоматическом режиме только с известными схемами, а с другими сотруднику придётся проявлять гибкость мышления, анализируя полученное внутрисхемное тестирование. «Крона-512» система при работе с которой можно записать рабочую программу для вычисления работоспособности и поиска неисправностей, после чего работать в автоматическом режиме. Преимущество системы NI-PXI состоит в том, что это модульная система, позволяющая совместить в себе различные приборы, а программная реализация производится в среде LabVIEW, содержащую в себе широкий спектр инструментов для проведения любых видов измерений и разработки любых программных реализаций.

### Библиографический список

1. Марцинкявичус А. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров. 1988. 224с.
2. Валах В.В., Григорьев В.Ф., Быстродействующие АЦП для измерения формы случайных сигналов М.: Приборы и техника эксперимента. 1987. №4 86-90 с.
3. Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования 2007. 912с.

4. <http://www.promreg.ru/articles/diagnostika-i-remont-sovremennyh-elektronnyh-upravlyajuschih-ustroystv-s-pomoschju-sistemy-diagnosticsi/> Диагностика и ремонт современных электронных управляющих устройств.

5. <http://npk-krona.ru/products/krona-512/> Устройства, приборы, стенды и системы для контроля, проверки, поверки, диагностики.

УДК 616.71; ГРНТИ 90.27.39

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ**

**В.В. Пинчукова, С.Г. Гуржин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, г. Рязань, vika.95pin@gmail.com*

*Аннотация.* Рассматривается возможность использования видеокамеры для диагностики физиологических параметров человека в медицине.

*Ключевые слова.* Дистанционный мониторинг, видеокамера, физиологические параметры человека.

## **APPLICATION OF VIDEO CAMERAS FOR MEASUREMENTS IN MEDICAL DIAGNOSTICS**

**V.V. Pinchukova, S.G. Gurzhin**

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

*Abstract.* The possibility of using a video camera to diagnose physiological parameters of a person in medicine is considered.

*Keywords.* Remotemonitoring, videocamera, physiological parameters of a person.

В настоящее время видеокамера применяется в различных сферах для слежения за объектами в процессе реального времени. Наиболее известным примером использования видеокамеры, как средства регистрации каких-либо показателей являются комплексы фотовидеофиксации нарушения автовладельцами правил дорожного движения.

Большинство камер производит фиксацию нарушений с помощью радарного модуля, работающего на заданной производителем частоте. В свою очередь существуют комплексы, которые не включают в свой состав радар. В принцип работы данных камер положена быстрая (один кадр через каждые 40 мс) фотосъемка с фокусировкой положения транспортного средства по центру пластины госномера. Расчет скорости движения транспортного средства производится с учетом количества сделанных кадров, а так же расстояния, которое прошел автомобиль между первым и последним кадром (с поправкой на высоту расположения государственного номера на конкретном автомобиле).

Данные принципы и методы могут быть положены в основу применения видеокамеры для диагностики физиологических параметров человека в медицине.

В настоящее время существуют системы позволяющие измерять частоту сердечных сокращений человека с помощью регистрации изменения коэффициента отражения света от поверхности кожи. В таких приборах видеокамера выступает в роли датчика.

При проведении каких-либо терапевтических процедур необходимо получать сведения о состоянии пациента в момент воздействия на его организм в лечебных целях. Данный контроль необходим для того, чтобы предотвратить наступление критических состояний (повышения давления, дыхательной недостаточности, критическое повышение ЧСС), которые могут являться побочными реакциями.

Как известно, восприимчивость магнитного поля для пациентов является индивидуальным показателем. Исходя из этого, встает вопрос о контроле физиологических парамет-



ров человека при проведении лечебных процедур в комплексе хрономагнитотерапии «МУЛЬТИМАГ» производства Касимовского приборного завода.

Реализация регистрации параметров пациента в момент проведения процедуры усложняется воздействием магнитного поля на устройства съема, а именно образованием помех. На данный момент используется регистрация параметров пациента до и после проведения процедуры в комплексе «МУЛЬТИМАГ».

Соответственно, встает задача создать систему для регистрации дыхания и сердцебиения пациента в момент прохождения им магнитотерапевтической процедуры, устойчивую к воздействию магнитных полей, излучаемых индукторами комплекса.

Дистанционный, то есть бесконтактный метод съема функциональных параметров человека во время проведения процедуры позволит не только минимизировать воздействие магнитных полей на сам датчик, но и избежать причинения дискомфорта пациенту во время сеанса магнитотерапии.

В роли устройства съема информации и первичного измерительного преобразователя может выступать видеокамера (ВК) (см. рис. 1). Для того чтобы можно было регистрировать перемещения грудной клетки в диапазоне ( $d$ ) при вдохе и выдохе, необходимо использовать реперную точку (световое пятно), которую можно задавать узконаправленным потоком красного света от светодиода (СД). Грудная клетка, ВК и СД относительно друг друга строго позиционированы и находятся на заданных расстояниях, что позволяет с высокой точностью измерять перемещение пятна. Изменение положения точки на поверхности грудной клетки будет соответствовать изменению параметров электрического сигнала, снимаемого с видеокамеры.

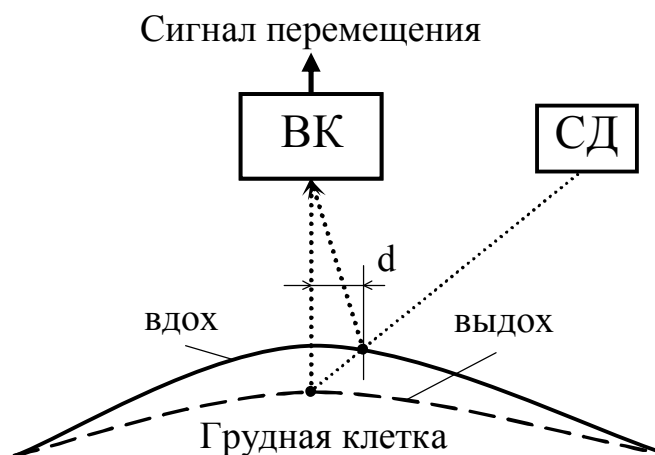


Рис. 1. Схематическое расположение видеокамеры над грудной клеткой пациента

В настоящее время существуют как аналоговые, так и цифровые видеокамеры. Принцип получения информации и в одном и в другом видах устройств практически не отличается. Чувствительным элементом видеокамеры является ПЗС-матрица, которая воспринимает поток света, предварительно прошедший через линзу и светофильтр.

Само устройство должно осуществлять непрерывную видеосъемку пациента и передавать полученную информацию в блок обработки, в роли которого может выступать персональный компьютер (ПК).

Грудная клетка выбрана как область тела пациента, на которую должна быть направлена камера. В процессе дыхания грудная клетка опускается и поднимается, т.е. осуществляет движения, которые соответствуют частоте дыхания. Так как сердце находится в той же

области, то можно попробовать выделить колебания грудной клетки, связанные с ЧСС из данных, полученных камерой.

Совместно с видеокамерой необходимо использовать узконаправленный поток красного света. Это нужно для того, чтобы снизив рабочую площадь на теле человека уменьшить объем вычислений.



Рисунок 2 – Структурная схема прибора

Структурная схема устройства осуществляющего видеоконтроль физиологических параметров человека (рис. 2) состоит из ВК (видеокамеры), КН (компаратора напряжения) и блока обработки и индикации.

Аналоговая видеокамера выступает в роли датчика. Далее, TV-сигнал с камеры поступает на компаратор, задача которого зафиксировать всплески напряжения, связанные с изменением положения реперной точки. Далее значения полученные с компаратора поступают в блок обработки и индикации, в котором происходит подсчет частоты дыхания и частоты сердечных сокращений.

Для того, чтобы компаратор мог реагировать на всплески напряжения, связанные с ЧСС и частотой дыхания должно быть подано опорное напряжение, с которым и будет происходить сравнение сигнала, поступающего с камеры.

Так же, для того, чтобы уменьшить объем обрабатываемых данных необходимо выбрать камеру, работающую в монохроматическом режиме.

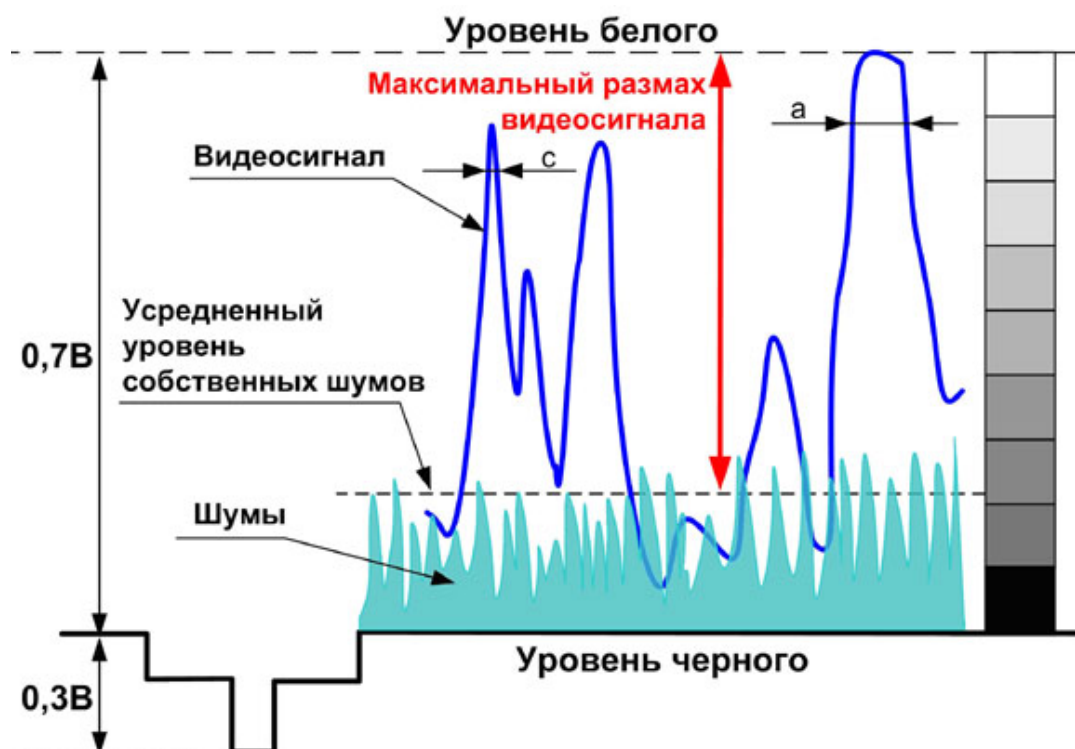


Рис. 3. Эпоуры видеосигнала камеры, работающей в монохроматическом режиме

На рисунке 3 показано, как изменяется напряжение на выходе аналоговой видеокамеры при изменении цвета. Следовательно, при изменении реперной точки, напряжение будет изменяться в диапазоне, заключенном между 0 и 1 В. Соответственно, наша задача на этапе разработки подобрать такой коридор напряжения срабатывания компаратора, с помощью которого будет возможность получать достоверные сведения о ЧСС и частоте дыхания. При этом нам необходимо, чтобы в данном коридоре напряжения нельзя было зарегистрировать шумы различного уровня.

В завершении следует сказать, что аналоговая видеокамера в совокупности с компаратором напряжения позволит разработать схему для регистрации ЧСС и дыхательной составляющей имеющую алгоритм вычислений проще, чем в случае, если бы мы использовали цифровую камеру.

### Библиографический список

1. Пинчукова В.В., Гуржин С.Г. Методы дистанционного мониторинга функционального состояния человека // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2017: сб.тр. XXX Всерос. научн.-техн. конф. студ., мол.ученых и спец., 6-8 декабря 2017 г./ под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань, 2017 – 612 с.
2. Разработана технология, позволяющая измерять ритм сердцебиения человека, снятого на видео [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dailytechinfo.org/infotech/8964-razrabotana-tehnologiya-pozvolayushaya-izmeryat-ritm-serdcebieniya-cheloveka-snyatogo-na-video.html>.
3. Камера iPhone измеряет пульс не хуже монитора сердечного ритма SamsungGalaxy S5 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.macdigger.ru/iphone-ipod/kamera-iphone-izmeryaet-puls-ne-xuzhe-monitora-serdechnogo-ritma-samsung-galaxy-s5.html>.
4. Кашкаров А.П. Видеокамеры и видеорегистраторы для дома и автомобиля. ДМК Пресс. – М.: 2014. – 93 с.

УДК 004.415.25; ГРНТИ 50.53.15

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИГНАЛОВ-ПЕРЕНОСЧИКОВ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОТСЧЕТОВ

А.А. Михеев, Р.В. Пантюхин

*Рязанский государственный радиотехнический университет  
Россия, Рязань, [panyukhin.roman@mail.ru](mailto:panyukhin.roman@mail.ru)*

*Аннотация.* В данной работе проведены исследования зависимости амплитуд составляющих нулевой спектральной зоны импульсных сигналов сложной формы (составляющие сигнала сообщения) с амплитудно-временными параметрами отсчетов, образующих импульсный сигнал сложной формы. Показаны фрагменты информационной системы (оконные формы) разработанной для исследования сигналов-переносчиков информации на основе сложных отсчетов и расчета параметров этих сигналов.

*Ключевые слова.* Информационная система, импульсный сигнал сложной формы, спектральная зона, частота, спектр.

## INFORMATION SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT OF SIGNALS-TRANSMISSIONS OF INFORMATION BASED ON COMPLEX SAMPLES

A.A. Mikhayev, R.V. Pantyukhin

*Ryazan State Radio Engineering University  
Russia, Ryazan, [panyukhin.roman@mail.ru](mailto:panyukhin.roman@mail.ru)*

*Annotation.* In this paper, we study the dependence of the amplitudes of the components of the zero spectral band of pulse signals of complex shape (signal components) with amplitude-time parameters of the samples forming a pulse signal of complex shape. The fragments of the information system (window forms) developed for the study of signals-carriers of information based on complex readings and calculation of the parameters of these signals are shown.

*Keywords.* Information system, impulse signal of complex shape, spectral zone, frequency, spectrum.

## Введение

Отсчеты измерительных сигналов в информационно-измерительных системах (ИИС) представляют собой сигналы с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ). Спектр такого сигнала содержит бесконечно большое количество спектральных зон, расположенных на частотах, кратных частоте дискретизации. Информативной является нулевая спектральная зона, содержащая все частотные составляющие контролируемого процесса в полосе частот от нуля до  $F_{с макс}$ , где  $F_{с макс}$  – максимальная частота в спектре контролируемого процесса. Выделить эти составляющие можно с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ).

Для снижения интермодуляционных искажений при восстановлении сигналов по дискретным отсчетам необходимо повышать требования к крутизне спада амплитудно-частотной характеристики ФНЧ. Снизить требования к ФНЧ можно за счет подавления в спектре дискретизированного сигнала нескольких спектральных зон, начиная с первой. Реализовать это можно за счет преобразования дискретных отсчетов в импульсные сигналы сложной формы (ИССФ) [1].

Ввиду неоднозначности выбора амплитудно-временных параметров таких сигналов целесообразно создание информационной системы, позволяющей автоматизировать процесс исследования ИССФ и расчет их параметров. В основу такой системы должны быть положены взаимосвязи спектральных характеристик ИССФ с их амплитудно-временными параметрами.

## Исследование амплитуд составляющих нулевой спектральной зоны ИССФ от амплитудно-временных параметров

Обобщенное условие подавления любых  $n$  спектральных зон, начиная с первой, в спектре ИССФ на основе перекрывающихся по времени отсчетов имеет вид следующей системы уравнений, число уравнений в которой равно числу  $n$  подавляемых спектральных зон, а число слагаемых в каждом уравнении равно  $n+1$  [1]:

$$\sum_{i=1}^{n+1} \left( K_i \cdot \sin \left( \frac{k \cdot \pi \cdot \tau_i}{T} \right) \right) = 0, \quad (1)$$

где  $k = \overline{1, n}$  – номера подавляемых спектральных зон;

$\tau_i$  – длительности дискретных отсчетов сигнала, из которых формируется ИССФ;

$K_i = \frac{U_i}{U_1}$  – масштабный коэффициент, показывающий соотношение амплитуд  $U_i$  исходного и дополнительных отсчетов и амплитуды  $U_1$  исходного отсчета, количество дополнительных отсчетов должно быть равным числу  $n$  подавляемых спектральных зон;

$K_1=1$ ;

$T$  – период дискретизации.

Амплитуды спектральных составляющих в нулевой спектральной зоне ИССФ, содержащих информацию о контролируемом процессе, связаны с амплитудами соответствующих спектральных составляющих исходной последовательности дискретных отсчетов сигнала масштабным коэффициентом

$$K_0 = \frac{1}{T} \cdot (\tau_1 + K_2 \cdot \tau_2). \quad (2)$$

Чем больше значение масштабного коэффициента  $K_0$ , тем больше амплитуды составляющих нулевой спектральной зоны ИССФ.

В работе [2] был произведен анализ зависимости значения  $K_0$  от различных сочетаний значений длительностей отсчетов  $\tau_1$  и  $\tau_2$  с подавленной первой спектральной зоной.

Для расширения функциональных возможностей информационной системы необходимо провести анализ указанных выше зависимостей для большего числа подавляемых спектральных зон.

Рассмотрим случай подавления двух спектральных зон.

Из (1) получим условие подавления первой и второй спектральных зон в виде решения системы уравнений относительно масштабных коэффициентов  $K_i$ :

$$\begin{cases} K_1 \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot \tau_1}{T}\right) + K_2 \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot \tau_2}{T}\right) + K_3 \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot \tau_3}{T}\right) = 0 \\ K_1 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_1}{T}\right) + K_2 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_2}{T}\right) + K_3 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_3}{T}\right) = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $K_1=1$ ,  $\tau_1$  - длительность исходных дискретных отсчетов сигнала,

$\tau_2, \tau_3$  - длительность дополнительных дискретных отсчетов сигнала,

$K_2, K_3$  - масштабные коэффициенты, на которые умножается амплитуда дополнительных отсчетов.

Можно показать, что составляющие нулевой спектральной зоны ИССФ в этом случае умножаются на масштабный коэффициент.

$$K_0(2) = \frac{1}{T} \cdot (K_1 \cdot \tau_1 + K_2 \cdot \tau_2 + K_3 \cdot \tau_3) \quad (4)$$

Аналогично, при подавлении трех спектральных зон (первой, второй и третьей) было получено значение масштабного коэффициента.

$$K_0(3) = \frac{1}{T} \cdot (K_1 \cdot \tau_1 + K_2 \cdot \tau_2 + K_3 \cdot \tau_3 + K_4 \cdot \tau_4) \quad (5)$$

Проанализировав эти условия, было составлено обобщенное условие нахождения масштабного коэффициента в нулевой спектральной зоне.

Обобщенное условие нахождения масштабного коэффициента в нулевой спектральной зоне:

$$K_0(n) = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} K_i \cdot \tau_i, \quad (6)$$

где  $T$  - период дискретизации;

$K_i$  - масштабный коэффициент отсчета, входящего в состав ИССФ;

$\tau_i$  - длительность отсчета, входящего в состав ИССФ;

$n$  - число подавляемых спектральных зон.

### Разработка информационной системы

Результаты проведенных исследований использованы при разработке информационной системы, позволяющей выполнять исследование и расчет амплитудно-временных параметров сигналов-переносчиков информации на основе сложных отсчетов.

Система позволяет:

1. предоставлять исследователю возможность рассчитывать разные варианты параметров ИССФ;
2. выводить графическое представление сигнала с выбранными параметрами, обеспечивающими подавление заданных спектральных зон в спектре сигнала;
3. выводить спектр амплитуд этого сигнала с расчетными амплитудно-временными параметрами.

Укрупненная блок-схема алгоритма работы информационной системы представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы информационной системы

Начальным шагом является ввод исходных данных, которыми являются максимальная ширина полосы частот измерительных сигналов, несущих информацию об объекте контроля, число измерительных каналов, значение масштабного коэффициента  $K_0$ , погрешность восстановления непрерывных сигналов по дискретным отсчетам.

На основе исходных данных производится расчет периода опроса, длительности канального интервала, значений масштабных коэффициентов и временных параметров дополнительных отсчетов, обеспечивающих выполнение условия (6), расчет спектральных составляющих сформированного сигнала сложной формы.

Блок графического представления обеспечивает визуализацию временной формы ИССФ и его спектрального состава, позволяет проверить правильность расчета амплитудно-временных параметров ИССФ. Сигнал строится по формуле 1. А также рассчитывается спектр этого сигнала.

Работа с системой может осуществляться в интерактивном режиме.

Фрагменты интерфейса информационной системы представлены на рисунках 2 и 3.

Изначально пользователю необходимо ввести номера спектральных зон, которых не должно быть в спектре формируемого ИССФ, и кликнуть по кнопке «Перейти к расчету».

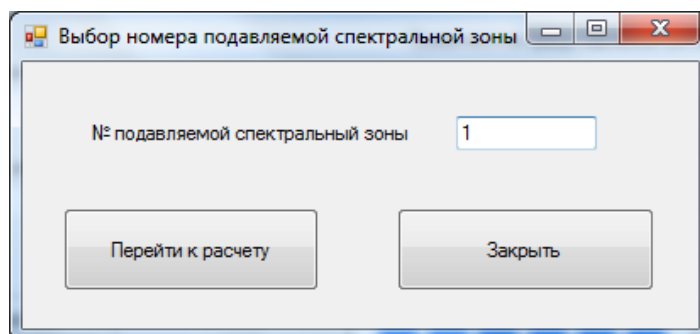


Рис. 2. Выбор номеров подавляемых спектральных зон

На рисунке 2 показана экранная форма, когда пользователь выбрал для подавления спектральную зону №1.

На рисунке 3 показана форма, дающая возможность пользователю проводить исследования, варьируя исходные данные и параметры ИССФ. В качестве примера приведено построение ИССФ с подавленной первой спектральной зоной.

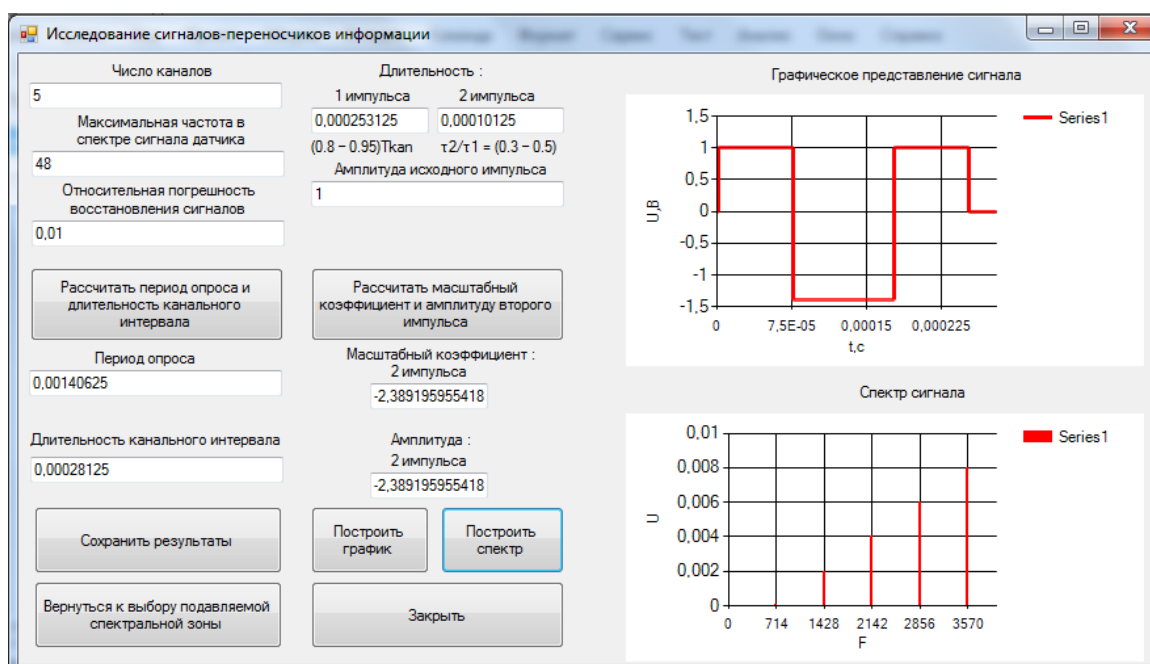


Рис. 3. Исследование сигналов-переносчиков информации

Пользователю предоставляется возможность ввода первичных данных. После расчета периода опроса и длительности канального интервала пользователь сможет вводить вторичные данные, с учетом рассчитанной длительности канального интервала. Как показали исследования, результаты которых представлены в [2], желательно, чтобы длительность  $\tau_1$  исходного отсчета находилась в диапазоне  $-(0.8 - 0.95)T$ , а отношение  $\tau_2/\tau_1$  было порядка  $(0.3 - 0.5)$ , что обеспечивает значение масштабного коэффициента  $K_0$  близким к максимально возможному. После этого рассчитывается масштабный коэффициент, на который умножа-

ется дополнительный отсчет. При нажатии на кнопку «Построить график» будет построено графическое представление сигнала. А при нажатии на кнопку «Построить спектр» будет построен спектр этого сигнала. Пользователю предоставляется возможность сохранения полученных результатов для дальнейшего их анализа.

### Выводы

Для снижения требований к фильтру нижних частот необходимо подавлять в спектре дискретизированного сигнала спектральные зоны. Реализовать это можно за счет преобразования дискретных отсчетов в импульсные сигналы сложной формы.

Информационная система для разработки сигналов-переносчиков информации на основе сложных отсчетов, позволяет автоматизировать процесс исследования импульсных сигналов сложной формы и расчет их параметров. В основу такой системы положены взаимосвязи спектральных характеристик импульсных сигналов сложной формы с их амплитудно-временными параметрами.

### Библиографический список

1. Измерительные системы для вращающихся узлов и механизмов/ Карасев В.В., Михеев А.А., Нечаев Г.И. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 176 с.
2. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (НИТ 2016) Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016.-408с. УДК 681.512.001.56:6 21.37.39. с. 214-215.

УДК 602; ГРНТИ 54.14.19

## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА, ПРОХОДЯЩЕГО РАДИОЛЕЧЕНИЯ

Д.Д. Манцеров, Е.С. Жемчугов, Е.М. Прошин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, danax2014@yandex.ru*

*Аннотация.* Рассматривается построение функциональной схемы для системы слежения состояния человека проходящего радиолечения, а также требования к данной установке.

*Ключевые слова.* Радиология, программный модуль, выбор эффективной системы защиты установки, лечения излучением, состояние человека.

## DEVELOPMENT OF THE FUNCTIONAL DIAGRAM FOR TRACKING SYSTEM STATE OF A PERSON PASSING RADIOLUCENT

D. D. Mansurov, E. S. Zhemchugov, E. M. Proshin

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, danax2014@yandex.ru*

*Abstract.* We consider the construction of a functional scheme for tracking the state of a person undergoing radiotherapy, as well as the requirements for this installation.

*Keyword.* Radiology, software module, the choice of an effective system of protection installation, radiation treatment, human condition.

В настоящее время широко распространен метод лечения онкологических заболеваний с использованием излучений. Данный метод называется радиологией, и является одним из самых технически высокоточных методов в современной медицине. Безусловно, перед разработкой функциональной схемы следует поднять вопрос об актуальности данной



работы. Логично предположить, на основе имеющихся исследований, что воздействия излучения(в том числе и радиации), на человека не всегда несет сиюминутные последствия. Как правило не смертельная доза излучения более опасна долгосрочными последствиями, поэтому прямых показаний к необходимости системы нет. Но её разработка становится актуальной в свете некоторых направлений в медицине. Если обратить внимание на интеграцию радиологии в другие дисциплины, то можно заметить тенденцию к совместном лечению с хирургическим вмешательством, а также её взаимодействию с химиотерапией.

Сосредоточимся на первой упомянутой нами тенденции, к её взаимодействию с хирургией(например брахитерапией). Очевидное требование хирургии, «online» слежением за состоянием человека подвергающегося оперативному вмешательству. Также стоит упомянуть о системах «гамма-нож» для реализации, которой тоже необходимо диагностика состояния пациента в реальном времени. Что делает разработку данной системы более актуальной.

Также стоит упомянуть общих требований к устройствам, эксплуатирующимся в медицинских учреждениях которые регламентируются рядом правил СанПиН 2.1.3.1375-03 «Медицинские учреждения. Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров», и «Правила техники безопасности при эксплуатации изделий медицинской техники в учреждениях здравоохранения. Общие требования». Говоря о радиологии необходимо понять о работе устройств для данной направленности свойство высокого энергопотребления оных, и использованием выше упомянутыми высокими напряжений( для примера :ускоритель частиц). В связи с чем также нужно учитывать ещё и другой список правил ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)», а также другими правилами и нормами эксплуатации электронных устройств в медицинских учреждениях.

Далее перейдем к ряду специфическим требованиям для данной области.

Первое с чего мы начнем будет обращения внимания читателя на свойства радиации разрушать электронными схемы, следствием чего является ввод их из рабочего состояния. Поэтому строя функциональную схему нужно, с учетом размещения компонентов устройства при его физической эксплуатации, а именно избежать размещения логики системы на пути движения пучка фотонов или электронов( в зависимости от лечения). Выполнение данного аспекта продлит срок нормальной работы устройства. Это не единственная проблема связанная с излучением, так как при работе ускорителя частиц используются транзисторные ключи высокой частоты переключения и трансформаторы с большой индуктивностью[3] неизбежными являются не только ЭМС в сети, но и высокий электромагнитный фон[2] внутри каньона(место расположения радиологического аппарата). С чем связана необходимость повышенной защиты нашей системы диагностики.

Рисунок 1 показывает нам удовлетворительно место расположение нашей системы[5], в данном месте устройство будет максимально долго правильно работать, и подвергаться минимально разрушительному свойству радиации( при увлечение числа силовых линий на рисунке увеличивается и степень физического влияния излучения), а также аппарат максимально удален от ЭМС эфира каньона.

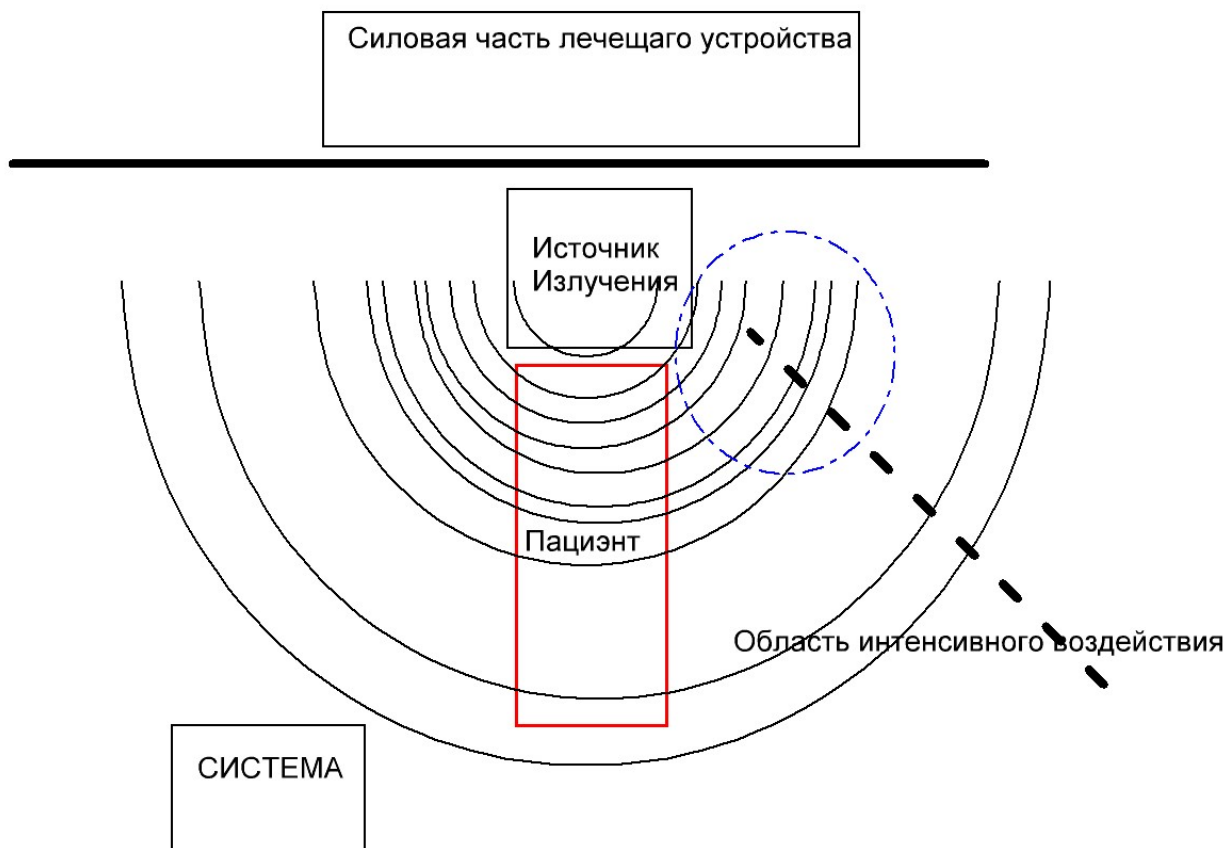


Рис. 1. Рекомендуемое расположение системы относительно других аппаратов участвующих в радиологии

Руководствуясь выше перечисленным следует, перейти к требованиям самой системы, опишем их списком с краткими комментариями, так их выбор не является очевидным только для обывателя незнакомого близко со свойствами данной системы:

- 1) повышенная защищенность от электрических пробоев и коротких замыканий, так как разрабатываемая система работает вблизи людей.
- 2) защита от ЭМС как питающей сети так и радио-эфира в рабочем месте.
- 3) использование материалов не вызывающих аллергических реакций, и не служащих средой для активного размножения бактерий.
- 4) система должна быть компактной и желательно состоять из одного аппарата.
- 5) должна быть интегрирована в современное компьютерное ПО
- 6) быть легкой в обращение, для быстрого и эффективного обучения медицинского персонала.
- 7) рекомендуется так же мобильность, так как данная система не всегда будет востребована.
- 8) высокая точность.

Перейдем непосредственно к нашей разработанной нами функциональной схеме системы[1] диагностики человека проходящего радиолечение (рис. 2).

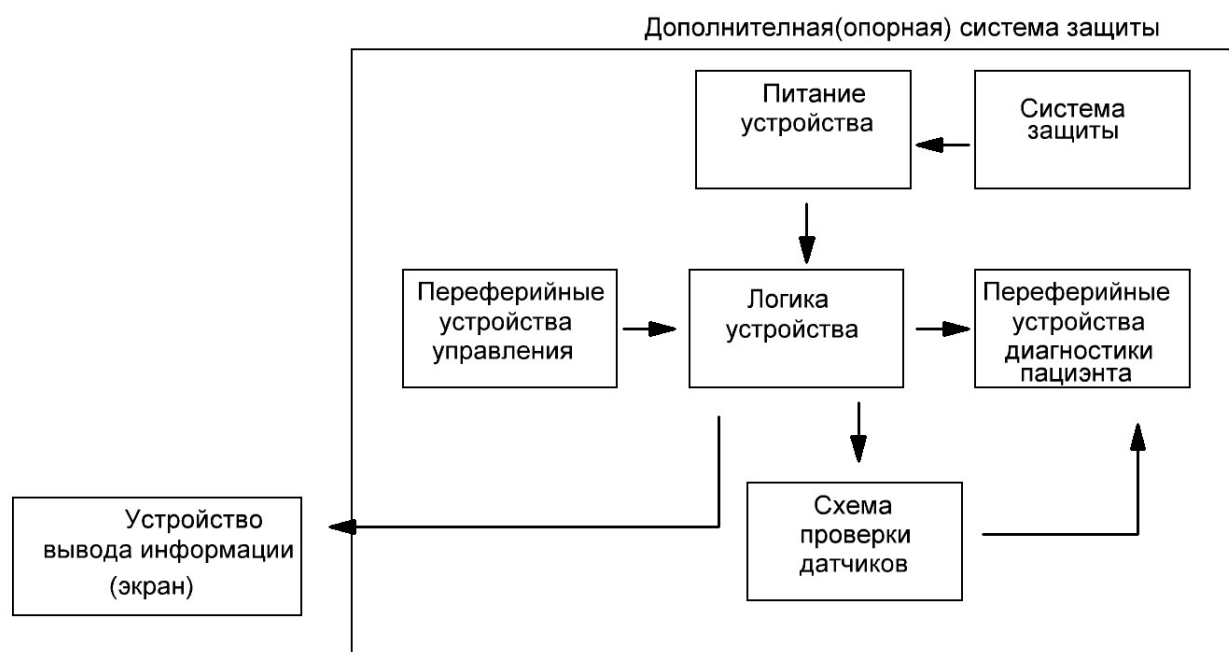


Рис. 2. Функциональной схемы для системы диагностики состояния человека, проходящего радиолечения

В заключение хотелось бы поблагодарить ГБУ Рязанский Онкологический диспансер за предоставление результатов исследований в различных областях радиологии. А также отметить, что данная схема представляется как этап формирования устройства в которое на пути его создания могут быть изменены или добавлены необходимые в дальнейшем свойства и качества, которые не обнаружили себя в ходе данного исследования. Помимо всего необходимы высокоточные исследования радио-эфира каньона при работающем аппарате производящем лечение, и конечно точное изучения распределения интенсивности излучения и отражения этого излучения[4].

### Библиографический список

1. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники. – М.: Бином, 2014. – 324 с.
2. Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов Основы теории цепей. – М.: Энергия, 1975.
3. В. И. Мелешин, Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 154 с.
4. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем, Том I – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2014.
5. Саложников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## **ЭТАПЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ МОНИТОРИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

**О.В. Мельник, Ю.А. Челебаева**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, omela111@yandex.ru*

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены обобщенные этапы преобразования информации в кардиомониторах. Предложены обобщенная схема преобразования электрокардиографической информации с использованием кардиоритмограммы, обобщенная схема блока преобразования и обработки сигналов кардиоритмограммы, структурная схема нейросетевой подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы.

*Ключевые слова.* Кардиомонитор, электрокардиограмма, кардиоритмограмма

## **STAGES OF INFORMATION CONVERSION IN THE APPARATUS AND SOFTWARE OF MONITORING HEART RHYTHM**

**O.V. Melnik, Y.A. Chelebaeva**

*Ryazan State Radioengineering University,  
Russia, Ryazan, omela111@yandex.ru*

*Abstract.* In this paper the generalized stages of information conversion in cardiomonitors are considered. The generalized conversion scheme of the electrocardiographic information with cardyoritmogramm using, the generalized diagram of the unit of conversion and signal processing of a cardyoritmogramm, the block diagram of a neural network subsystem of signal processing of a cardyoritmogramm are offered.

*Keywords.* Cardiac monitor, electrocardiogram, cardyoritmogram

### **Введение**

Нарушения ритма сердца являются осложнением многих сердечно-сосудистых и экстракардиальных заболеваний. Возникновение аритмий часто значительно утяжеляет клиническое течение заболеваний и нередко является причиной смерти кардиологических больных. Вместе с тем существуют абсолютно безопасные нарушения ритма [1]. Задачей анализа сердечного ритма в режиме реального времени является обнаружение ранних аритмий с целью их эффективного лечения и предотвращения катастрофических и непосредственно угрожающих жизни аритмий.

Аппаратура для следящего контроля параметров ритма сердца выполняется в виде отдельных устройств – кардиомониторов или в виде модулей мониторинговых систем контроля состояния больных. Согласно принятой классификации мониторинговых систем, различают инструментальные и вычислительные мониторинговые системы. Инструментальные системы основаны на аналоговой и дискретной аппаратуре измерения физиологических параметров и обработки данных, надежны и недороги, но обладают ограниченными техническими возможностями. В вычислительных системах роль логического блока выполняет цифровая ЭВМ. На сегодняшний день существует возможность объединить преимущества инструментального и вычислительного подходов к построению устройства для мониторингирования микросхем ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), обладающих свойством многократного перепрограммирования. Использование высокоинтегрированных логических схем обеспечивает более высокое быстродействие по сравнению с решениями на основе микропроцессорных систем, что является актуальным в условиях работы в режиме реального времени.

### Обобщенная схема преобразования электрокардиографической информации с использованием кардиоритмограммы

Предлагаемая обобщенная схема преобразования электрокардиографической информации с использованием кардиоритмограммы показана на рисунке 1. Исходным сигналом для обработки является электрокардиосигнал. Для дальнейшей обработки электрокардиосигнал необходимо очистить от помех. После этого необходимо выделить сигнал кардиоритмограммы (КРГ), информативным параметром которого является частота следования импульсов. Диагностические признаки формируются с помощью блока преобразования и обработки сигналов кардиоритмограммы. Так как этот блок полностью цифровой, то он может быть реализован на ПЛИС.

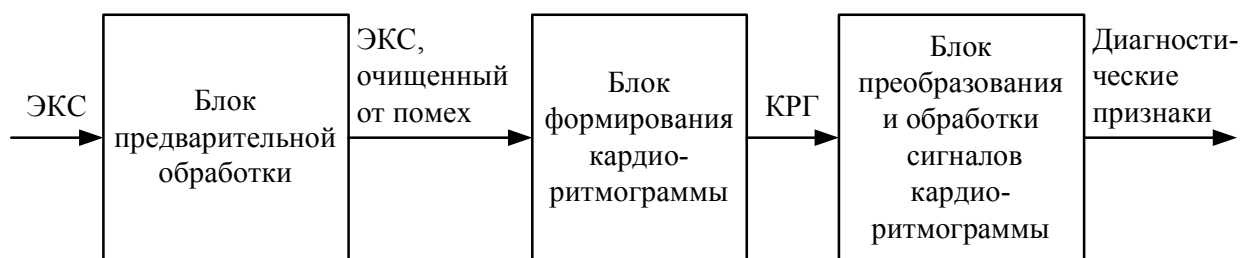


Рис. 1. Этапы преобразования электрокардиографической информации с использованием кардиоритмограммы

### Обобщенная схема блока преобразования и обработки сигналов кардиоритмограммы

Обобщенная схема блока преобразования и обработки сигналов кардиоритмограммы приведена на рисунке 2.

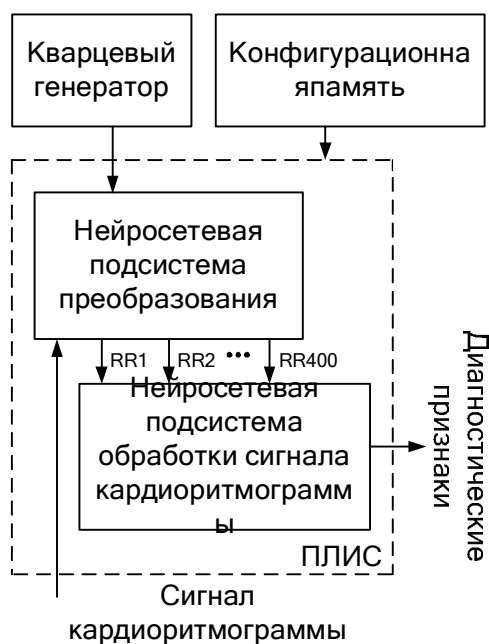


Рис. 2. Обобщенная схема блока преобразования и обработки сигналов кардиоритмограммы

Устройство (см. рис. 2) состоит из двух основных модулей: нейросетевая подсистема преобразования и нейросетевая подсистема обработки сигналов кардиоритмограммы. Значения RR-интервала поступают с выхода подсистемы преобразования, на основе которых подсистема обработки формирует диагностические признаки.

Вариант нейросетевой подсистемы преобразования предложен в работе [2]. Преобразователь состоит из двух компонент. Первый компонент преобразует период в унитарный число-импульсный код, а второй компонент реализует преобразование унитарного кода в двоичный позиционный код. Второй компонент представляет собой каскадное соединение гибридных нейронных сетей [2].

Подсистема обработки состоит из совокупности искусственных нейронных сетей. Обе подсистемы реализуются на основе программируемой логической интегральной схемы (FPGA). Конфигурационная память хранит последовательность для ПЛИС. Кварцевый генератор осуществляет синхронизацию устройства.

### Структурная схема нейросетевой подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы

Предлагаемая структурная схема нейросетевой подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы показана на рисунке 3.

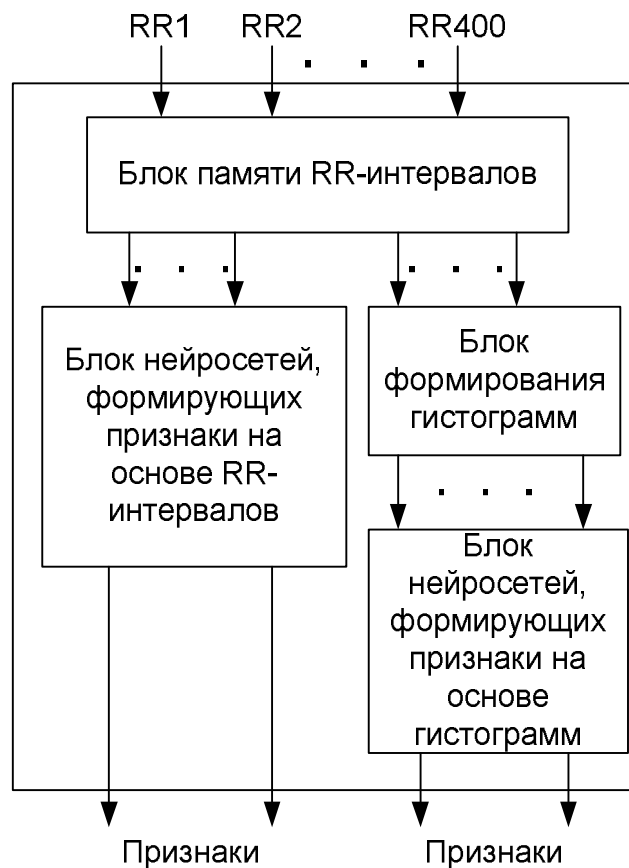


Рис. 3. Нейросетевая подсистема обработки сигналов кардиоритмограммы

Блок нейросетей, формирующих признаки на основе RR-интервалов включает в себя следующие компоненты [3]:

- 1) нейронная сеть для определения градаций сердечного ритма;
- 2) нейронная сеть для определения синусового ритма на КРГ;

- 3) нейронная сеть для определения признаков сино-аурикулярной блокады по Мобитц-1 и Мобитц-2;
- 4) нейронная сеть для определения амодальной гистограммы распределения КРГ;
- 5) нейронная сеть для определения симметрической гистограммы распределения КРГ;
- 6) нейронная сеть для определения признака постоянной бигеминии;
- 7) нейронная сеть для определения стабильного синусового ритма;
- 8) нейронная сеть для определения ригидного синусового ритма;
- 9) нейронная сеть для определения косонисходящего ригидного синусового ритма;
- 10) нейронная сеть для определения количества экстрасистол на кардиоритмограмме и др.

### **Заключение**

Рассмотрены этапы преобразования информации в аппаратно-программных средствах мониторингирования сердечного ритма. Получены следующие результаты:

1. Предложена обобщенная схема преобразования электрокардиографической информации с использованием кардиоритмограммы.
2. Предложена обобщенная схема блока преобразования и обработки сигналов кардиоритмограммы.
3. Предложена структурная схема нейросетевой подсистемы обработки сигналов кардиоритмограммы.
4. Подсистема обработки сигналов кардиоритмограммы реализована на языке описания аппаратуры для ПЛИС. Проведено ее моделирование в среде Altera Quartus II.

### **Библиографический список**

1. Справочник по кардиологии: руководство в 3 томах. / под ред. Сторожакова Г.И., Горбаченкова А.А. - 2009. - Том 3. - 512 с.
2. Melnik O.V., Chelebaeva Y.A., Chelebaev S.V. Real-time heart rate parameter analysis based on artificial neural networks // 2017 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO, 2017, Bar, Montenegro. Pp. 328-332.

УДК 004.032.26; ГРНТИ 28.23.37

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩИХ МЕТОДОВ ТАРИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОГО ДАТЧИКА**

**В.А. Стародубцева, С.В. Челебаев**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Рязанская область, Рязань, romashkooo@mail.com*

*Аннотация.* В данной работе описана реализация классических аппроксимирующих методов тарировочной характеристики частотного датчика, проведено их исследование.

*Ключевые слова.* Аппроксимация, тарировочная характеристика, частотные датчики

## **RESEARCH OF APPROXIMATE METHODS OF TARIFF CHARACTERISTICS OF FREQUENCY SENSOR**

**V.A. Starodubtseva, S.V. Chelebaev**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Ryazan region, Ryazan, romashkooo@mail.com*

*Abstract.* Implementation of classical approximating methods of the calibration characteristic of the frequency sensor is described in this paper, their research is conducted.

*Keywords.* Approximation, calibration characteristic, frequency sensors

## Введение

Датчики, выдающие результат измерения неэлектрической величины в форме частоты следования электрических импульсов получили большое распространение. Для обработки результатов измерений необходимо выполнить преобразование значения аналоговой величины в цифровой код. Идеальная тарировочная характеристика является линейной и для того, чтобы узнать точное значение измеряемой величины, необходимо выполнить линеаризацию такой характеристики. Применение различных методов аппроксимации являются неотъемлемой частью в проводимых практических исследованиях. Основным критерием выбора подходящего метода является минимизация отклонения [1]. Поэтому воспроизведение аналитически неизвестной зависимости осуществляется с помощью аппроксимации. Существует различные аппроксимирующие методы [2, 3].

## Реализация аппроксимирующих методов тарировочной характеристики частотного датчика

Для реализации классических аппроксимирующих функций была написана программа на языке C#.

Для аппроксимации был создан класс Approximation. В конструкторе класса задается массив значений  $x$  и  $y$ , а так же степень полинома. Были созданы следующие методы:

- GetMatrixCoefficient – этот метод на основе степени полинома и значений  $x$  строит матрицу коэффициентов;
- GetMatrixOffFreeMembers – этот метод на основе значений  $x$ ,  $y$  строит матрицу свободных членов;
- CalculateCoefficient – получение коэффициентов по методу Крамера;
- ColumnReplacement(double[,] matrix, double[] newColumn, int indexColumn) – метод заменяющий столбец в матрице на заданный. Нужен для нахождения определителей по методу Крамера [4];
- GetDeterminant(double[,] matrix) – получение определителя матрицы;
- GetMinor(double[,] matrix, int n) – получение минора матрицы [5, 6].

Для исследования были использованы данные тарировочной характеристики частотного датчика ( $x$  – входные данные,  $y$  – выходные) представленные ниже в табл. 1.

Таблица 1. Данные тарировочной характеристики частотного датчика

|   |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| x | 400 | 437,5 | 475   | 512,5 | 550   | 587,5 | 625   | 662,5 | 700   | 737,5 | 775   | 812,5 | 850   | 887,5 | 925   | 962,5 | 1000 |
| y | 400 | 458,8 | 517,1 | 574,2 | 629,6 | 682,8 | 733,3 | 780,6 | 824,3 | 863,8 | 898,2 | 929,2 | 954,3 | 974,2 | 988,5 | 997,1 | 1000 |

Результаты исследования представлены на рисунках 1 – 5.



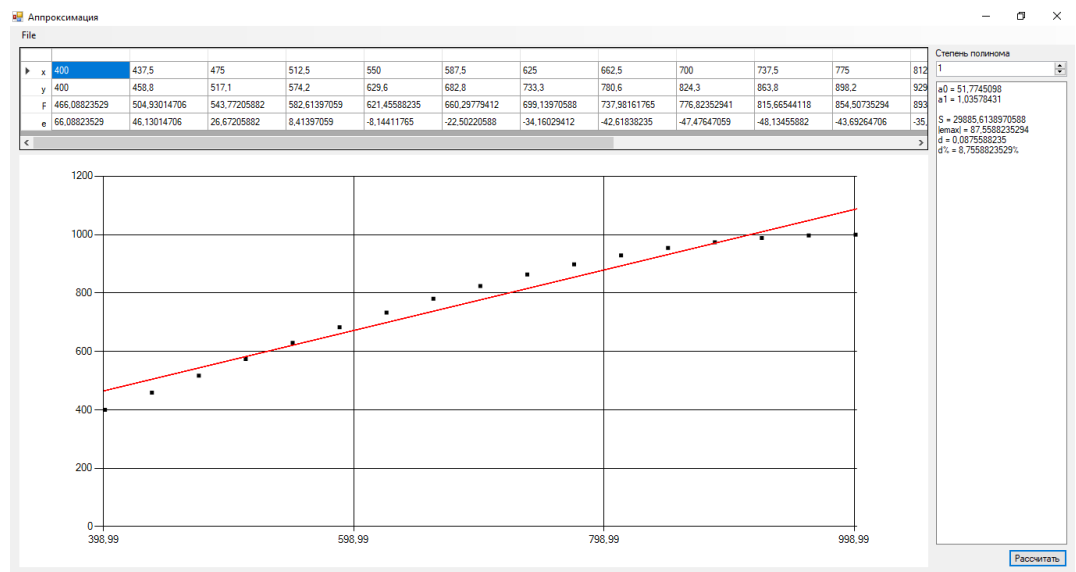


Рис. 1. Результат линейной аппроксимации

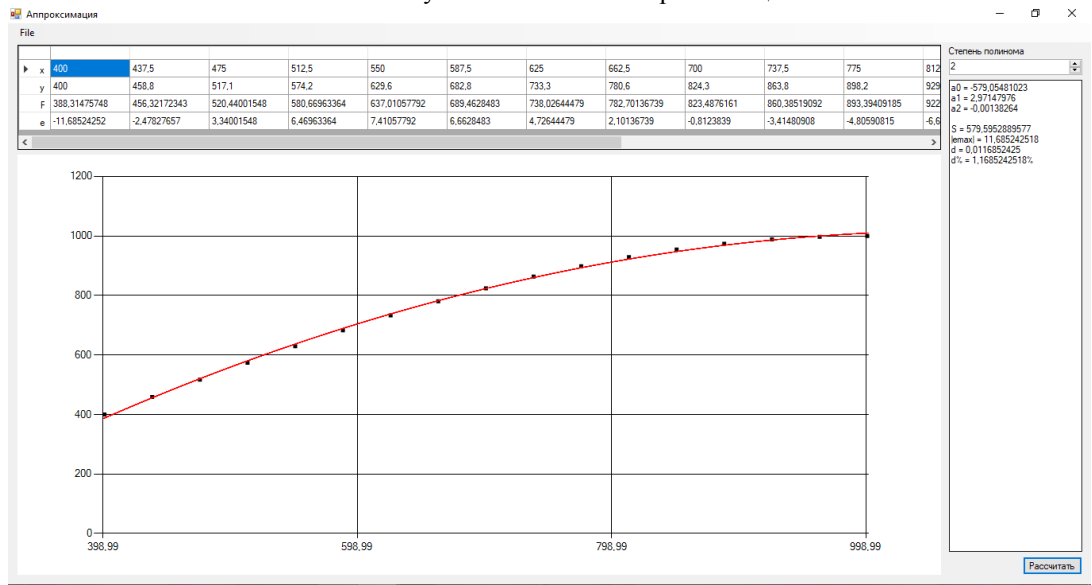


Рис. 2. Результат квадратичной аппроксимации

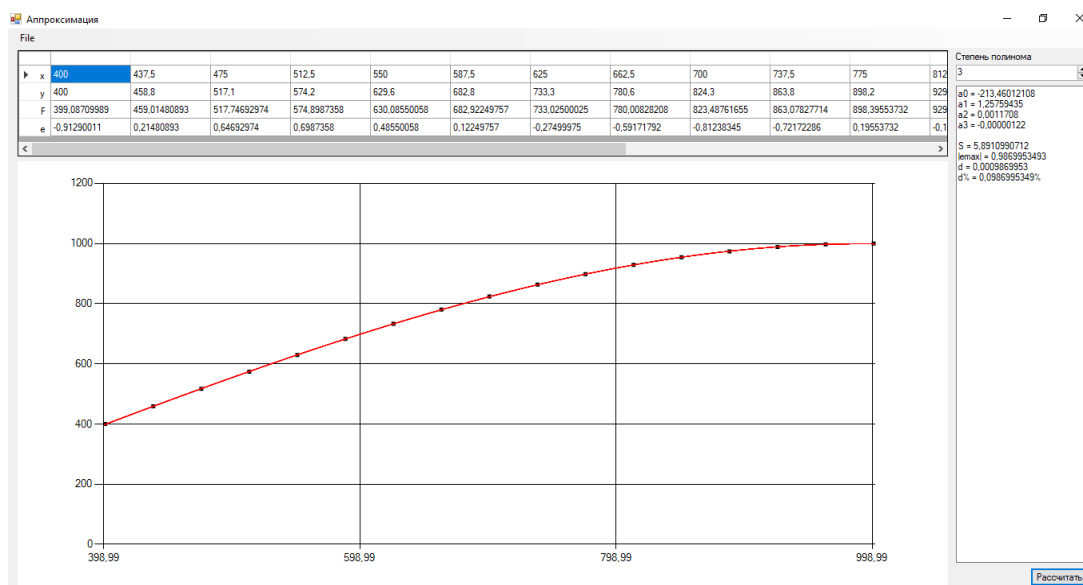


Рис. 3. Результат кубической аппроксимации

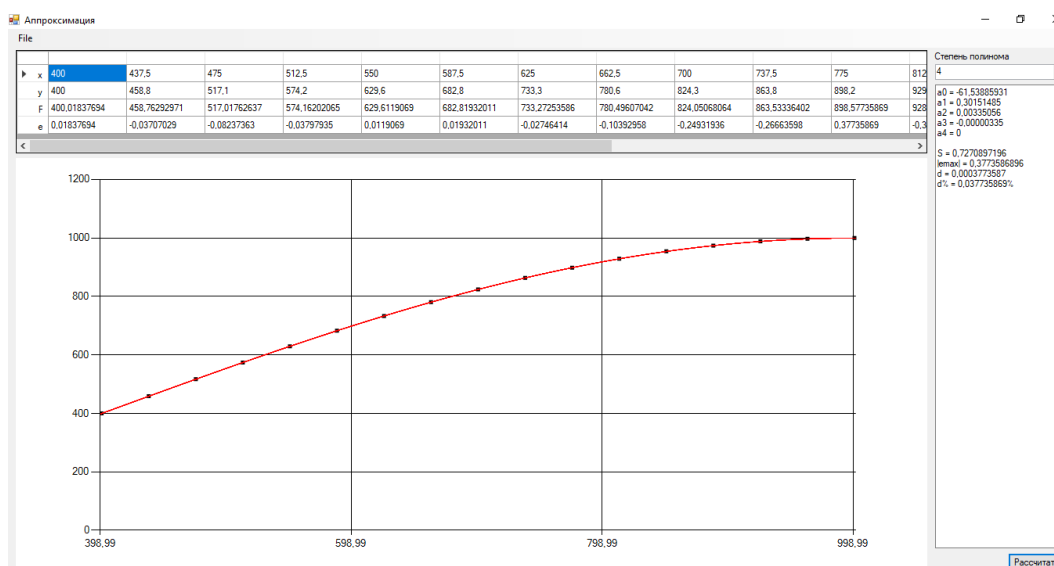


Рис. 4. Результат аппроксимации полинома 4-ой степени

## Выводы

В результате исследования получились следующие результаты представленные ниже в таблице 2 для полиномов 1-ой, 2-ой, 3-ей и 4-ой степени.

Таблица 2. Результаты выполнения аппроксимации

| Степень полинома | Мера отклонения, S | Относительная погрешность, % |
|------------------|--------------------|------------------------------|
| 1                | 29885,613897058    | 8,756                        |
| 2                | 579,5952889577     | 1,169                        |
| 3                | 5,8910990712       | 0,099                        |
| 4                | 0,7270897196       | 0,038                        |

Как видно из табл. 2 наилучшей (наименьшей) относительной погрешностью обладают вычисления аппроксимации полинома 4-й степени, где мера отклонения составляет 0,7270897196 и относительная погрешность в процентах 0,038, а самой наиболее относительной погрешностью обладают вычисления 1-ой степени, где мера отклонения составляет 29885,613897058 и относительная погрешность в процентах 8,756.

### Библиографический список

1. Герасимович А.С. Аппроксимация зависимостей полиномами. Метод накопленной переменной – М.: Весь Сергиев Посад, 2013. – 101 с.
2. Бердышев В.И., Петрак Л.В. Аппроксимация функций, сжатие численной информации, приложения, Екатеринбург: УрО ран, 1999. — 296 с.
3. Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы, Монография. — Новосибирск: Сибирское отделение издательства Наука, 1983. — 215 с.
4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы – М.: Бином. Лаборатория знаний, Серия: Классический университетский учебник, 2004 - 636 с.
5. Справочник по C# [Электронный ресурс], URL: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/618aуhy6\(v=vs.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/618aуhy6(v=vs.120).aspx) (дата обращения 05.02.18).
6. Шилдт Г. Полный справочник по C# - М.: Вильямс, Серия: Полный справочник, 2008. – 752 с.

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

УДК 67.02; ГРНТИ 53.01.85

### ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ОАО "ТЯЖПРЕССМАШ"

**К. Максимов**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, Рязань, maximov.kirill.alexandrovich@gmail.com*

*Аннотация.* В данной работе описаны требования к качеству моделей из пенополистирола для технологического процесса литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), влияние качества моделей на качество готовых отливок, возможность автоматизации и оптимизации процесса производства моделей на одном из предприятий, использующем технологический процесс ЛГМ.

*Ключевые слова.* ЛГМ, модель, технологический процесс, качество, производство, отливки

### EVALUATION OF PROSPECTS FOR IMPROVING THE QUALITY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF LOST-FOAM CASTING ON JSC «TYAZHPRESSMASH»

**K. Maximov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, maximov.kirill.alexandrovich@gmail.com*

*Abstract.* This paper deals with the requirements to quality of models from polystyrene foam for technological process of lost-foam casting (LFC), influence of quality of models on quality of ready casting, possibility of automation and optimization of a process of manufacture of models at one of the enterprises, using technological process of LFC.

*Keywords.* LFC, model, technological process, quality, manufacture, casting

#### Введение

Технологический процесс производства отливок по газифицируемым моделям, который в конце XX века получил широкое применение в промышленно развитых странах и в настоящее время считается одним из самых перспективных способов литья, является одним из новейших способов производства отливок. Данный процесс вызвал у литейщиков огромный интерес, т.к. при литье модели не извлекаются, а газифицируются под действием тепловой энергии металла, заливаемого в форму. Такая технология, названная литьём по газифицируемым моделям (ЛГМ), решает важнейшую задачу литейного производства – повышение точности отливок при снижении затрат на издержки производства.[1]

Технология ЛГМ продолжает активно развиваться во всем мире, но многие российские компании продолжают использовать устаревшие методы литья — более дорогие, требующие больше усилий и времени. Внедрению современного способа литья по газифицируемым моделям мешает недостаток информации и укоренившиеся стереотипы.[3]

На рязанском предприятии ОАО «Тяжпрессмаш» используется технология ЛГМ для выплавки небольшой номенклатуры изделий, но недоработки в технологическом процессе и отсутствие необходимой информации для его наладки обеспечивают низкий уровень качества выплавляемых изделий и высокий процент брака.

На предприятии для функционирования линии ЛГМ используется два цеха: «белый» и «чёрный». В первом осуществляется процесс производства пенополистироловых моделей. Во втором – сам процесс литья. Большого внимания требует «белый» цех, т.к. практически все операции, осуществляемые в процессе производства моделей, так или иначе, влияют на

качество готовой продукции. Начиная от требований к исходному материалу и заканчивая операцией сушки противопригарного покрытия, которым покрываются готовые модели, все операции требуют строгого контроля в процессе производства.

Таким образом, цель работы – определить параметры технологического процесса производства моделей из пенополистирола для технологии ЛГМ, влияющие на качество готовой продукции, и предложить мероприятия по повышению контроля над этими параметрами с целью увеличения уровня качества моделей и оптимизации технологического процесса.

Поставленная цель определяет ряд задач:

1. изучить технологический процесс изготовления моделей ЛГМ;
2. изучить требования к качеству готовых моделей и его влияние на качество готовой продукции;
3. оценить технические возможности по автоматизации и оптимизации процесса изготовления моделей ЛГМ.

### **Этапы изготовления моделей из пенополистирола**

Изучение литературы и визуальное наблюдение за процессом производства моделей на предприятии позволило выявить следующие операции в производстве моделей:

1. первичное вспенивание и полистирола;
2. сушка предвспененного полистирола;
3. активация (выдержка) предвспененного полистирола до созревания;
4. заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола;
5. спекание гранул пенополистирола;
5. сборка моделей;
7. нанесение противопригарного покрытия;
8. сушка противопригарного покрытия.

Каждый из выявленных этапов влияет на качество готовых моделей и, соответственно, на качество готовой продукции, что требует осуществление должного контроля над каждой операцией и технологическим процессом в целом.

### **Определение параметров технологического процесса, влияющих на качество готовых моделей**

В ходе дальнейшего изучения литературы и требований к качеству моделей было выяснено, что качество готовой модели определяется следующими основными параметрами:

1. шероховатостью ее поверхности;
2. размерной точностью;
3. равномерностью структуры пенополистирола;
4. объемной плотностью;
5. механической прочностью.[1]

Каждый из этих показателей, в свою очередь, зависит от ряда других параметров на каждом этапе технологического процесса. Так шероховатость поверхности модели зависит от:

1. качества рабочей поверхности пресс-формы;
2. активности вспененных гранул полистирола;
3. термовременных параметров формирования модели в пресс-форме.

Для обеспечения надлежащего качества рабочей поверхности пресс формы необходимо изготавливать их из рекомендуемых материалов (алюминиевых сплавов марок АМг5, АМг2, АМг6, Д16, 18К6 и др.), которые имеют достаточную прочность, высокую плотность и хорошо обрабатываются режущим инструментом.[1]

Активность гранул – это способность их к максимальному расширению при спекании модели в пресс-форме. Этот показатель в большой степени влияет на качество модели. Активность гранул можно определить по формуле:

$$A = 1 - \frac{y_{min}}{y}, \quad (1)$$

где  $y_{min}$  – минимальная объемная плотность вспененного полистирола, кг/м<sup>3</sup>;  
 $y$  – расчетная объемная плотность модели, кг/м<sup>3</sup>. [1]

Исходя из формулы активность определяется объемной плотностью вспененного полистирола и модели, которые зависят от термовременных режимов предвспенивания и спекания моделей.

Термовременные параметры – это температура и время формирования модели в пресс-форме. При недостаточно высокой или слишком низкой температуре спекания, но при необходимой активности гранул, поверхность модели имеет высокую шероховатость. Аналогичный результат получается при требуемой температуре и активности гранул, но недостаточной или превышающей время спекания выдержке. При таких режимах спекания модели ее поверхность получается с высокой шероховатостью, и она не пригодна для получения качественных отливок.

Точность модели определяется размерами рабочей полости пресс-формы и размерами модели с учетом ее фактической усадки. Усадка моделей из пенополистирола зависит от свойств исходного полистирола и от термовременных параметров его дальнейшей переработки. Поэтому усадка должна определяться для каждой новой партии полистирола, а также учитываться при разработке технологического процесса.

Структурная неоднородность моделей оказывает существенное влияние на их механические свойства и, как следствие, на качество готовых отливок. Наличие посторонних примесей приводит к возникновению неметаллических включений в отливках и снижает их механические свойства. При повышенной плотности на некоторых участках модели следует ожидать возникновения специфических дефектов на поверхности отливок. Для получения однородной структуры модели следует использовать для их изготовления гранулы одного размера, поэтому следует применять исходный материал требуемого качества, осуществлять контроль над режимами предвспенивания и просеивать предвспененный полистирол через сито требуемых размеров. При этом необходимо обеспечить нормальное заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола при их подаче воздушным потоком.

Получение моделей с заданной, технологически необходимой объемной плотностью является главной задачей их производства. С одной стороны модель должна иметь повышенную объемную плотность, чтобы в ходе технологического процесса не происходило нарушение геометрических параметров модели, а с другой — минимально допустимую, чтобы модель существенно не влияла на заполняемость формы, и выделялось минимальное количество продуктов термодеструкции. Получение технологически необходимой объемной плотности пенополистирола зависит от:

1. качества исходного материала;
2. вида пенополистирола;
3. температуры обработки;
4. расхода теплоносителя;
5. времени тепловой обработки. [1]

Модель должна иметь определённую механическую прочность для предотвращения получения дефектов в ходе технологического процесса, но повышение прочности осуществляется повышением объёмной плотности (табл. 1). Таким образом, задача получения опти-

мальной объёмной плотности для изготовления моделей является главной в ходе оптимизации технологического процесса.

Таблица 1. Зависимость твёрдости поверхности модели от её объёмной плотности

|                                              |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Объёмная плотность модели, кг/м <sup>3</sup> | 20-25 | 26-30 | 31-35 | 36-40 |
| Твёрдость по твердому меру модели 071        | 62-72 | 72-78 | 76-80 | 78-85 |

Качество моделей влияет на качество готовых отливок всеми рассмотренными факторами. Стоит учитывать каждый параметр производства моделей для получения отливок надлежащего качества. В противном случае будут распространены дефекты и брак следующих видов: набор (волнистая шероховатость на поверхности отливки), углеродистые раковины, углеродистые пленки, выпот (наплавы металла на поверхности отливки в виде бугорков и капель), газовая пористость, цементация, наросты, песчаные раковины, искажение и др.[2]

Стоит также уделить должное внимание этапам сборки моделей и нанесения противопожарного покрытия, которые также существенно влияют на качество готовых изделий. Клей должен обеспечивать прочное соединение элементов модели, он не должен растворять пенополистирол и не должен мешать процессам деструкции модели при заливке её металлом. Противопожарное покрытие обеспечивает прочность модели, влияет на основные параметры процесса формирования отливки, и на качество готовых отливок.

#### **Оценка технических возможностей по автоматизации и оптимизации процесса изготовления моделей на предприятии ОАО «Тяжпрессмаш»**

Из рассмотренных данных о технологическом процессе видно, что в ходе производства моделей требуемого качества следует контролировать ряд параметров. На предприятии такой контроль не всегда имеется. Для оптимального контроля над параметрами технологического процесса следует использовать оборудование, оснащенное программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), которые позволят вывести процесс на высокую степень автоматизации и достичь желаемых результатов относительно качества выпускаемой продукции.

На этапе предвспенивания требуется контроль загружаемого объема исходного материала, температуры вспенивания, времени вспенивания и расхода теплоносителя для обеспечения требуемой объёмной плотности вспененного полистирола. Перечисленные параметры могут контролироваться и обрабатываться ПЛК, что даёт возможность сделать этап автоматизированным. Для осуществления этого этапа используются специальные предвспенивающие установки под управлением ПЛК. При этом должна быть возможность задания параметров цикла вспенивания на основе выдвигаемых требований к вспененному полистиролу и возможность наблюдения за процессом вспенивания. На текущее время на предприятии используется установка ненадлежащего образца, требующая переработок аппаратуры автоматики и перепрограммирования ПЛК для более тщательного контроля над параметрами этапа предвспенивания.

Процесс активации вспененного полистирола осуществляется в специальных бункерах. На данный момент отсчёт времени активации и доставка бункеров на следующий этап технологического процесса осуществляется вручную. Автоматический контроль времени активации полистирола и подача на следующий этап сократит время доставки, предотвратит перевыдержку полистирола, которая приводит к снижению качества, что позволит оптимизировать процесс, повысить степень автоматизации.

Процесс заполнения пресс-форм, их закладка в автоклав и последующее извлечение осуществляется вручную. Как уже было отмечено выше, необходимо обеспечивать нормаль-

ное заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола, что не всегда возможно осуществить вручную. К тому же процессы закладки и извлечения вручную занимают больше времени, нежели в автоматическом режиме, что не оптимально. Используемые на предприятии автоклавы для вторичного вспенивания работают под контролем ПЛК на основе заданных параметров, но в совокупности этот этап может быть оптимизирован внедрением автоматических или полуавтоматических установок. Пресс-форма такой установки представляет собой короб с рубашкой, в которую поочередно подаётся сжатый воздух, пар и вода охлаждения. Тем самым осуществляется автоматическое заполнение, вторичное вспенивание и охлаждение пресс-формы по заданным параметрам, что повышает степень автоматизации технологического процесса и оптимизирует его.

Далее следует процесс склеивания модели из отдельных частей, что на предприятии осуществляется вручную, но также может быть автоматизировано путем применения установок для склейки моделей. Заданием на установке требуемых параметров нанесения клея и выдержки можно добиться оптимального процесса склеивания. Внедрение такой установки повысит оптимальность процесса.

Нанесение противопопригарного покрытия на предприятии осуществляется методом облива. Модель ставится в ванну и поливается из шланга по всем поверхностям. Краска, постоянно перемешиваясь, качается из этой же ванны. Более автоматизированный способ нанесения покрытия – на автоматизированных установках, путём окунания моделей, но на модель в этом случае действует архимедова сила, в результате чего модель может повредиться. Поэтому этот способ на рассматриваемом предприятии не актуален.

Сушка противопопригарного покрытия на предприятии осуществляется в печах с устанавливаемой температурой. Но температура контролируется внутри печи, что весьма неудобно. Следует вынести органы управления печью наружу и добавить временной контроль, что повысит оптимальность процесса.

### **Выводы**

Таким образом, технологический процесс ЛГМ требует большого внимания на всех его этапах и, по большей части, на этапе производства моделей. Контроль на каждом этапе процесса позволит получить готовую продукцию высокого качества. На рассматриваемом предприятии внедрение автоматизированного оборудования позволит оптимизировать процесс – снизить издержки производства и повысить точность отливок. Т.к. практически на всех этапах производства моделей может быть использовано оборудование под управлением ПЛК, то это даёт возможность создания полноценной автоматической системы управления технологическим процессом, что сделает управление и контроль наиболее оптимальным.

### **Библиографический список**

1. Шуляк В. С. Литьё по газифицируемым моделям. Спб.: Проффессионал, 2007.
2. Григорьев В. М. Литьё по выжигаемым моделям. Хабаровск: ХГТУ, 2002.
- 3 Литьё по газифицируемым моделям. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Литьё\\_по\\_газифицируемым\\_моделям](https://ru.wikipedia.org/wiki/Литьё_по_газифицируемым_моделям). – (дата обращения: 27.01.2018).



УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## АУДИТ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ ПОРТАЛЬНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

**В. Кувшинников**

*АО «НИКИМТ-Атомстрой»*

*Российская Федерация, Москва, kuvshinnikov@ndtexpert.ru*

*Аннотация.* В статье формируется и рассматривается задача повышения эффективности управления специализированным порталным манипулятором. Рассмотрена возможность применения существующих решений в рамках специальных условий эксплуатации. Предложен пример корректировки решения под условия задачи.

*Ключевые слова.* Человеко-машинные системы, система управления, манипулятор, искусственная нейронная сеть

## OPERATOR ACTIONS AUDIT IN SPECIALIZED PORTAL MANIPULATOR CONTROL

**V. Kuvshinnikov**

*JSC «NIKIMT-Atomstroy»*

*Russian Federation, Moscow, kuvshinnikov@ndtexpert.ru*

*Abstract.* This article deals with the specialized portal manipulator control efficiency. The possibility of existing solutions application is considered within the special operationg conditions. An example of eligible solution adjustment is proposed.

*Keywords.* Man-machine systems, control system, manipulator, artificial neural network

### Введение

Объектом управления оператора является специализированный порталный манипулятор (ПМ), расположенный над бассейном выдержки (БВ) АЭС и предназначенный для выполнения следующих функций:

- поиск и выявление мест течей в сварных швах облицовки БВ;
- зачистка околодефектных мест;
- ремонт выявленных нецелостностей облицовки БВ заплаточным методом с применением клеевых композиций;
- проведение контроля установленных заплаток на герметичность;
- проведение повторного ремонта облицовки БВ при возникновении необходимости.

Обследование и контроль стенок БВ осуществляется поэтапно, по мере частичного освобождения пространства дна и стенок бассейна от хранимых тепловыделяющих сборок (ТВС).

Характерные особенности установки обусловлены такими параметрами, как:

- большие габариты установки и обслуживаемой рабочей зоны: более 14 метров в длину, 6.5 метров в ширину и 20 метров в глубину (рис. 1);
- большая масса конструкции манипулятора: до 20 тонн;
- работа в условиях температур до 60 градусов по шкале Цельсия;
- работа в условиях гидростатического давления: до 2 атмосфер;
- работа в условиях повышенного радиационного фона: мощность поглощенной дозы 30 000 Грей в час;
- переменный характер расположения и размеров рабочей зоны в рамках рабочего пространства манипулятора;
- наличие сменных узкоспециализированных модулей рабочего органа (РО) манипулятора;
- ограниченность обзора оператора, осуществляемого с помощью камер видеонаблюдения.



Таким образом, требуется решить многокритериальную оптимизационную задачу для снижения негативных эффектов управления, осуществляемого оператором ПМ.

### Существующие пути решения

Распределённая СУ включает в себя программируемый логический контроллер (ПЛК) ОВЕН для обработки дискретных сигналов и осуществления автоматического управления режимами работы пневматической установки сменных модулей РО, ПЛК FESTO – для настройки и управления группами сервоприводов и, собственно, набор сервоприводов, объединённых в группы и управляемых в режиме master-slave. Благодаря подобной структуре, можно без применения дополнительных средств снизить влияние нежелательных факторов управления: настроить контроллеры сервоприводов на работу в режимах, ограничивающих максимальные моменты ускорения и торможения; снизить максимальные значения скоростей перемещения до заведомо заниженных величин.

Перечисленные меры помогут снизить износ оборудования ценой затрат дополнительного времени на старт, перемещение и торможение. Это приведет к увеличению вспомогательного времени операций и времени обслуживания БВ, негативно скажется на общей стоимости проведения работ. Формирование более эффективного алгоритма управления позволит как избежать негативных факторов ручного управления, так и сократить вспомогательное время. Аудит действий оператора позволит сформировать более эффективные траектории перемещения, выработать режим движения с минимальным числом участков разгона и торможения.

Проведение аудита возможно путём сравнения данных о произведенных оператором действиях с набором автоматически формируемых данных. Формирование данных о желаемом перемещении возможно несколькими способами, включая алгоритмы на базе технологий под общим термином «системы искусственного интеллекта». Рабочая зона манипулятора представляется в виде конечного набора всех возможных конфигураций его звеньев, общее число которых  $a = N^n$ , где  $N$  – параметр дискретизации конфигурационного пространства (число рассматриваемых положений сочленения),  $n$  – число сочленений. Один из возможных алгоритмов формирования траектории предусматривает представление множества допустимых конфигураций манипулятора в виде графа конфигураций, после чего производится выбор подходящей с учетом критерия оптимальности по выбранному параметру [2]. Другим способом является алгоритм обучения нейронной сети, где каждый нейрон связан с определённой конфигурацией манипулятора, а веса синаптических связей с другими нейронами формируют потенциальное поле, позволяющее количественно оценить стоимость перехода с учетом физической доступности, механической работы и затрачиваемого времени [3]. Кроме того, возможно применение эволюционных алгоритмов на основе формирования правил отбора и модификации конфигураций манипулятора из доступного набора (популяции) [4]. Перечисленные методы полагаются на информацию о препятствиях, находящихся в рабочей зоне манипулятора. Благодаря этим данным, траектории, содержащие недопустимые конфигурации, исключаются.

### Заключение

Информация о недопустимых конфигурациях в рассматриваемой системе недоступна. Периодическое изменение расположения ТВС не позволяет однозначно определить границы рабочей области, а РО манипулятора не оборудован сенсорами препятствий. В таких условиях СУ располагает данными, полученными при ручном управлении. Множество допустимых конфигураций манипулятора формируется на основании записанных перемещений, а из полученного множества выбирается оптимальная по выбранному критерию траектория. Такой подход уступает в эффективности ранее упомянутому, но позволяет без вмешательства в кон-

струкцию ПМ и состав СУ повысить эффективность работы манипулятора, снижая вспомогательное время и время обслуживания БВ.

### Библиографический список

1. Борисенко Е.В., Мартынов П.Н., Ковшов Е.Е. Оценка эффективности интерактивного взаимодействия пользователя с компьютерной системой // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – 2009. – Т. 2. - № 2. - С. 47-49.
2. Кожевников М.М., Чумаков О.А., Илюшин И.Э., Господ А.В. Генерация программных траекторий для роботов-манипуляторов точечной контактной сварки в среде с препятствиями // Доклады БГУИР. - 2017. - № 7 (109). - С. 32-39.
3. Кожевников, М. М. Нейросетевой подход к планированию траекторий промышленных роботов-манипуляторов / М. М. Кожевников, А. В. Господ, Л. А. Лоборева // Информационные технологии и системы 2012: материалы международной научной конференции, БГУИР – 2012. – С. 86–87.
4. Чеканин В.А., Ковшов Е.Е., Хуэ Н.Н. Повышение эффективности эволюционных алгоритмов при решении оптимизационных задач упаковки объектов // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – Т. 37. - № 3. - С. 63-67.

УДК 658.512; ГРНТИ 50.47.31

## NEURAL NETWORK DATA CLASSIFIER IN NON-DESTRUCTIVE TESTING

A. Kosach, E. Kovshov

JSC «NIKIMT-Atomstroy»

Russian Federation, Moscow, kosachaa@atomrus.ru

*Abstract.* The article is devoted to determination of need for automation of non-destructive testing based on the development of a digital platform, including the electronic workflow of technological documentation and the management of low-level technological equipment for control monitoring. To process the received data, a neural network module was developed that performs the functions of normalizing and cleaning input data from artifacts. The intelligent digital platform for automation of non-destructive testing is built based on a modular architecture, which makes it flexible and easily scalable, allows the use of virtual resources for various engineering calculations and information storage.

*Keywords.* : non-destructive testing, SOA, Big Data, Neural network, digital manufacturing

### Introduction

Today, there is a large number of tools and process automation systems, including the ones for non-destructive testing. The lack of a universal approach, diversity and often incompatibility of the equipment used, analysis of large amounts of unstructured data turn the development of an automated control system into a long and laborious task. As a result, the systems of this kind often can be described as containing poorly aligned components, inefficient data processing algorithms and complex at maintaining performance. In addition, the requirements of a modern enterprise demand using of a single information space, so the measurement equipment and the remote leakage detection systems must be selected carefully according to the characteristics allowing being included in this space.

### Platform software

The proposed intellectual software platform for data collection and processing is based on the service-oriented architecture (SOA) of software solutions [1]. SOA is a modular approach to software development, based on the use of distributed, loosely coupled standardized components (services). It can be used multiple times and combined in any order. Services perform various application (e.g. NDT) functions and are loosely coupled, so they are combined with each other only for solving the problems. With the growth of the data scale and calculations, the implementation of the information systems based on SOA becomes the preferred one.

The software intellectual platform model has been developed and tested (as a part of SOA platform) to collect and process data from an automated system for remote mass-spectrometry leakage detection [2].

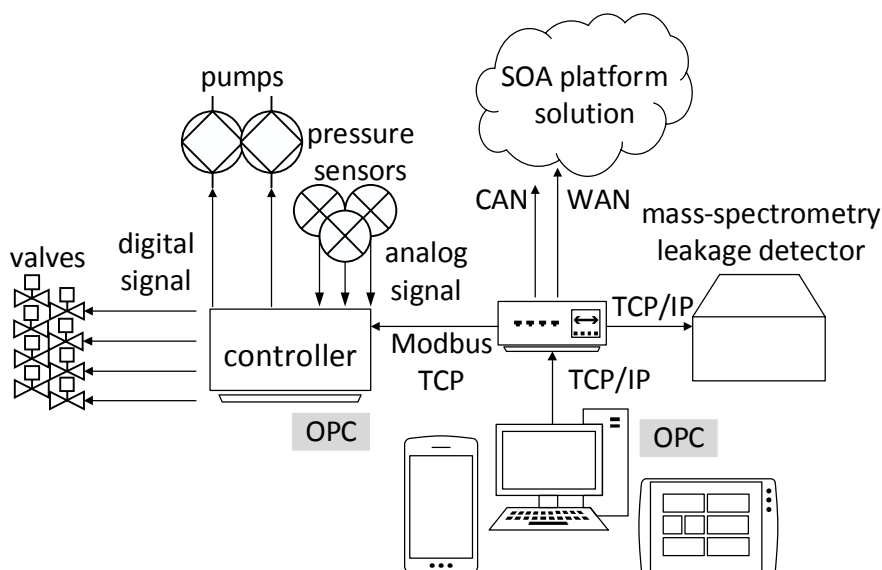


Fig. 1. Diagram for the control system of leakage detection

To implement the control system, the enterprise service bus Open ESB[2] was chosen. The services were implemented in the form of web-services, the functional part of which is made in the Java. The system elements exchange messages based on the SOAP protocol. To store the data and the results of calculations a database management system with open source code PostgreSQL was used. The use of these technologies allows to perform analysis and filtering in the main software tools of the Microsoft Office (e.g. MS Excel). To exchange information between parts of the system OPC servers[3] (OPC UA, OPC DA), also Modbus RTU and Modbus TCP communication protocols are used (fig. 1).

The implemented software provides the ability to model and document data in the «off-line» mode. This mode includes simple analytical procedures as well as plotting the dependence of a flow of a test substance on time, re-filtering the data and evaluating the product's quality. Technological documents (protocols and conclusions), based on the control results, can be created both electronically and (optionally) on paper. For more complex and in-depth analysis of data provided by the interaction with the SOA platform, which may also be available in the public, private hybrid cloud.

### Data processing

For data processing, a hybrid approach was used: a stream data division is ensured by the neural network, grouping and analysis of the data after its receiving is based on the cluster analysis of the weighted pair average. Evaluating of the product's quality is based on a comparison of the value of the flow of a test substance penetrating through defects with a reject level (it depends on the quality norms). Before the assessment, it is necessary to clear the signal from the fluctuations, background (the concentration level of the test fluid in the environment) and possible artifacts.

#### 1. Neural network module

To process the received data, a neural network module [4], that performs the functions of normalizing and cleaning input data from artifacts (neural network data classifier), was developed.

The topology of the neural network is shown in Fig. 2. The neural network is trained on the basis of a test sample using the algorithm for back propagation of the error.

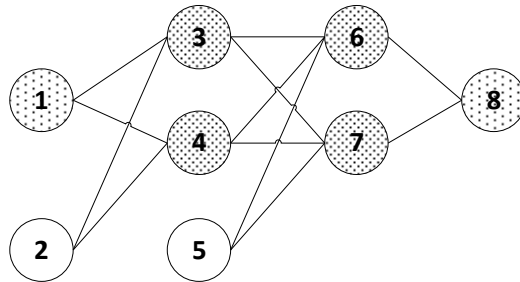


Fig. 2. The topology of a neural network:

1 – input neuron; 2, 5 – bias neurons; 3, 4, 6, 7 – hidden neurons; 8 – output neuron

When the neural network teaching, the task is to minimize the error function:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k (y_j - t_j)^2,$$

where  $y_j$  is the real value  $j$  of the network output;  
 $t_j$  is the desired value  $j$  of the network output;  
 $k$  is the number of outputs of the network.

The error is minimized by the method of stochastic gradient descent. The activation function is:

$$f(x_j) = \frac{1}{1 + e^{-x_j}},$$

where  $x_j$  is the weighted sum at the input of the neuron:

$$x_j = \sum_{i=1}^k w_{ij} y_i,$$

where  $w_{ij}$  are the weights of the links between and neurons;  
 $y_i$  is the output of the previous layer neuron  $i$ .

At the beginning of training, the weights of the neuronal connections are initiated randomly in the interval  $[-0, 1; 0, 1]$ . Next a training sample arrives at the neural network with known values at the outputs. For each sampling vector, the error value is calculated and an adjustment is made to the weights of the neuron connections according to the formulas:

$$w_{ij} = w_{ij-1} + \Delta w_{ij},$$

where  $w_{ij-1}$  is the weight of the bonds between  $i$  and  $j$  neurons,

$$\Delta w_{ij} = -\eta \delta_j y_i + \mu \Delta w_{ij-1},$$

where  $\delta_j$  is the error of the neuron in the layer  $j$ ;

$\Delta w_{ij-1}$  is the correction to the weight of the neuron made for the previous operation.

$$\delta_j = f'(x_j) \sum_{n=1}^k \delta_n w_{jn} ,$$

$$\delta_{out} = f'(x_{out})(t_{out} - y_{out}) ,$$

where  $\delta_n$  is the error of the neuron in layer n;  
 n is the layer of neurons that stands after layer j;  
 out – the layer of output neurons.

The coefficients  $\eta$  and  $\mu$  are introduced to control the training speed and the successful passage of the local minimum of the error function, respectively. The main idea of this method is to spread the error signals from the outputs of the network to its inputs – in the direction opposite to the direct propagation of signals in the normal mode of operation.

After the repeated passage of the training sample (in this case, about 1000 epochs), the neural network is ready to process and purify the incoming data. Also, this neural network module can be used to process multidimensional data, including image recognition in radiographic control.

#### *Cluster analysis*

Finding the optimal number of clusters is carried out using the efficiency index[5].

$$PI = \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K u_{qk}^2 [d^2(c_k, \bar{x}) - d^2(x_q, c_k)] ,$$

where  $Q$  – the number of the objects;  
 $K$  – the number of the clusters;  
 $u_{qk}$  – a coefficient of containing of the object in the cluster  $u_{qk} \in [0, 1]$ ;  
 $d$  – Euclidean distance;  
 $c_k$  – a vector of the cluster's center;  
 $\bar{x}$  – the arithmetic mean of all vectors.

For the curves of the dependence of the flow on time, a smooth change is characteristic, and it can be assumed that the artifacts will form clusters with a minimum number of member. It is sufficient to neglect the smallest clusters to remove distorted values.

When using the cluster analysis method, the resources spent for searching for the maximum value are reduced, because a linear search algorithm is used, in which the cluster with the maximum average value of its members is first searched.

#### **Conclusion**

The specified software platform can be supplemented with various servers and used for any non-destructive testing methods. The use of an automated universal SOA platform with expanding set of software services for data streams collection and implementing in the processes of non-destructive control will reduce the human factor's influence, improve the reliability of the system and the accuracy of data analysis, and ensure the transition to digital manufacturing.

### List of sources

1. N. Bieberstein, S. Bose, M. Fiammante Service-Oriented Architecture (SOA) Compass: Business Value, Planning, and Enterprise Roadmap. IBM Press. 2005.
2. A. Kosach, E. Kovshov Software and hardware for industrial automation in the management of remote leakage detection control. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 10, No. 8, 2017.
3. A. Karataev, V. Palshin, Z. Yarmukhamedova OPC technology as a means of integration of automated systems, Herald of KazNTU, Vol. 3, 2014.
4. S. Osovskiy, Neural networks for information processing. Moscow: Finance and Statistics. 2002.
5. Kuznetsov D.Yu., Troshina T.L.: Cluster analysis and its application, Yaroslavl Pedagogical Herald, No. 4, 2006.

УДК 519.713 : 67.02; ГРНТИ 50.43.17, 81.19.03

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-БЛОЧНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СЕЛЕКТИРУЮЩИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**В.Н. Дубинин\*, И.В. Сенокосов\*, А.С. Войнов\*, В.В. Вяткин\*\***

*\* Пензенский государственный университет,  
Россия, Пенза, [duvini@mail.ru](mailto:duvini@mail.ru)*

*\*\* Технический университет Лулео,  
Швеция, Лулео, [valeriy.vyatkin@ltu.se](mailto:valeriy.vyatkin@ltu.se)*

*Аннотация.* Предлагается использование расширенных сетей Петри для выборки специфицированных последовательностей объектов из входного потока. Рассматривается методика реализации сетей Петри на основе функциональных блоков стандарта МЭК 61499. Метод может применяться как для выборки материальных объектов в сборочном производстве, так и для контроля поведения систем промышленной автоматики.

*Ключевые слова.* Сети Петри, выборка, последовательность, реализация, функциональный блок, МЭК 61499.

## FUNCTION BLOCK-BASED IMPLEMENTATION OF SELECTING PETRI NETS

**V.N. Dubinin\*, I.V. Senokosov\*, A.S. Voinov\*, V.Vyatkin\*\***

*\* Penza State University,  
Penza, Russia, [duvini@mail.ru](mailto:duvini@mail.ru)*

*\*\* Lulea University of Technology,  
Sweden, Lulea, [valeriy.vyatkin@ltu.se](mailto:valeriy.vyatkin@ltu.se)*

*Abstract.* This paper proposes the using of extended Petri nets to select specific sequences of objects from an input stream. The technique of IEC 61499 function block-based Petri net implementation is considered. The method can be used both for selecting material objects in assembly production and for monitoring the behaviour of industrial automation systems.

*Keywords.* Petri nets, selection, sequence, implementation, function block, IEC 61499.

Задача выборки специфицированной последовательности объектов из входного потока объектов является довольно важной как с теоретической, так и практической точек зрения. Она может, например, возникнуть в сборочном производстве, при сортировке и упаковке контейнеров всевозможных видов, включая наборы инструментов, деталей и лекарств. В данном случае упорядоченность является важным свойством продукта. Кроме того, данная задача может быть адаптирована для целей контроля правильности функционирования системы в том смысле, удовлетворяет ли поведение системы некоторому заданному шаблону. В данном случае из потока сигналов или событий, поступающих из дискретной событийной системы, выделяются определенные последовательности, заданные неким формальным образом. Детектирование специфицированных последовательностей может свидетельствовать о нормальном или, наоборот, ненормальном функционировании системы. Задача выборки специфицированной последовательности объектов является сходной с задачей распознавания языков, встречающейся, в частности, при построении трансляторов и компиляторов. В



отличие от распознавателя, система выборки может игнорировать входные объекты, если они не иницируют в ней соответствующие изменения. Следует также отметить значительно более строгие требования по времени, предъявляемые к системам выборки, поскольку зачастую они работают в режиме реального времени. Задачи выборки не так многосторонне представлены в литературе, как задачи распознавания языков. Использование конечных детерминированных автоматов для выборки представлено в [1], конечных недетерминированных автоматов – в [2] и магазинных автоматов – в [3]. Естественным является желание использовать для выборки объектов более мощные в вычислительном плане модели, например, сети Петри (СП) и производные от них модели. Практически отсутствуют работы по использованию СП для распознавания языков, что можно объяснить большой вычислительной сложностью процедур их анализа. Для снижения вычислительной сложности необходимо использовать упрощения СП. Например, в работе [4] предлагаются структурно простые СП (S-сети), а для распознавания используется алгоритм на основе конечных автоматов, имеющий полиномиальную сложность. Если рассматривать смежные области, связанные с использованием СП для распознавания ситуаций или паттернов, то можно выделить работы [5-8]. В работе [5] СП используется для конструирования запроса к данным видеонаблюдения (в терминах событий) и далее для распознавания этого специфицированного шаблона. В работе [6] СП предлагается использовать для моделирования и распознавания жестов с несколькими касаниями для мультисенсорных устройств. Авторы работы [7] предлагают раскрашенные СП для моделирования распознавания упорядоченных во времени последовательностей событий, выраженных с помощью логических и временных операторов, а также минимальных и максимальных времен задержки. В работе [8] раскрашенные СП используются для определения правильности выполнения оператором (например, пилотом) соответствующего руководства.

В данной работе рассматривается использование СП (названных селектирующими СП) для выборки параметризованных объектов вида  $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$  из входного потока. В качестве основы математического аппарата выбраны А-сети, первоначально использованные в [9] для моделирования NCES-сетей. А-сети являются расширением СП в направлении повышения моделирующих возможностей за счет нагрузки дуг и усложнения правил разрешенности и срабатывания переходов, что позволяет эффективно представлять обработку целочисленных переменных.

Селектирующая сеть Петри определяется следующим кортежем:

$$(P, T, X, Y, Z, U, W_X, W_Y, W_Z, Q, A, G, m_0, T_F),$$

где  $P$  – конечное множество позиций;

$T$  – конечное множество переходов;

$X \subseteq P \times T$  – множество входных дуг переходов с порогом-минимумом (дуги с проверкой на “больше”);

$Y \subseteq T \times P$  – множество выходных дуг переходов;

$Z \subseteq P \times T$  – множество входных дуг переходов с порогом-максимумом (дуги с проверкой на “меньше”);

$U \subseteq (X \cup R) \times Y$  – отношение сопряженности дуг;

$W_X: X \rightarrow N_0 \times \{N_0 \cup all\}$  – функция весов дуг типа  $X$ ;

$W_Y: Y \rightarrow \{N^+ \cup *\} \times \{add, reset\}$  – функция весов дуг типа  $Y$ ;

$W_Z: Z \rightarrow N^+ \times \{N_0 \cup all\}$  – функция весов дуг типа  $Z$ ;

$Q: T \rightarrow N_0$  – функция приоритетов переходов. Должно выполняться ограничение  $\forall t_i, t_j \in T [Q(t_i) \neq Q(t_j)]$ . Это ограничение делает функционирование селектирующей СП детерминированным;

$A$  – множество параметров (атрибутов) объекта.

Обозначим

$\bar{A} = \bigcup_{a \in A} (a \times D^a)$  – пространство состояний параметров,

где  $D^a$  – домен параметра  $a$ ;

$G$  – множество сторожевых функций переходов.

Каждая функция  $g^t \in G$  определяется как

$$g^t : [\bar{A}] \rightarrow \{true, false\},$$

где  $[\bar{A}] = \prod_{a \in A} (\{a\} \times D^a)$  – множество кортежей, которые содержат все комбинации значе-

ний переменных, тегированных именами переменных;

$m_0$  – начальная маркировка;

$T_F \subseteq T$  – множество финальных переходов.

Срабатывание любого финального перехода свидетельствует об окончании выборки последовательности объектов.

Первый компонент веса дуги типа  $X$  указывает минимальный порог для срабатывания перехода, а второй – число удаляемых меток из инцидентной дуге позиции. Если второй компонент равен *all*, то из позиции удаляются все метки. В отношении дуги типа  $Y$ : первый компонент веса дуги в общем случае определяет число меток, добавляемых в инцидентную дуге позицию, в то время как второй компонент указывает режим добавления – с предварительным обнулением маркировки этой позиции (слово *reset*) или нет (слово *add*). Если первый компонент равен  $*$ , то число добавляемых в выходную позицию перехода меток вычисляется и зависит от маркировок определенных входных позиций этого перехода. Первый компонент веса дуги типа  $Z$  определяет максимальный порог для срабатывания перехода, а второй – число удаляемых меток из инцидентной дуге позиции.

Входной объект будет представляться следующим кортежем:

$$\bar{a} = ((a_1, v^{a_1}), (a_2, v^{a_2}), \dots, (a_n, v^{a_n}))$$

Переход  $t \in T$  разрешен при маркировке  $m$  и входном объекте  $\bar{a}$ , если  $g^t(\bar{a}) \wedge \forall p \in P[(p, t) \in X \rightarrow m(p) \geq pr_1(W_X(p, t)) \wedge (p, t) \in Z \rightarrow m(p) < pr_1(W_Z(p, t))]$ .

Иными словами, переход разрешен, если истинно сторожевое условие и имеется кон-  
цессия по меткам. Правила срабатывания переходов представлены в работе [11]. Следует от-  
метить, что сочетания весов дуг образуют некоторые паттерны дуг, имеющих собственную  
семантику – числовую дугу, безусловную и пороговую дугу сброса, тестирующую дугу с  
проверкой на “больше или равно”, ингибиторную дугу (дугу с проверкой на “меньше”), со-  
пряженные дуги для безусловного копирования/добавления/передвижения меток.

При проектировании систем управления промышленными процессами все большее  
применение находит стандарт МЭК 61499, основанный на использовании функциональных  
блоков (ФБ), управляемых событиями [10]. Для интеграции селектирующих СП с системами  
управления на основе ФБ ниже предлагается методика преобразования СП в системы ФБ, их  
реализующих. Основная идея методики заключается в реализации элементов СП – позиций и  
переходов в виде отдельных ФБ. ФБ-позиция хранит маркировку позиции (иначе, значение  
переменной), а также выполняет над ней элементарные операции сложения/вычитания и  
сброса в ноль. ФБ-переход определяет разрешенность перехода СП и управляет изменением  
маркировки соседних позиций при его срабатывании. Выполнением всей сетевой модели  
управляет ФБ-диспетчер.

Правило преобразования перехода селектирующей СП в ФБ приведено на рисунке 1.

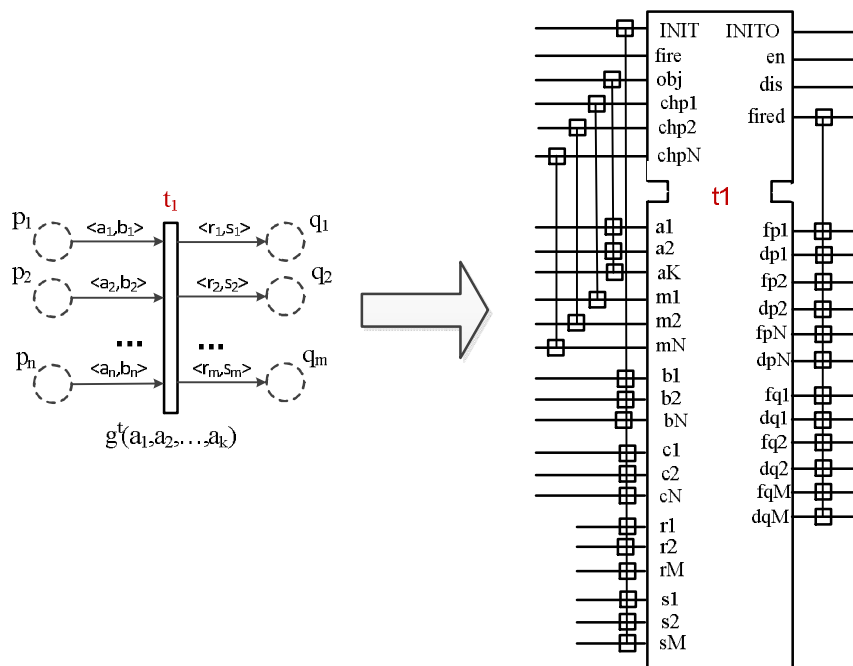


Рис. 1. Преобразование перехода А-сети в ФБ

Описание интерфейса этого ФБ следующее. *Событийные входы*: INIT – инициализация ФБ; fire – активизация (срабатывание) разрешенного перехода; obj – приход нового объекта; chp<sub>i</sub> – изменение маркировки позиции  $p_i$ . *Событийные выходы*: INITO – инициализация блока выполнена; en – переход стал разрешенным; dis – переход перестал быть разрешенным; fired – переход сработал. *Информационные входы*:  $a_k$  –  $k$ -й параметр входного объекта;  $m_i$  – (новая) маркировка позиции  $p_i$ ;  $b_i$  – первый компонент веса входной дуги из позиции  $p_i$ ;  $c_i$  – второй компонент веса входной дуги из позиции  $p_i$ ;  $r_i$  – первый компонент веса выходной дуги в позицию  $q_i$ ;  $s_i$  – второй компонент веса выходной дуги в позицию  $q_i$ . *Примечание*: входы типов b,c,r,s являются необязательными, поскольку они могут быть жестко заложены внутри ФБ (в алгоритмах обработки). Однако выведение их «наружу» позволяет строить самомодифицируемые системы (путем модификации этих параметров). *Информационные выходы*:  $fp_i$  – модификатор действия над маркировкой позиции  $p_i$ ;  $fq_i$  – модификатор действия над маркировкой позиции  $q_i$ ;  $dp_i$  – число удаляемых меток из позиции  $p_i$ ;  $dq_i$  – число добавляемых или назначаемых меток в позиции  $q_i$ . Значения модификатора действия над маркировкой: 0 – указанное число меток назначается в выходную позицию, причем она предварительно обнуляется; 1 – указанное число меток добавляются в выходную позицию в дополнение к существующим; 2 – указанное число меток удаляется из выходной позиции.

ФБ, моделирующий позицию, представлен на рис. 2,а.



Рис. 2. Функциональные блоки: а - ФБ-позиция; б - ФБ-диспетчер

*Событийные входы:* INIT – инициализация ФБ; CHNG – изменить маркировку позиции. *Событийные выходы:* INITO – инициализация блока выполнена; CNF – маркировка позиции изменена. *Информационные входы:* m0 – начальная маркировка позиции; f – модификатор действия над маркировкой позиции (установить, добавить, удалить); d – аргумент модификатора (сколько установить, добавить, удалить). *Информационный выход:* m – значение маркировки позиции.

ФБ-диспетчер представлен на рис. 2,б. *Событийные входы:* INIT – инициализация ФБ; en<sub>i</sub> – стал разрешенным сетевой переход t<sub>i</sub>; dis<sub>i</sub> – перестал быть разрешенным сетевой переход t<sub>i</sub>; exeObj – определить активный переход после прихода сигнала о новом объекте; exe<sub>i</sub> – определить активный переход после срабатывания перехода t<sub>i</sub>. *Событийные выходы:* INITO – инициализация блока выполнена; fire<sub>i</sub> – запустить (активировать) переход t<sub>i</sub>. *Информационный вход:* mode – стратегия запуска переходов в сетевой модели.

В диспетчере хранится текущий список разрешенных переходов. При поступлении сигнала с входа en<sub>i</sub> этот список пополняется переходом t<sub>i</sub>. При поступлении сигнала с входа dis<sub>i</sub> из этого списка удаляется переход t<sub>i</sub>. При приходе сигнала на вход типа exe диспетчер выбирает наиболее приоритетный разрешенный переход для срабатывания (активации), выдает на него сигнал запуска.

По сути дела система на основе селектирующих СП является реактивной и обрабатывает события прихода очередного объекта. При этом цепочка событий будет следующей. При приходе нового объекта заново вычисляются сторожевые условия в ФБ-переходах и статус перехода в целом, в диспетчер посылается сигнал на планирование запуска нового перехода. Для упрощения реализации предполагаем, что интервалы времени между поступлениями внешних сигналов о приходе нового объекта значительно больше, чем время выполнения ФБ. Следует заметить, что срабатывание какого-либо перехода может вызвать срабатывание цепочки других переходов, возможно не нагруженных сторожевыми условиями.

Срабатывание некоторого перехода, как правило, приводит к изменению маркировки соседних с ним позиций, что, в свою очередь, может повлиять на статус (разрешен/не разрешен) соседних с ними переходов. Только после завершения этого «переходного процесса» диспетчером может быть выбран новый переход для активации. Пример схемы, моделирующей данную ситуацию для частного случая, приведен на рисунке 3.

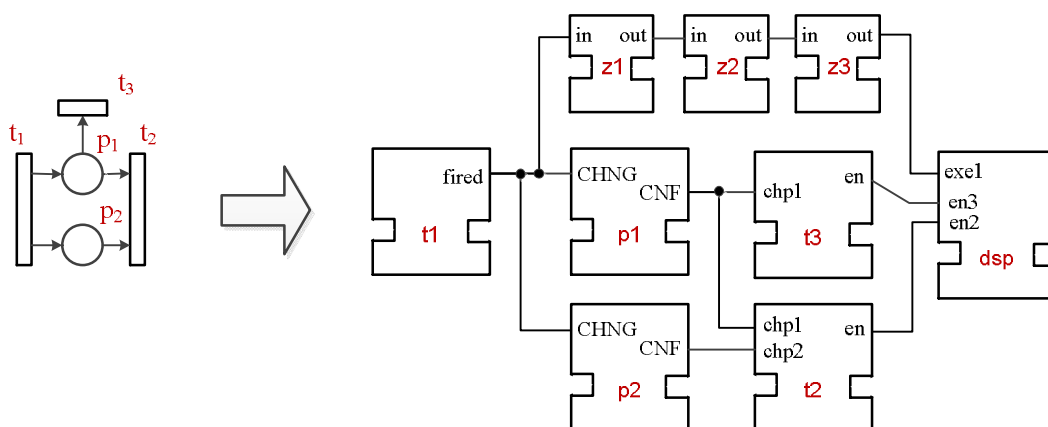


Рис. 3. Схема, моделирующая изменения в результате срабатывания перехода t1

Следует заметить, что на рисунке 3 представлены только событийные связи. Кроме того, не рассматриваются цепи деактивации перехода. Проблема срабатывания перехода заключается в том, чтобы сигнал на планирование срабатывания нового перехода поступал в диспетчер после того, как диспетчером будут получены все сигналы об изменении статусов переходов. Данную проблему синхронизации можно решить с использованием механизма

квотирования или с использованием реальных временных задержек, что, однако, значительно усложнит схему и уменьшит ее быстродействие. Кроме того, можно воспользоваться особенностями используемой модели выполнения ФБ. В нашем случае используется популярная модель выполнения *Buffered sequential execution model* (BSEM), принятая в коммерческой системе проектирования *NxtStudio*. Данная модель основана на использовании FIFO-очереди. Для задержки в планировании запуска некоторого ФБ будем использовать «пустые» ФБ  $z_1, z_2, z_3, \dots$ , функциональность которых заключается в передаче сигнала с входа на выход.

Ниже представлена последовательность очередей выполнения, начиная от начальной, для схемы на рисунке 3.

Элемент очереди представлен в виде пары  $\langle \text{ФБ.событийный вход} \rangle$ .

$(t1.*) \rightarrow (z1.in, p1.CHNG, p2.CHNG) \rightarrow (p1.CHNG, p2.CHNG, z2.in) \rightarrow (p2.CHNG, z2.in, t3.chp1, t2.chp1) \rightarrow$   
 $(z2.in, t3.chp1, t2.chp1, t2.chp1) \rightarrow (t3.chp1, t2.chp1, t2.chp1, z3.in) \rightarrow (t2.chp1, t2.chp1, z3.in, dsp.en3) \rightarrow$   
 $(t2.chp1, z3.in, dsp.en3, dsp.en2) \rightarrow (z3.in, dsp.en3, dsp.en2, dsp.en2) \rightarrow (dsp.en3, dsp.en2, dsp.en2, dsp.exe1).$

Как видно из последней очереди, сигнал *dsp.exe1* стоит в самом конце очереди, следовательно, порядок выполнения будет правильным – сначала занесение информации о разрешенных переходах, потом планирование нового активного перехода.

Направлением дальнейших исследований является доказательство корректности реализации при различных ситуациях, а также апробация метода на различных примерах. Кроме того, имеет смысл оценить ФБ-реализацию других моделей переходов состояний, например, обобщенных недетерминированных конечных автоматов, позволяющих производить контекстный поиск [11].

### Библиографический список

1. Дубинин В.Н., Сенокосов И.В., Вяткин В.В., Климкина Л.П. Преобразование автоматных спецификаций в функционально-блочную реализацию системы управления сортировкой последовательностей деталей // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. – 2017. – № 2. – С. 3-18.
2. Дубинин В.Н., Сенокосов И.В., Войнов А.С., Дроздов Д.Н., Вяткин В.В. Функционально-блочная реализация недетерминированных конечных автоматов // Труды Международной научно-технической конференции "Современные информационные технологии", Пенза, 2017, вып. 25. – С. 5-18.
3. Сенокосов И. В. Функционально-блочная реализация магазинных автоматов // Новые информационные технологии и системы (НИТиС 2017) : тр. XII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2017. – С. 45-49.
4. Cui T., Zeng Q., Zhang D. Recognition Algorithm Design and Complex Analysis for Languages of S-Nets // Information Technology Journal, N 10, 2011, pp. 106-112.
5. Ghanem N.; DeMenthon D.; Doermann D.; Davis L. Representation and Recognition of Events in Surveillance Video Using Petri Nets // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPRW '04), 2004.
6. Ortega F.R., Hernandez F., Barreto A., Rishe N.D., Adjouadi M., Liu S.. Exploring modeling language for multi-touch systems using Petri nets // Proc. 2013 ACM Int. Conf. on Interactive tabletops and surfaces (ITS '13). ACM, NY, USA, 2013, pp. 361-364.
7. Choppy C., Bertrand O., Carle P. Coloured Petri Nets for Chronicle Recognition // Int. Conf. on Reliable Software Technologies - Ada-Europe 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5570, Springer, pp 266-281.
8. Fernández V.R.; Pardo A.G.; Camacho D. Automatic Procedure Following Evaluation using Petri net-based Workflows // IEEE Transactions on Industrial Informatics ( Volume: PP, Issue: 99 ), DOI: 10.1109/TII.2017.2779177.
9. Дубинин В.Н. Асинхронное моделирование NCES-сетей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 2. – С. 3-14.
10. Vyatkin V. IEC 61499 Function Blocks for Embedded and Distributed Control Systems Design, Third Edition. – Instrumentation Society of America (ISA), 2016. – 261 p.
11. Баумгертнер, С. В. Обобщенные недетерминированные конечные автоматы / С. В. Баумгертнер, Б. Ф. Мельников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 64–74.

УДК 330.43; ГРНТИ 28.17.19.

## ЛИНЕЙНАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.А. Сосулин, И.П. Трофимова

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, sosulin45@mail.ru

*Аннотация.* Рассматривается процедура построения регрессионных моделей сложных объектов, структура которых может быть представлена в виде последовательности связанных блоков. Приводятся выражения, обеспечивающие оценку качества решения задачи идентификации.

*Ключевые слова.* Моделирование, регрессионный анализ, структура объекта.

## LINEAR PARAMETRICAL IDENTIFICATION OF THE COMPLEX STRUCTURED OBJECTS

Y.A. Sosulin, I.P. Trofimova

Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, sosulin45@mail.ru

*Abstract.* Procedure of construction regressions models of complex objects which structure can be submitted as sequence of the connected blocks is considered. The expressions providing an estimation of quality of the decision of a problem of identification are resulted.

*Keywords.* Modeling, regression analysis, the structure of the object.

Одной из задач экспериментально-статистического исследования сложных технических объектов и технологических процессов является задача линейной параметрической идентификации. Традиционно [1,2] эта задача решается обработкой, например, методом наименьших квадратов (МНК) результатов эксперимента с целью получения оценок  $\hat{\theta}$  неизвестных коэффициентов  $\theta$  регрессионной модели заданного вида:

$$y = \eta(x, \theta) + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $y$  – выходная величина объекта;

$x$  – вектор входных переменных объекта;

$\theta$  – вектор неизвестных коэффициентов модели;

$\eta$  – функция связи;

$\varepsilon$  – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Наблюдаемые значения выходной величины во всех опытах могут быть представлены следующей матричной формой:

$$y = F\theta + \varepsilon. \quad (2)$$

МНК – оценки  $\hat{\theta}$  вектора неизвестных коэффициентов  $\theta$  могут быть получены в соответствии со следующим выражением:

$$\hat{\theta} = (F^T F)^{-1} F^T y. \quad (3)$$

Здесь  $F$  – матрица значений функций – регрессоров, определяемых видом модели.

При соблюдении предпосылок классического регрессионного анализа получаемые таким образом оценки являются наилучшими в классе линейных оценок. При этом теоретический анализ свойств оценок (3) не ставит никаких ограничений на вид модели (1). Однако практическая реализация многомерного регрессионного анализа связана со сложностью регрессионной модели. Количество наблюдений, необходимое для решения задач линейной параметрической идентификации объекта, непосредственно связано с числом оцениваемых па-

раметров, которое в свою очередь зависит от размерности пространства входных факторов и вида аппроксимирующего полинома. Объемы затрат, связанных с планированием и проведением эксперимента, в ряде случаев делают практически невозможным построение регрессионной модели объекта в условиях большой размерности факторного пространства.

Рост размерности пространства входных факторов помимо увеличения экспериментальных затрат ведет к значительному усложнению вычислительной процедуры получения МНК-оценок коэффициентов регрессионной модели. Сама процедура оценивания становится численно неустойчивой в связи с увеличением размерностей участвующих в оценивании матриц, их плохой обусловленностью, появлением ошибок округления при вычислении обратной матрицы и т.п. Отсюда очевидна необходимость процедур параметрической идентификации, работоспособных в условиях большой размерности факторного пространства.

Эффективное решение проблемы многомерного оценивания параметров регрессионной модели может быть получено для объектов, которые физически состоят из совокупности блоков, связанных между собой промежуточными выходными величинами.

В работе предлагается методика построения регрессионных моделей объектов, структура которых представима в виде цепочки последовательно связанных блоков. Объект, состоящий, например, из двух блоков, может быть представлен следующей системой структурных регрессионных моделей:

$$\begin{aligned} y_1 &= \eta_1(x_1, a) + \varepsilon_1, \\ y_2 &= \eta_2(y_1, x_2, b) + \varepsilon_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $y_1, y_2 = y$  – выходные величины блоков;  
 $x_1, x_2$  – векторы входных переменных блоков;  
 $a, b$  – векторы структурных коэффициентов регрессионных моделей блоков объекта;  
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – ошибки, приведенные к выходам блоков.

В матричной форме система структурных моделей имеет вид:

$$\begin{aligned} y_1 &= F_1 a + \varepsilon_1, \\ y_2 &= F_2 b + \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь матрица  $F_1$  формируется на базе вектора  $x_1$  входных переменных первого блока, а матрица  $F_2$  – на базе вектора  $x_2$  входных переменных второго блока объекта и промежуточной выходной величины  $y_1$ .

Система структурных регрессионных моделей (5) относится к классу рекурсивных моделей. Это позволяет для получения оценок структурных коэффициентов регрессионных моделей блоков объекта использовать стандартный метод наименьших квадратов [1]. При этом получаются несмещенные и состоятельные оценки  $\hat{a}, \hat{b}$  структурных коэффициентов  $a$  и  $b$ . Данное обстоятельство позволяет получить несмещенные и состоятельные оценки коэффициентов  $\theta$  регрессионной модели общего вида (1) через полученные оценки структурных параметров. Требуемые оценки  $\hat{\theta}_s$  получаются при подстановке оценки  $\hat{y}_1$  первого структурного уравнения системы (4) во второе:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= \eta_1(x_1, \hat{a}), \\ \hat{y}_2 &= \eta_2(\hat{y}_1, x_2, \hat{b}). \end{aligned} \quad (6)$$

Для автоматизации процесса структурной параметрической идентификации, а также для анализа статистических свойств получаемых оценок, преобразования (6) должны быть

представлены в матричной форме. Оценки  $\hat{\theta}_s$  могут быть связаны с оценками  $\hat{a}, \hat{b}$  структурных коэффициентами  $a$  и  $b$  следующим матричным преобразованием:

$$\hat{\theta}_s = A\hat{b}. \quad (7)$$

Здесь  $A$  – матрица линейного преобразования, составленная из оценок  $\hat{a}$  структурных коэффициентов  $a$ , и сформированная на основе анализа взаимосвязи структурных моделей и модели стандартного вида.

Анализ эффективности получаемых оценок регрессионных коэффициентов, построение для них доверительных интервалов и проверка значимости требуют знания элементов дисперсионно-ковариационной матрицы этих оценок. Для оценок, получаемых непосредственной обработкой экспериментальных данных методом наименьших квадратов, эта задача решается автоматически. Для оценок  $\hat{\theta}_s$ , получаемых на основе структурных параметров, дисперсионно-ковариационная матрица формируется в соответствии с преобразованием (7).

В случае линейного вхождения промежуточной переменной  $y_l$  во второе уравнение системы (6), то есть при отсутствии взаимодействий переменной  $y_l$  с факторами группы  $x_2$ , воздействующими на второй блок объекта, и при условии отсутствия корреляции между оценками  $\hat{a}$  и  $\hat{b}$ , дисперсионно-ковариационная матрица оценок  $\hat{\theta}_s$  определяется следующим образом:

$$Cov(\hat{\theta}_s) = ACov(\hat{b})A^T + [\hat{b}_{y_1}^2 Cov(\hat{a})]^e + [\sigma^2(\hat{b}_{y_1})Cov(\hat{a})]^e, \quad (8)$$

где  $\hat{b}_{y_1}$  – значение оценки коэффициента при переменной  $y_l$  во втором уравнении системы (6);

$\sigma^2(\hat{b}_{y_1}^2)$  – дисперсия соответствующей оценки;

$Cov(\hat{a})$  и  $Cov(\hat{b})$  – ковариационные матрицы оценок структурных коэффициентов системы (6).

В случае присутствия в модели второго блока произведений переменной  $y_l$  и факторов группы  $x_2$ , то есть в случае нелинейности модели второго блока по переменной  $y_l$ , дисперсионно-ковариационная матрица оценок  $\hat{\theta}_s$  определяется следующим образом:

$$Cov(\hat{\theta}_s) = ACov(\hat{b})A^T + [V(\hat{b}_{y_1}) \otimes Cov(\hat{a})]^e + [Cov(\hat{b}_{y_1}) \otimes Cov(\hat{a})]^e, \quad (9)$$

$$V(\hat{b}_{y_1}) = \hat{b}_{y_1}^T \hat{b}_{y_1}.$$

Здесь  $Cov(\hat{b}_{y_1})$  – ковариационная матрица оценок коэффициентов при членах уравнения второго блока, содержащих промежуточную выходную величину  $y_l$ .

В матрицах вида [...] <sup>e</sup> предполагается дополнение снизу и справа нулевыми строками и столбцами кронекеровых произведений до размеров матрицы  $Cov(\hat{\theta}_s)$ .

Реализация предлагаемой процедуры структурной параметрической идентификации выполняется в соответствии со следующим алгоритмом.

1. Строится и реализуется план эксперимента для 1-го блока объекта. По результатам эксперимента вычисляются оценки структурных параметров модели блока.

2. Строится план эксперимента для  $j$ -го блока объекта ( $j=2, m$ ), содержащий значения величины  $y_{j-1}$ .



3. Реализуется план эксперимента на  $j$ -ом блоке, и вычисляются оценки параметров его структурной модели.

4. Определяются оценки параметров модели общей для  $j$  блоков объекта, а также соответствующие ковариационные матрицы.

5. Выполняется переход к следующему блоку объекта и все пункты, начиная со второго, повторяются.

Построение общей регрессионной модели объекта через структурные регрессии обеспечивает повышение устойчивости процедуры оценивания. Данное обстоятельство объясняется тем, что сложность структурных моделей блоков существенно ниже сложности общей регрессионной модели и оценивание структурных коэффициентов выполняется в факторных пространствах с размерностями меньшими, чем размерность факторного пространства исходной задачи. Кроме этого, при таком подходе возможно значительное уменьшение экспериментальных затрат, необходимых для построения общей модели объекта.

### Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 1998. — 248 с.

УДК 53.08.3

## МЕТОД КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ В ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОМ ДАТЧИКЕ

А.В. Васильев

корпорация Казахмыс,  
Казахстан, Балхаш, iv@granit.kz

*Аннотация.* В статье предлагается метод косвенного измерения сопротивлений тензорезисторов в тензометрическом датчике, недоступных для непосредственных измерений. Дается пример практического использования метода на тензодатчике СМІ А951. Метод может быть использован в практике диагностирования отказов тензометрических датчиков.

*Ключевые слова.* Тензометрический датчик, косвенные измерения тензорезисторов, диагностирование отказов тензодатчиков.

## THE INDIRECT METHOD OF MEASURING RESISTANCE OF STRAIN GAUGES IN THE STRAIN GAUGE SENSOR

A.V. Vasilev

Kazakhmys Corporation,  
Kazakhstan, Balkhash, iv@granit.kz

*Abstract.* The paper proposes a method for indirect measurement of resistance of strain gauges in a strain-gauge sensor that is not available for direct measurement. An example of the practical use of the method on the CMI A951 strain gauge is given. The method can be used in the practice of diagnosing failures of strain gauges.

*Keywords.* Strain gauge, indirect measurements of strain gauges, diagnosis of failure of the strain gauge

Метод позволяет определить сопротивления тензорезисторов в тензодатчике без его вскрытия, по измерениям сопротивлений между четырьмя выводами тензодатчика. Упрощенная электрическая схема тензометрического датчика выглядит следующим образом (рис.1) [1]:

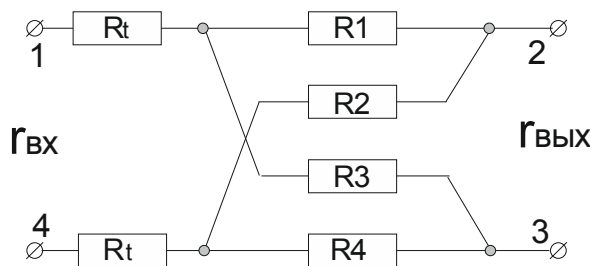


Рис. 1. Упрощённая электрическая схема тензометрического датчика

Здесь  $r_{вх}$  и  $r_{вых}$  – входное и выходное сопротивление тензометрического датчика (тензодатчика), приводится в сертификате на тензодатчик, проверяется омметром;

$R_1, R_2, R_3, R_4$  – тензорезисторы, образующие измерительный мост в тензодатчике,

$R_t$  – терморезисторы, осуществляющие функцию температурной компенсации тензодатчика.

Измерения омметром между выводами тензодатчика представим в виде следующих соотношений [2]:

$$1) r_{\dot{a}\dot{o}} = 2R_t + \frac{(R_1 + R_2) * (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 2R_t + \frac{R_1 * R_3 + R_1 * R_4 + R_2 * R_3 + R_2 * R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 2R_t + B + C + D + E;$$

$$2) r_{\dot{a}\dot{b}} = \frac{(R_1 + R_3) * (R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{R_1 * R_2 + R_1 * R_4 + R_2 * R_3 + R_3 * R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = A + C + D + F;$$

$$3) r_{12} = R_t + \frac{R_1 * (R_2 + R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + \frac{R_1 * R_2 + R_1 * R_3 + R_1 * R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + A + B + C;$$

$$4) r_{24} = R_t + \frac{R_2 * (R_1 + R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + \frac{R_1 * R_2 + R_2 * R_3 + R_2 * R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + A + D + E;$$

$$5) r_{13} = R_t + \frac{R_3 * (R_1 + R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + \frac{R_1 * R_3 + R_2 * R_3 + R_3 * R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + B + D + F;$$

$$6) r_{34} = R_t + \frac{R_4 * (R_1 + R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + \frac{R_1 * R_4 + R_2 * R_4 + R_3 * R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = R_t + C + E + F$$

Здесь  $r_{12}, r_{24}, r_{13}, r_{34}$  – омические сопротивления между выводами тензодатчика с номерами 1, 2, 3, 4 по рисунку;

$A, B, C, D, E, F$  – обозначения шести частных произведений  $A = \frac{R_1 * R_2}{\sum R_i}$ ,  $B = \frac{R_1 * R_3}{\sum R_i}$ ,

$C = \frac{R_1 * R_4}{\sum R_i}$ ,  $D = \frac{R_2 * R_3}{\sum R_i}$ ,  $E = \frac{R_2 * R_4}{\sum R_i}$ ,  $F = \frac{R_3 * R_4}{\sum R_i}$ , где  $i = \{1, 2, 3, 4\}$ .

В результате получаем систему из 6 линейных уравнений с 7 неизвестными. Эту недоопределённую систему линейных уравнений решим методом последовательных прибли-

жений. Первое приближение получим решением [3] системы линейных уравнений, считая  $R_t = 0$ . Тогда система линейных уравнений запишется в виде следующей матрицы:

| A | B | C | D | E | F | Результаты измерений |
|---|---|---|---|---|---|----------------------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | $r_{\text{вх}}$      |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | $r_{\text{вых}}$     |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | $r_{12}$             |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | $r_{24}$             |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | $r_{13}$             |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | $r_{34}$             |

После решения системы линейных уравнений получим величины A, B, C, D, E, F.

Теперь, из уже известных величин A, B, C, D, E, F, вычислим значения тензорезисторов  $R_1, R_2, R_3, R_4$  следующим образом. Из равенств

$$\Sigma R_i = \frac{R_1 * R_2}{A} = \frac{R_1 * R_3}{B} = \frac{R_1 * R_4}{C} = \frac{R_2 * R_3}{D} = \frac{R_2 * R_4}{E} = \frac{R_3 * R_4}{F}$$

найдем все возможные взаимосвязи между известными величинами A, B, C, D, E, F и неизвестными  $R_1, R_2, R_3, R_4$ :

|                                                                                                                 |                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\frac{\frac{R_1 * R_2}{A}}{\frac{R_1 * R_3}{B}} = \frac{R_2 * B}{R_3 * A} = 1; \quad R_2 = R_3 * \frac{A}{B};$ | $\frac{\frac{R_1 * R_2}{A}}{\frac{R_1 * R_4}{C}} = \frac{R_2 * C}{R_4 * A} = 1; \quad R_2 = R_4 * \frac{A}{C};$ |
| $\frac{\frac{R_1 * R_2}{A}}{\frac{R_2 * R_3}{D}} = \frac{R_1 * D}{R_3 * A} = 1; \quad R_1 = R_3 * \frac{A}{D};$ | $\frac{\frac{R_1 * R_2}{A}}{\frac{R_2 * R_4}{E}} = \frac{R_1 * E}{R_4 * A} = 1; \quad R_1 = R_4 * \frac{A}{E};$ |
| $\frac{\frac{R_1 * R_3}{B}}{\frac{R_1 * R_4}{C}} = \frac{R_3 * C}{R_4 * B} = 1; \quad R_3 = R_4 * \frac{B}{C};$ | $\frac{\frac{R_1 * R_3}{B}}{\frac{R_2 * R_3}{D}} = \frac{R_1 * D}{R_2 * B} = 1; \quad R_1 = R_2 * \frac{B}{D};$ |
| $\frac{\frac{R_1 * R_3}{B}}{\frac{R_3 * R_4}{F}} = \frac{R_1 * F}{R_4 * B} = 1; \quad R_1 = R_4 * \frac{B}{F};$ | $\frac{\frac{R_1 * R_4}{C}}{\frac{R_2 * R_4}{E}} = \frac{R_1 * E}{R_2 * C} = 1; \quad R_1 = R_2 * \frac{C}{E};$ |
| $\frac{\frac{R_1 * R_4}{C}}{\frac{R_3 * R_4}{F}} = \frac{R_1 * F}{R_3 * C} = 1; \quad R_1 = R_3 * \frac{C}{F};$ | $\frac{\frac{R_2 * R_3}{D}}{\frac{R_2 * R_4}{E}} = \frac{R_3 * E}{R_4 * D} = 1; \quad R_3 = R_4 * \frac{D}{E};$ |
| $\frac{\frac{R_2 * R_3}{D}}{\frac{R_3 * R_4}{F}} = \frac{R_2 * F}{R_4 * D} = 1; \quad R_2 = R_4 * \frac{D}{F};$ | $\frac{\frac{R_2 * R_4}{E}}{\frac{R_3 * R_4}{F}} = \frac{R_2 * F}{R_3 * E} = 1; \quad R_2 = R_3 * \frac{E}{F};$ |

Сгруппируем полученные взаимосвязи:

$$R1 = R2 * \frac{C}{E} = R2 * \frac{B}{D} = R3 * \frac{A}{D} = R3 * \frac{C}{F} = R4 * \frac{A}{E} = R4 * \frac{B}{F} - \text{три пары равенств};$$

$$R2 = R3 * \frac{A}{B} = R3 * \frac{E}{F} = R4 * \frac{A}{C} = R4 * \frac{D}{F} - \text{две пары равенств};$$

$$R3 = R4 * \frac{B}{C} = R4 * \frac{D}{E} - \text{одна пара равенств}.$$

Далее представим  $\sum R_i$  через  $R1$  и известные значения A, B, C, D, E, F:

$$\sum R_i = R1 + R2 + R3 + R4 = R1 + R1 * \frac{\frac{E}{C} + \frac{D}{B}}{2} + R1 * \frac{\frac{F}{C} + \frac{D}{A}}{2} + R1 * \frac{\frac{E}{A} + \frac{F}{B}}{2} = R1 * \left( 1 + \frac{\frac{E}{C} + \frac{D}{B} + \frac{F}{C} + \frac{D}{A} + \frac{E}{A} + \frac{F}{B}}{2} \right).$$

Аналогично представим  $\sum R_i$  через  $R2$ :

$$\sum R_i = R1 + R2 + R3 + R4 = R2 * \frac{\frac{B}{D} + \frac{C}{E}}{2} + R2 + R2 * \frac{\frac{F}{E} + \frac{B}{A}}{2} + R2 * \frac{\frac{F}{D} + \frac{C}{A}}{2} = R2 * \left( 1 + \frac{\frac{B}{D} + \frac{C}{E} + \frac{F}{E} + \frac{B}{A} + \frac{F}{D} + \frac{C}{A}}{2} \right).$$

Аналогично представим  $\sum R_i$  через  $R3$ :

$$\sum R_i = R1 + R2 + R3 + R4 = R3 * \frac{\frac{A}{D} + \frac{C}{F}}{2} + R3 * \frac{\frac{A}{B} + \frac{E}{F}}{2} + R3 + R3 * \frac{\frac{E}{D} + \frac{C}{B}}{2} = R3 * \left( 1 + \frac{\frac{A}{D} + \frac{C}{F} + \frac{A}{B} + \frac{E}{F} + \frac{E}{D} + \frac{C}{B}}{2} \right).$$

Аналогично представим  $\sum R_i$  через  $R4$ :

$$\sum R_i = R1 + R2 + R3 + R4 = R4 * \frac{\frac{B}{F} + \frac{A}{E}}{2} + R4 * \frac{\frac{D}{F} + \frac{A}{C}}{2} + R4 * \frac{\frac{B}{C} + \frac{D}{E}}{2} + R4 = R4 * \left( 1 + \frac{\frac{B}{F} + \frac{A}{E} + \frac{D}{F} + \frac{A}{C} + \frac{B}{C} + \frac{D}{E}}{2} \right).$$

Так как:  $\sum R_i = \frac{R1 * R2}{A} = \frac{R1 * R3}{B} = \frac{R1 * R4}{C} = \frac{R2 * R3}{D} = \frac{R2 * R4}{E} = \frac{R3 * R4}{F}$ , то получим

решение:

$$R1 * \left( 1 + \frac{\frac{E}{C} + \frac{D}{B} + \frac{F}{C} + \frac{D}{A} + \frac{E}{A} + \frac{F}{B}}{2} \right) = \frac{R1 * R2}{A}; \quad R2 = A * \left( 1 + \frac{\frac{E}{C} + \frac{D}{B} + \frac{F}{C} + \frac{D}{A} + \frac{E}{A} + \frac{F}{B}}{2} \right);$$

$$R2 * \left( 1 + \frac{\frac{B}{D} + \frac{C}{E} + \frac{F}{E} + \frac{B}{A} + \frac{F}{D} + \frac{C}{A}}{2} \right) = \frac{R1 * R2}{A} ; R1 = A * \left( 1 + \frac{\frac{B}{D} + \frac{C}{E} + \frac{F}{E} + \frac{B}{A} + \frac{F}{D} + \frac{C}{A}}{2} \right) ;$$

$$R3 * \left( 1 + \frac{\frac{A}{D} + \frac{C}{F} + \frac{A}{B} + \frac{E}{F} + \frac{E}{D} + \frac{C}{B}}{2} \right) = \frac{R3 * R4}{F} ; R4 = F * \left( 1 + \frac{\frac{A}{D} + \frac{C}{F} + \frac{A}{B} + \frac{E}{F} + \frac{E}{D} + \frac{C}{B}}{2} \right) ;$$

$$R4 * \left( 1 + \frac{\frac{B}{F} + \frac{A}{E} + \frac{D}{F} + \frac{A}{C} + \frac{B}{C} + \frac{D}{E}}{2} \right) = \frac{R3 * R4}{F} ; R3 = F * \left( 1 + \frac{\frac{B}{F} + \frac{A}{E} + \frac{D}{F} + \frac{A}{C} + \frac{B}{C} + \frac{D}{E}}{2} \right) ;$$

### Пример вычисления значений тензорезисторов у тензодатчика СМІ А951

Исходные данные для вычислений:

| Измеряемая величина              | $\Gamma_{ВХ}$  | $\Gamma_{ВЫХ}$ | $\Gamma_{12}$  | $\Gamma_{24}$ | $\Gamma_{13}$   | $\Gamma_{34}$ |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Цвет выводов у тензодатчика      | Красн,<br>Зел. | Бел,<br>Жёлт.  | Красн,<br>Бел. | Зел,<br>Бел.  | Красн,<br>Жёлт. | Зел,<br>Жёлт. |
| Результат измерения омметром ЦЗ4 | 410,5          | 352,2          | 286,8          | 300,1         | 286,8           | 300,1         |

Результаты вычислений первого шага:

| Вычисляемая величина                      | $R_t$ | R1     | R2     | R3     | R4     |
|-------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Результат расчёта величин тензорезисторов | 0     | 349,92 | 370,76 | 349,92 | 370,77 |

Проверка соответствия решения исходным данным:

| Измеряемая величина    | $\Gamma_{ВХ}$ | $\Gamma_{ВЫХ}$ | $\Gamma_{12}$ | $\Gamma_{24}$ | $\Gamma_{13}$ | $\Gamma_{34}$ |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Проверочные вычисления | 360,34        | 360,04         | 264,97        | 275,39        | 264,97        | 275,39        |

Для получения уточнения решения зададим величину  $R_t$  равной половине разнице между вычисленным значением  $\Gamma_{ВХ}$  и  $\Gamma_{ВХ}$ , полученным в результате измерений.

Далее скорректируем величины  $\Gamma_{12}$ ,  $\Gamma_{24}$ ,  $\Gamma_{13}$ ,  $\Gamma_{34}$  вычитанием из них значения  $R_t$ , а  $\Gamma_{ВХ}$  на величину  $2 * R_t$ . Затем повторяем расчёт системы линейных уравнений для скорректированных величин  $\Gamma_{ВХ}$ ,  $\Gamma_{12}$ ,  $\Gamma_{24}$ ,  $\Gamma_{13}$ ,  $\Gamma_{34}$ .

Результаты вычислений второго шага:

| Вычисляемая величина                      | $R_t$ | R1     | R2     | R3     | R4     |
|-------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Результат расчёта величин тензорезисторов | 25,1  | 340,67 | 366,19 | 340,67 | 366,19 |

Проверка соответствия решения исходным данным:

| Измеряемая величина    | $\Gamma_{ВХ}$ | $\Gamma_{ВЫХ}$ | $\Gamma_{12}$ | $\Gamma_{24}$ | $\Gamma_{13}$ | $\Gamma_{34}$ |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Проверочные вычисления | 403,63        | 352,97         | 283,68        | 296,44        | 283,68        | 296,44        |

Далее повторяем итерации до получения необходимой точности вычислений.

Результаты вычислений третьего шага:

| Вычисляемая величина                      | Rt    | R1     | R2     | R3     | R4     |
|-------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Результат расчёта величин тензорезисторов | 28,55 | 340,05 | 366,55 | 340,05 | 366,55 |

Проверка соответствия решения исходным данным:

| Измеряемая величина    | $\Gamma_{ВХ}$ | $\Gamma_{ВЫХ}$ | $\Gamma_{12}$ | $\Gamma_{24}$ | $\Gamma_{13}$ | $\Gamma_{34}$ |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Проверочные вычисления | 410,40        | 352,80         | 286,78        | 300,02        | 286,78        | 300,02        |

На этом дальнейшие уточнения решения можно прекратить. Отклонения вычисленных значений в десятые доли Ома, по сравнению с исходными данными для расчёта, вполне допустимы:

| Измеряемая величина              | $\Gamma_{ВХ}$ | $\Gamma_{ВЫХ}$ | $\Gamma_{12}$ | $\Gamma_{24}$ | $\Gamma_{13}$ | $\Gamma_{34}$ |
|----------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Результат измерения омметром Ц34 | 410,5         | 352,2          | 286,8         | 300,1         | 286,8         | 300,1         |
| Результат вычислений             | 410,40        | 352,80         | 286,78        | 300,02        | 286,78        | 300,02        |
| Отклонение                       | -0,1          | 0,6            | -0,23         | -0,075        | -0,23         | -0,075        |

Таким образом, мы получили результат косвенного измерения значений сопротивлений тензорезисторов, в тензодатчике СМІ А951:

| Rt    | R1     | R2     | R3     | R4     |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 28,55 | 340,05 | 366,55 | 340,05 | 366,55 |

По данным произведенных измерений тензодатчик исправен, так как  $R1 = R3$  и  $R2 = R4$ .

Примечание: Результаты измерения мультиметром не годятся в качестве исходных данных для проведения вычислений. Необходимая точность измерений величин  $\Gamma_{ВХ}$ ,  $\Gamma_{ВЫХ}$ ,  $r_{12}$ ,  $r_{24}$ ,  $r_{13}$ ,  $r_{34}$  – не менее 4 значащих цифр. Обычные мультиметры измеряют сопротивление с точностью в 3 знака.

Вычисления по этому методу выполняются автоматически в электронной таблице Excel [5]. Требуется только ручная корректировка величин  $\Gamma_{ВХ}$ ,  $\Gamma_{12}$ ,  $\Gamma_{24}$ ,  $\Gamma_{13}$ ,  $\Gamma_{34}$  для выполнения двух (трёх) шагов итераций.

### Библиографический список

1. Денисенко В. Датчики на основе тензорезисторов и принципы их применения в измерениях. Журнал СТА, №4, 2013.
2. Load cell system fault finding guide. Amalgamated Instrument CO PTY LTD. NSW 2077 Australia.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Издание девятое, М., «Высшая школа», 1996.
4. Д.К. Фаддеев, В.Н. Фаддеева. Вычислительные методы линейной алгебры. «Физматгиз», 1960.
5. Рональд У. Ларсен. Инженерные расчеты в Microsoft Office Excel. С.П., Издательский дом "Вильямс", 2004.

УДК 62-529; ГРНТИ 50.47.02

## ОБЗОР И АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ МАНИПУЛЯТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

**М.А. Папенков***Рязанский государственный радиотехнический университет,**Российская Федерация, Рязань, papenkovmaxim@gmail.com*

*Аннотация.* В данной статье произведен анализ кинематических схем манипуляторов промышленных роботов.

*Ключевые слова.* Промышленные манипуляторы, робототехника, промышленные роботы, автоматизация, автоматизированное производство.

## ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL OPPORTUNITIES OF MODERN INDUSTRIAL ROBOTS.

**M.A. Papenkov***Ryazan State Radio Engineering University,**Russian Federation, Ryazan, papenkovmaxim@gmail.com*

*Abstract.* This article analyzes the kinematic schemes of manipulators of industrial robots.

*Keywords.* Industrial manipulators, robotics, industrial robots, automation, computer-aided manufacturing.

### Введение

В настоящее время в производстве активно используются различные манипуляторы, которые предназначены для перемещения рабочего органа робота в пространстве. Управляющая электроника, манипулятор и рабочий орган образуют механизм, уникальные свойства которого позволяют выполнять ему широкий спектр функций в жизненном цикле изделия. Согласно ISO 8373-2014 [1] приведенный набор узлов является промышленным роботом.

Ключевая часть, обеспечивающая механические движения робота, — это манипулятор. Он состоит из последовательных сегментов, соединенных между собой, и способных перемещаться относительно друг друга. [1]

В последнее десятилетие получили распространение многокомпонентные, многостепенные испытательные установки, имеющие программно управляемые механизмы с большим числом степеней свободы. Они способны воспроизводить псевдослучайные и комбинированные законы изменения линейных и угловых перемещений в широком диапазоне. [2]

Современные манипуляторы широко применяются для различных операций: от простой фасовки до аддитивного построения изделия, лазерной гравировки и поверхностного монтажа радиоэлектронных компонентов. Однако разные виды конструкций испытывают ограничения при выполнении определенных работ. Например, манипулятор для 3D-принтера и фрезерного ЧПУ-станка построены по одной и той же кинематической схеме может не подойти, так как во втором случае рабочий орган будет испытывать значительные нагрузки.

Ведущими странами в разработке и проектировании универсальных манипуляторов являются такие страны как Япония, США и Германия. Развитие данного направления в России отстает на десятилетия.

Целью данной работы является анализ обзора существующих кинематических схем манипуляторов для выбора перспективного варианта с точки зрения себестоимости и функционала.

### Классификация кинематических схем промышленных манипуляторов

Конструкция манипулятора выбирается на самых ранних этапах проектирования, так как именно от вида кинематической схемы зависят его система координат, свойства функционирования и рабочее пространство. [1]

Принято выделять кинематические схемы последовательного и параллельного вида. К основным кинематическим схемам последовательного типа относятся: цилиндрический и шарнирный манипуляторы.

Цилиндрический манипулятор характеризуется наличием одного вращательного и одного призматического соединения. Оси такого манипулятора образуют цилиндрическую систему координат. Достоинство данной конструкции заключается в обеспечении больших угловых ускорений за счет использования сферических сочленений. Данный вид манипуляторов поддерживает множество алгоритмов проектирования, что позволяет его применять в построении широкого спектра промышленных роботов. Недостатком конструкции является отсутствие возможности в функционировании с большими нагрузками на рабочем органе промышленного робота. Проектирование манипулятора с большими степенями свободы на базе предложенной кинематической схемы приводит к усложнению конструкции. Основное применение цилиндрического манипулятора - это проектирование устройства с малой грузоподъемностью и скоростными перемещениями (например, 3D-принтеры или лазерные граверы).

Шарнирный манипулятор характеризуется тремя и более вращательными соединениями и использует полярную систему координат. Конструкция является наиболее распространенной и используется как основа для проектирования многоцелевого промышленного робота. Достоинство данной конструкции заключается в большом рабочем пространстве и широкой мобильности управления. Однако в таком манипуляторе невозможно добиться большой точности позиционирования без применения систем датчиков, которые корректируют местоположение исполнительного органа. Робот, построенный по шарнирной кинематической схеме, рекомендуется использовать для работ по перемещению и фасовки изделий, так же в области сварки и управления качеством.

На данный момент перспективней всего выглядят манипуляторы, проектируемые по схеме с параллельной структурой, в которой используется от двух и более кинематических цепей, а исполнительное звено является их пересечением. Схематичное изображение манипулятора с параллельной структурой показано на рисунке 1.

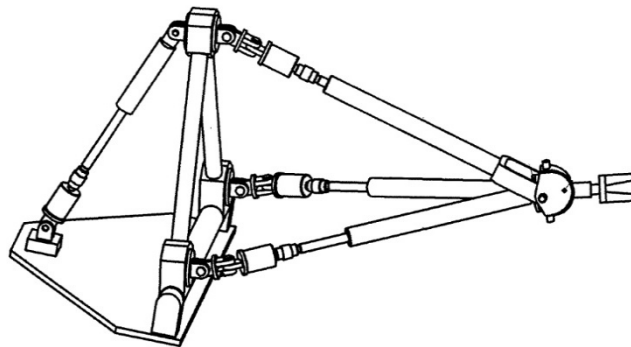


Рис. 1. Схематичное изображение манипулятора с параллельной структурой [3]

Конструкция манипулятора с параллельной структурой устроена таким образом, что все кинематические цепи работают на растяжение — сжатие. Это обеспечивает равномерное распределение нагрузки и, как следствие, высокую жесткость конструкции.

Существенным преимуществом данных манипуляторов является то, что положение рабочего органа менее чувствительно к ошибке позиционирования, поскольку она не накапливается, а усредняется на каждом приводе кинематической цепи [2]. Основным недостатком данного манипулятора является пересечение кинематических цепей в исполнительном меха-



низме, формирующее рабочее пространство со «слепыми» областями, в которых рабочий орган не способен адекватно выполнять свои функции.

В работе [4] предложен манипулятор, имеющий шесть степеней свободы, с нижней неподвижной и верхней подвижной платформой. Особенностью данного решения является применение механизма имеющего кривошипно-шатунную структуру, использование обратной задачи о положении и построение обобщенной системы координат на базе углов наклона кривошипов (рис. 2 а). Конструкция, продемонстрированная в данной работе, является высокоэффективной и обеспечивает большое рабочее пространство с малой областью «слепых» областей (рис. 2 б).

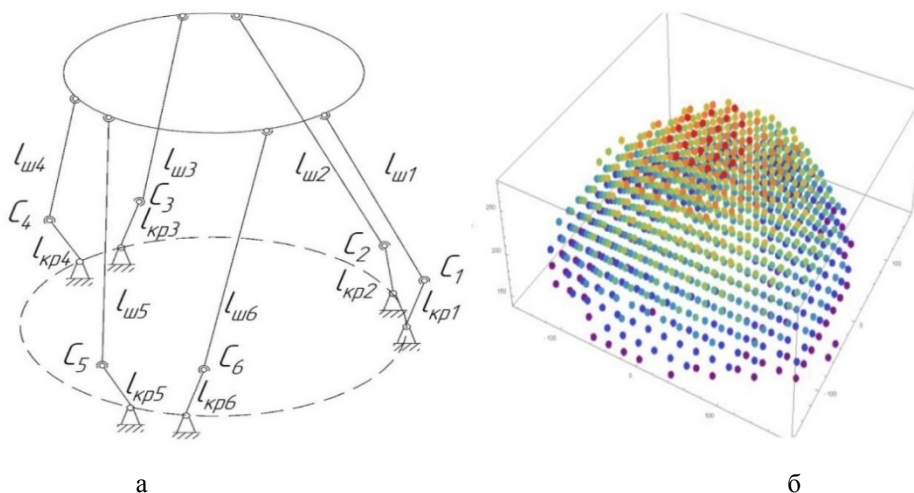


Рис. 2. Кинематическая схема манипулятора с параллельной структурой, обеспечивающего шесть степеней свободы (а), рабочее пространство (б). [3]

В работе [5] был исследован манипулятор с параллельной структурой, у которого все линейные приводы расположены в горизонтальной плоскости (рис. 3 а). Данное решение позволяет упростить конструкцию основания, т.к. все приводы расположены в горизонтальной плоскости, а все сочленения имеют вращательный характер, что увеличивает технологичность конструкции. Трехмерный объект, по которому можно оценить примерную форму и габаритные размеры рабочего пространства манипулятора приведены на рис. 3 б.

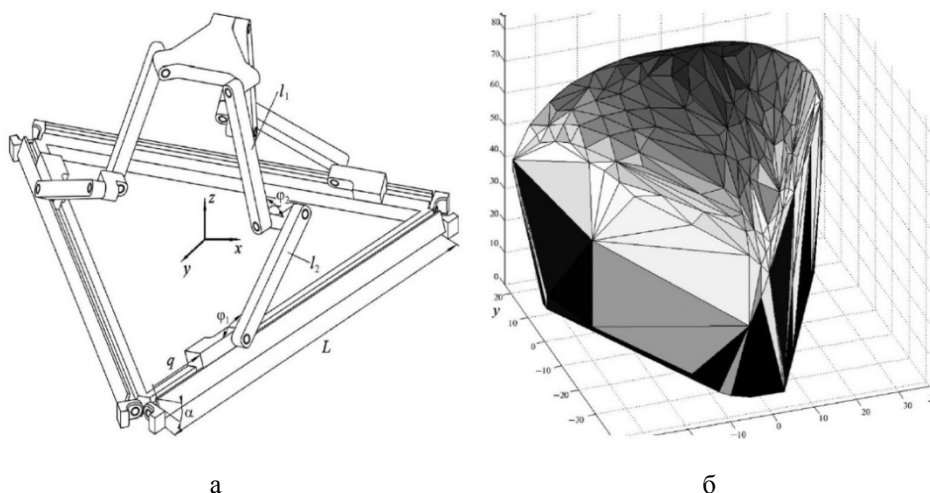


Рис. 3. Вид конструкции манипулятора с параллельной структурой с линейными приводами, расположенными в горизонтальной плоскости (а) и рабочее пространство (б). [4]

### Заключение

В ходе работы были рассмотрены четыре типовые конструкции манипуляторов промышленных роботов, две из которых относятся к последовательным кинематическим схемам, а остальные к параллельным. Наиболее перспективной кинематической схемой является манипулятор параллельной структурой с применением механизма, имеющего кривошипно-шатунную структуру и обеспечивающий шесть степеней свободы. Данный манипулятор выглядит наиболее перспективным, так как с его помощью возможно реализовать робота с большим рабочим пространством, исключая большое влияние «слепых» зон.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 8373-2014. Национальный стандарт Российской Федерации роботы и робототехнические устройства. Термины и определения — Введ. 2016-01-01.— М.: Стандартиформ, 2015.— 30 с.
2. Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, 2014, no. 3, pp. 37-43. (English version of journal: Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2014, vol. 43, iss. 3, pp. 211-216.
3. Пат. Российская Федерация, В66С 23/44. Манипулятор-трипод параллельно-последовательной структуры / Воробьева Н.С.; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный аграрный университет.— № 2616493; опубл. 27.06.2003 — 3 с.
4. Пащенко В.Н. Построение рабочей зоны шестистепенного манипулятора параллельной структуры на базе кривошипно-шатунного механизма // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/142TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/142TVN316.
5. Козырев, А. В. Манипулятор параллельной структуры для поступательных перемещений с приводами, установленными на основании [Текст] / А.В. Козырев, Глазунов В.А.// Расчет и конструирование машин.— 2013.—№7. - С.8.

УДК 004.942; ГРНТИ 28.17.19

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ МЕКАНУМ-РОБОТА С УЧЕТОМ ПРЕПЯТСТВИЙ

А.Е. Винник, Н.Ю. Хабибулина

*Томский государственный университет систем управления радиотехники  
Россия, Томск, [evg2v@mail.ru](mailto:evg2v@mail.ru)*

*Аннотация.* Приведены результаты моделирования процесса движения четырехколесного механум-робота с использованием метода тангенциального избегания и алгоритма быстрого исследования случайного дерева.

*Ключевые слова.* Механум-робот, метод тангенциального избегания, алгоритм быстрого исследования случайного дерева.

## MODELING OF THE MECANUM-ROBOT MOVEMENT PROCESS WITH THE OBSTACLES

A.E.Vinnik, N.Yu. Khabibulina

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
Russia, Tomsk, [evg2v@mail.ru](mailto:evg2v@mail.ru)*

*Abstract.* The results of modeling the motion of a four-wheeled mecanum-robot using the method of tangential avoidance and the algorithm for rapidly exploring random tree are presented.

*Keywords.* Mecanum-robot, tangential avoidance method, rapidly exploring random tree, RRT algorithm.

### Введение

В статье рассматривается теоретико-механическая модель многоколесного мобильного робота на механум-колесах. Использование механум-колес в работе обусловлено тем, что

данные колеса позволяют двигаться в любом направлении по плоской или неровной поверхности. Следовательно, не требуется использовать сложные рулевые механизмы, что в свою очередь может упростить синтез управления движением робота.

### Управление механум-роботом

Рассматривается модель четырехколесного механум-робота, колеса которого расположены в 2 ряда вдоль стороны прямоугольного корпуса. Для решения задачи управления движением робота до заданной точки выбран метод тангенциального избегания [1], так как данный метод рассчитан на вычисление линейной и угловой скорости робота в заранее неизвестном пространстве или в пространстве с динамически меняющимся окружением.

Математическая модель робота описывается следующим образом (рис.1):

$$\begin{cases} \dot{\rho} = -v \cos \alpha, \\ \dot{\alpha} = -\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho}, \\ \dot{\theta} = v \frac{\sin \alpha}{\rho}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\rho$  – дистанция до цели;  
 $v$  – линейная скорость робота;  
 $\omega$  – угловая скорость робота;  
 $\theta$  – угол между осью  $Ox$  и направлением на цель;  
 $\alpha$  – курсовой угол, разность между курсом робота и углом  $\theta$ ;  
 $\psi$  – курс робота.

При таком описании математической модели, следует, что полностью управлять роботом можно с помощью изменения значений угловой и линейной скоростей, поэтому следует найти такие их значения, при которых достигаются условия  $\rho \rightarrow 0$  и  $\alpha \rightarrow 0$ . Для этого воспользуемся функцией Ляпунова в виде:

$$V(\rho, \alpha) = \frac{1}{2} \rho^2 + \frac{1}{2} \alpha^2, \quad (2)$$

а производная по времени

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = \rho \dot{\rho} + \alpha \dot{\alpha} \quad (3)$$

не должна быть положительна.

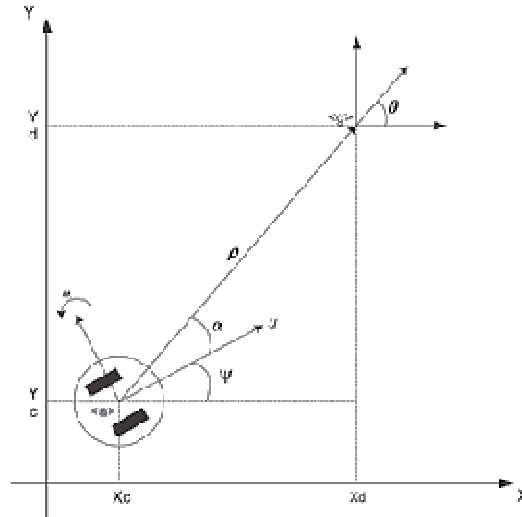


Рис. 1.

Выразим производную (3) через модель (2):

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = -\rho v \cos \alpha + \alpha \left( -\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho} \right) \quad (4)$$

В качестве управляющего воздействия выберем следующие значения скоростей:

$$\begin{cases} v = v_{\max} \tanh(\rho) \cos \alpha, \\ \omega = k_{\omega} \alpha + v_{\max} \frac{\tanh(\rho)}{\rho} \sin \alpha \cos \alpha, k_{\omega} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Управление движением колес механум-робота осуществляется путем регулирования угловой скорости вращения каждого колеса. Для получения данных значений воспользуемся расчетными формулами для каждого колеса:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{r} (v_x - v_y - (l_x + l_y) \omega), \\ \omega_2 = \frac{1}{r} (v_x + v_y + (l_x + l_y) \omega), \\ \omega_3 = \frac{1}{r} (v_x + v_y - (l_x + l_y) \omega), \\ \omega_4 = \frac{1}{r} (v_x - v_y + (l_x + l_y) \omega). \end{cases} \quad (6)$$

В процессе своего движения робот может попасть в тупик. Чтобы справиться с данной проблемой было принято решение строить карту местности в процессе движения. Для ускорения поиска маршрута до заданной точки используется алгоритм быстрого исследования случайного дерева (RRT) [2].

### Моделирование процесса движения робота

Моделирование процесса движения проводится в программном продукте, позволяющем симулировать поведение робота в закрытом пространстве с возможностью появления препятствий в процессе движения робота. В качестве языка разработки программы был выбран высокоуровневый язык программирования Python. Данный программный продукт позволяет симулировать движение робота к целевой точке при отсутствии препятствий, при наличии статических препятствий и при динамически добавляющихся препятствиях.

Рассмотрим решение задачи движения робота к целевой точке при отсутствии препятствий. При решении данной задачи были поставлены следующие условия: известны размеры поля; известно место начала движения; по краям поле огорожено стенами; считаем, что обнаруженный объект, имеющий цвет, является целевой точкой; известны угол обзора дальномера и его дальность, которые можно менять.

В момент каждого тика движения робот опрашивает датчик на наличие объекта перед ним. Если объекта или препятствия не было обнаружено, то робот движется вперед по направлению обзора. В случае, когда датчик сигнализирует о наличии объекта, происходит вычисление расстояния и направления до объекта. Затем на основе полученных данных вычисляется угловая и линейная скорость робота и формируется управляющее воздействие. Если датчик сигнализирует о наличии препятствия, то при приближении к нему на некоторое расстояние происходит поворот направо.

Процесс обнаружения объекта и дальнейшее сближение с ним, продемонстрирован на рисунках 2 – 4.

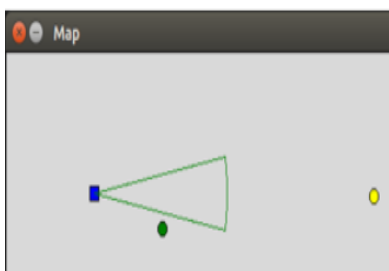


Рис. 2. Начало движения робота



Рис. 3. Обнаружение объекта



Рис. 4. Приближение к объекту

Рассмотрим решение задачи движения робота к целевой точке при наличии статических препятствий. Для решения поставленной задачи добавим следующее условие: поле имеет статические препятствия. Алгоритм движения робота в данной задаче схож с представленным выше алгоритмом. Различием будет лишь тот факт, что поле имеет дополнительные ограничения свободного пространства в виде статических препятствий. Симуляция движения продемонстрирована на рисунках 5-7.

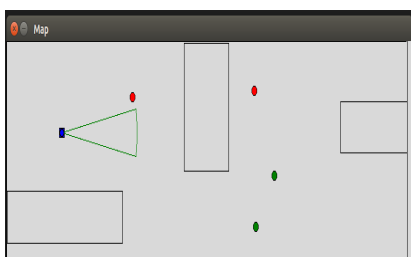


Рис. 5. Начало движения робота

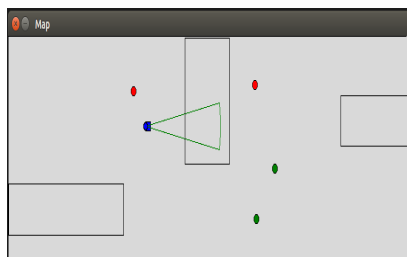


Рис. 6. Обнаружение объекта

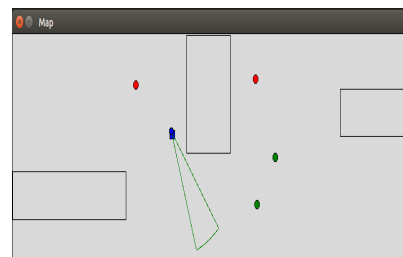


Рис. 7. Поворот робота

В результате данного эксперимента было доказано, что робот при обнаружении

препятствия воспринимает его как стену и начинается двигаться в другом направлении согласно заданному управлению. Следовательно, алгоритмы работают не только для стен, располагающихся по периметру поля, но и для стен или препятствий, находящихся на самом поле.

Рассмотрим решение задачи движения робота к целевой точке при динамически добавляющихся препятствиях. Условия данной задачи: известны размеры поля; известно место начала движения; поле огорожено стенами; на поле могут находиться как уже созданные препятствия, так и динамически добавляющиеся препятствия на пути следования робота к целевой точке; обнаруженный объект, имеющий цвет, является целевой точкой; известны угол обзора дальномера и его дальность, которые можно менять. Базовые принципы движения робота были описаны при решении предыдущих двух задач. Координаты целевой точки, её удаленность от текущего положения робота, являются известными величинами. В момент возникновения препятствия между роботом и целевой точкой, происходит резкое изменение показаний с датчика, которые отличны от расстояния до целевой точки. Так как размеры препятствия являются неизвестными величинами, то построение дерева происходит в некой ограниченной области от текущего местоположения робота. После того как дерево построено, алгоритм ищет путь, который сокращает дистанцию до целевой точки. Симуляция данного движения отображена на рисунках 8 – 13.

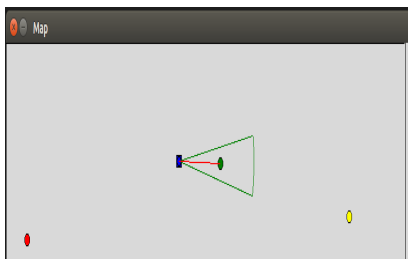


Рис. 8. Следование к обнаруженному объекту

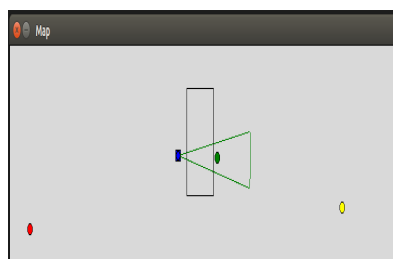


Рис. 9. Добавление препятствия

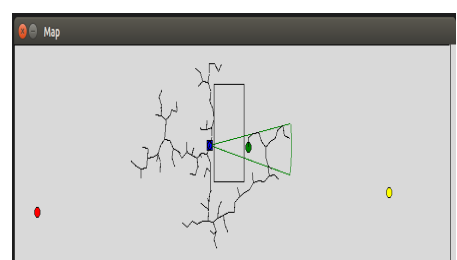


Рис. 10. Построение дерева

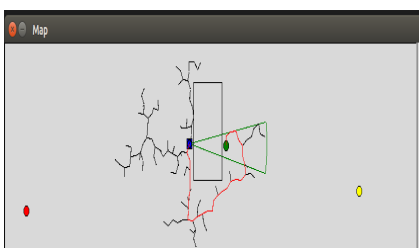


Рис. 11. Поиск пути

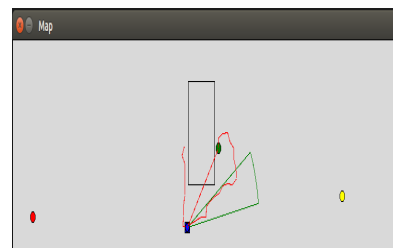


Рис. 12. Движение по траектории

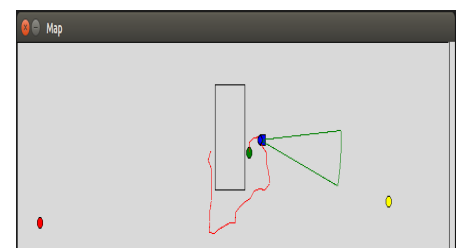


Рис. 13. Продолжение движения

## Заключение

Результаты проведенной симуляции свидетельствуют о том, что алгоритмы построения дерева, поиска кратчайшего пути, следования по найденному пути работают корректно. Однако, как можно заметить, найденный путь является не оптимальным и в процессе расчета траектории движения робота не происходит поправок на формат-фактор самого робота. Данные проблемы являются задачами для дальнейшего рассмотрения.

**Библиографический список**

1. André Ferreira; Flávio Garcia Pereira, Raquel Frizera Vassallo, Teodiano Freire Bastos Filho, Márcio Sarcinelli Filho. An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Espírito Santo - Av. Fernando Ferrari, 514 - 29.075-910 Vitória, ES, Brazil [Электронный ресурс]. URL: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592008000400003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592008000400003&script=sci_arttext) (дата обращения: 15.01.2018)
2. Jauwairia Nasir, Fahad Islam, Usman Malik, Yasar Ayaz, Osman Hasan, Mushtaq Khan, Mannan Saeed Muhammad. RRT\*-SMART: A Rapid Convergence Implementation of RRT\*. International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 10, 299:2013. Moslehpour, K. Jenab, E. H. Siliveri, Design and Implementation of NIOS II System for Audio Application, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 5, October 2013.

УДК 658.8.031.2; ГРНТИ 71.01.85

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**А. Рогачиков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, timonus95@yandex.ru*

*Аннотация.* Данная работа посвящена построению концепции системы автоматизированного расчета себестоимости продукции малого предприятия, работающего в сфере экструзии пластиков

*Ключевые слова.* АИС, база данных, производство, экструзия ПВХ

## **AUTOMATED SYSTEM OF CALCULATION OF COSTS OF PRODUCTION OF A SMALL ENTERPRISE**

**A. Rogachikov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, timonus95@yandex.ru*

*Annotation.* This work is devoted to the construction of a logical scheme of an automated information system of a small enterprise working in the field of plastic extrusion

*Keywords.* AIS, database, production, PVC extrusion

Любое предприятие, выпускающее продукцию мелкими сериями или по индивидуальным заказам, сталкивается с задачей расчета себестоимости изделия. При этом необходимо учитывать ряд факторов, связанных с конструктивными особенностями изделия, особенностями технологического процесса изготовления изделия, стоимостью трудовых затрат и прочих расходов.

Объектом настоящего исследования является малое предприятие, осуществляющее производство широкой номенклатуры профильных изделий для бытовой техники, промышленных холодильников, холодильных витрин, медицинских шкафов, термостатов, душевых кабин, металлических и деревянных дверей, дверей саун, тепловых шкафов, пластиковых окон, натяжных потолков и автомобильной промышленности.[1]. Общая номенклатура производимых изделий содержит более 100 видов профилей.

Технологический процесс изготовления экструдированных изделий весьма специфичен. Экструзия – технологический процесс, при котором гранулы или порошки полимеров расплавляются и под большим давлением непрерывно продавливаются через формовочные устройства (фильеры, экструзионные головки) с целью получения требуемой формы изделия (его поперечного сечения). Основным технологическим оборудованием для переработки полимеров в изделия методом экструзии являются экструдеры. [2]



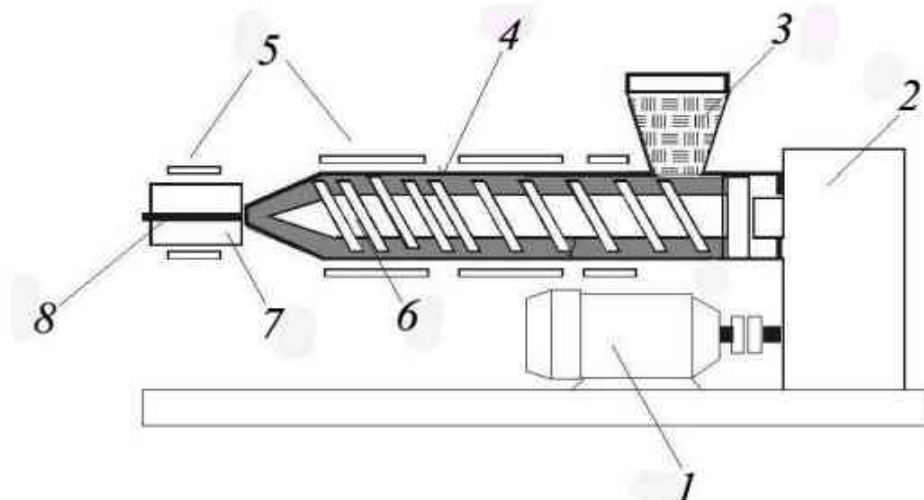


Рис. 1. Одношнековый экструдер: 1 – электродвигатель; 2 – ременная передача привода шнека, редуктор; 3 – загрузочный бункер; 4 – гильза (цилиндр) экструдера; 5 – нагревательные элементы; 6 – шнек; 7 – формующая головка экструдера; 8 – выходное изделие

Головка экструдера – это съёмный технологический инструмент, предназначенный для оформления экструдированного расплава в погонажное изделие, конфигурация поперечного сечения которого определяется геометрией формующего канала (фильеры). [3]

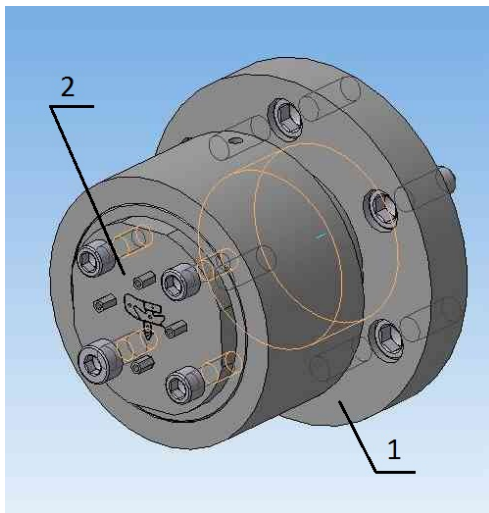


Рис.2. Головка экструдера

Конструкции формовочных головок могут быть различными, однако можно выделить несколько неизменных частей : корпус головки для ее присоединения к гильзе экструдера (поз.1 на рис.2), фильера (поз.2 на рис.2), кольцевые нагревательные элементы.

Непосредственно перед входом в формовочную головку, устанавливается комплект фильтрующих сеток из нержавеющей стали с мелким диаметром ячейки, предназначенный для очистки расплава полимера от различного мусора, различных твердых частиц, попадающих в сырьё при его производстве и транспортировке.

Кроме экструдеров, в производстве различных изделий из пластмасс используется большое количество основного и вспомогательного оборудования. К нему относятся калибраторы, ванны охлаждения, тянущие устройства, пилы, гильотины, и так далее. Все перечисленные блоки составляют экструзионную линию.

Таким образом, подготовка экструдера к выпуску изделия включает в себя установку новых фильтрующих сеток, соответствующей фильеры, сборку головки, установку и подключение калибратора, прогрев экструдера до рабочих температур сырья, установку необходимых параметров работы вспомогательного оборудования. Кроме того, за время запуска и наладки, профиль отбраковывается до момента достижения им всех требуемых размеров. В дальнейшем этот брак дробится, а затем используется в производстве в качестве вторичного сырья.

При остановке экструдера, необходимо вычистить бункер, выгнать из цилиндра всё сырьё, разобрать головку, снять фильеру, выбросить использованные фильтрующие сетки.



Далее можно начинать обратную сборку для выпуска другого изделия. При переходе от выпуска одного вида профиля к другому, на время замены фильеры и фильтрующих сеток, питание экструдера отключается, поэтому перед началом выпуска следующего профиля также требуется некоторое время для достижения всеми зонами гильзы и головки рабочих температур.

Поскольку предприятие осуществляет продажу не только отрезков профиля заданной длины, но и сваренные по заданным размерам уплотнительные рамки, то при выполнении заказа могут требоваться дополнительные технологические операции: раскрой профиля и магнитной вставки с в соответствии с геометрией изделия, последующая термическая сварка углов уплотнителя, индивидуальная упаковка.

Затраты на данные процедуры входят в себестоимость изделия. Очевидно, что расчет себестоимости заказа в таком специфичном производстве – довольно утомительная и долгая процедура. Наиболее оптимальным режимом работы экструзионного производства является непрерывный выпуск изделий одного профиля на каждом из экструдеров. Такой режим позволит минимизировать потери электроэнергии, время простоя, трудозатраты. Однако поскольку предприятие является малым и не имеет большого количества производственных мощностей, но имеет широкий ассортимент продукции – остановка и перенастройка экструдеров необходима.

Предлагается алгоритм, позволяющий автоматизировать процесс расчета себестоимости заказанного изделия. Ниже приведен перечень основных модулей процедуры расчета себестоимости изделия.

Для изделий, реализующихся в виде отрезков профиля определенной длины входят:

- стоимость используемого сырья;
- масса профиля на единицу длины;
- длина заказанного профиля;
- количество добавляемого к сырью красителя и его стоимость;
- стоимость упаковки;
- заработная плата сотрудников цеха;
- расходы электроэнергии при настройке и выпуске профиля;
- прочие расходы.

Затраты на заработную плату входят в себестоимость заказа как усредненный показатель. При расчетах, общая заработная плата всех сотрудников цеха делится среднее значение длины всех выпущенных профилей за несколько месяцев. Прочие расходы включают в себя стоимость двустороннего скотча, который клеится на профили в соответствии с заказом, затраты электроэнергии на прогрев экструдеров (показатель рассчитывается исходя из типа экструдера и его среднего времени прогрева), переработку бракованных профилей.

Для изделий, реализующихся в виде сваренных уплотнительных рамок, себестоимости добавляются :

- сдельная заработная плата сотрудников сварочного цеха;
- затраты на раскрой профиля в соответствии с геометрией изделия;
- вместо длины профиля используется периметр уплотнителя с учетом прибавки размера на оплавку при сварке;
- себестоимость и длина магнитной вставки (исходя из периметра);
- затраты электроэнергии при работе сварочного оборудования.

Сдельная заработная плата варьируется исходя из сложности сварки конкретного профиля и размеров конечного изделия, поскольку с более длинными уплотнителями тяжелее работать. Затраты электроэнергии на сварку рассчитываются исходя из среднего количества сваренных уплотнителей за единицу времени. Раскрой материала осуществляется либо на специализированном оборудовании, при наличии оснастки под конкретный профиль, либо вручную, что требует доплат сотрудникам.

Предложенный алгоритм работает в рамках автоматизированной информационной системы предприятия. При дальнейшем усовершенствовании системы, планируется ввести автоматизированный учет наличия сырья и складских запасов профилей, группировку заказом по профилям, цвету и марке сырья, что позволит облегчить планирование производства.

### Библиографический список

1. Компания Профиль-Р[Электронный ресурс] URL: <http://profilr.ru> – (дата обращения 05.02.2018)
2. Литвинцев Ю.И., Бурындин В.Г., Пономарев А.П. Технологическое оборудование для переработки пластмасс методом экструзии: учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015.
3. Ю.И. Литвинцев. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией: ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, 2010.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

## СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**В.В. Белов\*, А.К. Лопатин\*\***

*\*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, vvbeloff@yandex.ru*

*\*\*Государственный социально-гуманитарный университет,  
Россия, Коломна, ak\_lopatin@mail.ru*

*Аннотация.* В работе рассматривается структура системы оптического контроля качества изготовления объекта. Предлагается первичный набор правил, определяющих процедуру контроля, иерархию признаков, используемых для осуществления вывода о качестве.

*Ключевые слова.* Оптический контроль, обработка изображений, морфометрические признаки.

## OPTICAL CONTROL SYSTEM FOR THE RAILWAY PARTS' MANUFACTURE QUALITY

**V.V. Belov\*, A.K. Lopatin\*\***

*\*Ryazan state radioengineering university,  
Russia, Ryazan, vvbeloff@yandex.ru*

*\*\*State university of humanities and social studies,  
Russia, Kolomna, ak\_lopatin@mail.ru*

*Abstract.* The structure of the optical quality control system for manufacturing the object is considered in the paper. A set of primary rules defining the control procedure, a hierarchy of characteristics used to make a conclusion about quality are proposed.

*Keywords.* Optical control, image processing, morphometric features.

### Введение

Контроль качества изготовления продукции в зависимости от типа производства осуществляется одним из трёх способов: автоматизировано, с применением человеческого труда

или по гибридной схеме. В частности, детали железнодорожного назначения чаще всего подлежат ручному контролю.

В рамках решения задачи автоматического оптического контроля качества изготовления деталей железнодорожного назначения [1] предлагается использовать специализированную автоматизированную систему. Алгоритмическое обеспечение отдельных структурных звеньев этой системы, отвечающих за предварительную обработку изображений, описано в [2, 3].

### Структура системы автоматизированной предварительной обработки изображений

Для решения задачи автоматической обработки изображений деталей на конвейерной ленте предлагается система, осуществляющая автоматическую генерацию и выбор метода обработки изображения и выделения на нём контуров детали. Данная система, схема работы которой приведена на рисунке 1, позволяет разделить фон и границы объекта, минимизировав количество ложных срабатываний детектора контура.

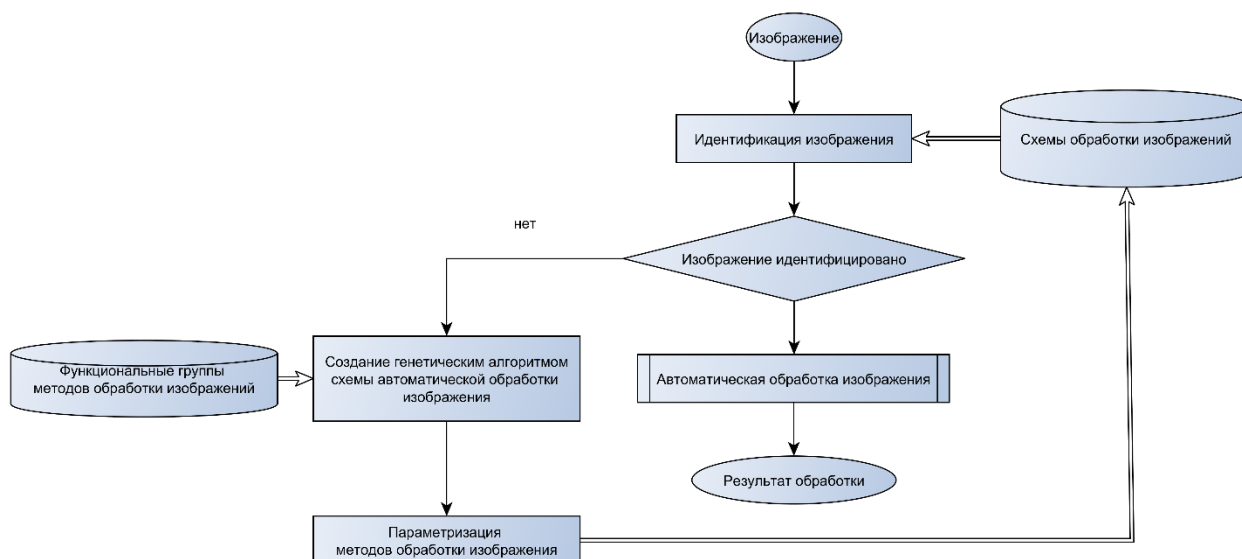


Рис. 1. Схема работы системы автоматизированной обработки изображений

На вход система принимает некоторое изображение и осуществляет его идентификацию на основании информации базы данных «Схемы обработки изображений». База данных отображает собой N-мерное пространство признаков изображения, расширенное за счёт добавления в базис из N векторов ещё одного вектора – схемы обработки. Данный вектор получается путём отображения точки подпространства признаков изображения в точку пространства схем обработки.

Поиск в базе данных осуществляется с помощью линейного корреляционного анализа. Поступившее на вход изображение окажется идентифицированным, если коэффициент визуального сходства [2] между ним и эталонным изображением (или успешно обработанным изображением) окажется меньше экзогенного параметра, определённого оператором базы данных. Для обеспечения надёжности процедуры идентификации входного изображения выборка, на основании которой осуществляется построение базы данных «Схемы обработки изображений», должна быть репрезентативной.

Идентифицированное изображение автоматически обрабатывается композицией алгоритмов, выбранной системой из базы данных «Схемы обработки изображений». Автоматическая обработка изображения заключается в применении композиции алгоритма фильтрации, алгоритма выделения краёв, а также последовательности морфологических операций, направленных на улучшение границ. Применяемые алгоритмы фильтрации и выделения границ, а также их параметры определяются автоматически с применением генетического алгоритма.

Композиция идентифицируется  $N+1$  координатой, иными словами последняя координата представляет собой вектор, содержащий как информацию об используемой композиции, так и параметры применяемых в ней алгоритмов. Результатом обработки изображения является градиентное изображение детали.

В случае, если система не может идентифицировать введённое изображение, осуществляется пополнение базы данных «Схемы обработки изображений». При этом поиск эталона градиентного изображения осуществляется автоматически, путём поиска эталонного изображения максимально похожего на вводимое изображения. После определения изображения-эталона, с использованием генетического алгоритма производится: а) поиск цепочки алгоритмов обработки изображений; б) поиск параметров применяемых алгоритмов.

После получения новой схемы обработки система автоматически дополнит базу данных «Схемы обработки изображений».

Результатом деятельности системы является градиентное изображение объекта, подлежащего контролю.

Процесс заполнения базы данных, входящих в состав системы, приведён на рисунке 2.

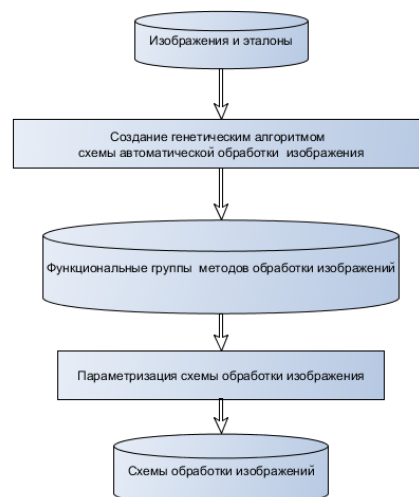


Рис. 2. Схема проблемных информационных потоков системы

База данных «Изображения и эталоны» содержит набор тестируемых изображений и изображения-эталон. С использованием генетического алгоритма осуществляется приведение тестируемого изображения к виду визуально сходному с эталонным [2]. Применяемый генетический алгоритм позволяет определить конкретные алгоритмы фильтрации и выделения краёв, а также параметры используемых алгоритмов. Если генетический алгоритм оказался неспособен подобрать композицию алгоритмов, то осуществляется пополнение функциональных групп алгоритмов обработки изображений. То есть в базу данных «Функциональные группы методов обработки изображений» вводятся новые алгоритмы фильтрации, выделения краёв. В случае успешного применения

композиции алгоритмов для изображения вычисляется набор текстурных признаков, и полученный вектор признаков, дополненный вектором схемы обработки пополняют базу данных «Схемы обработки изображений».

### **Иерархия морфометрических признаков качества**

Следующим необходимым этапом технологической цепочки является математическая обработка градиентных изображений. При этом, учитывая проводившиеся исследования, к примеру [4] введена трёхуровневая шкала значений признаков.

1. Признак соответствует норме.
2. Неопределённость – нет оснований утверждать, что деталь содержит брак.
3. Признак имеет сильные отклонения от нормы. Можно утверждать, что деталь бракованная.

Порядок математической обработки изображения определён в соответствии с принципом минимума. Стратегия определяется следующими положениями.

Третий уровень значения признака высшего порядка влечёт обязательный вывод о браке детали. Необходимость в дальнейшей обработке отсутствует.

- Есть доминирующие признаки, первый уровень значения которых позволяет сделать вывод о качественном изготовлении детали. Необходимость в дальнейшей обработке отсутствует.

К доминирующим признакам на данном этапе решения задачи предлагается отнести: 1) разность контуров детали на изображении тестируемой детали и изображении-эталоне, 2) отклонение гистограммы цветного тестового изображения от гистограммы эталонного изображения. Первый признак отвечает за морфометрические характеристики объекта на изображении. Очевидно, что полное совпадение контуров влечёт соответствие размеров и формы объекта с эталоном. Второй признак используется для определения наличия на поверхности детали следов окисления или ржавчины. Наличие указанных дефектов позволяют забраковать деталь, не осуществляя дальнейших исследований.

К вспомогательным признакам относятся периметр, площадь, коэффициент округлости, центр масс, площадь и периметр описанного четырёхугольника, площадь и периметр описанного многоугольника, диагональные признаки формы.

### **Выводы**

В работе описана схема работы специализированной автоматизированной системы предварительной обработки изображений. Отличительными особенностями этой системы являются следующие оригинальные элементы: 1) способ автоматического синтеза цепочек упорядоченных и не повторяемых алгоритмов обработки изображений; 2) схема организации работы системы; 3) схема организации хранения проблемной информации; 4) используемый набор признаков изображения, достаточный для квалификации качества изготовления наблюдаемых деталей; 5) предлагаемая стратегия вычисления признаков наблюдаемых объектов. Указанные особенности позволяют, во-первых, решить задачу автоматизации процесса контроля качества изготовления деталей железнодорожного назначения и, во-вторых, вносят определённый вклад в решение проблемы повышения эффективности процедур автоматического распознавания наблюдаемых объектов и оценивания их проблемных признаков.

### Библиографический список

1. Лопатин А.К. О распознавании габаритов объектов//Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 18-й Международной НТК: Горячая-линия Телеком, 2015 – 332 с.
2. Белов В.В., Лопатин А.К. Формирование смесей алгоритмов для решения задачи автоматического измерения размеров изделий на конвейерной ленте. // Cloud of Science. 2017. Т. 4. № 3. С. 384–394.
3. Белов В.В., Лопатин А.К. Алгоритм оценки геометрических параметров изделий, находящихся на конвейерной ленте. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 6 (34). С. 34–42.
4. Белов В.В., Смирнов А.Е. Способ выявления нечетких состояний системы на основе четкой идентификационной таблицы//Вестник РГРТА. Рязань, 2006. Вып. 19.

УДК 621.9; ГРНТИ 55.13.99

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ В ПРИСПОСОБЛЕНИИ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ КОНЦЕВОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**Н.Р. Подзоров, А.В. Лобанов**

*Тульский государственный университет  
Российская Федерация, Тула, [nikita\\_tula\\_71@mail.ru](mailto:nikita_tula_71@mail.ru)*

*Аннотация.* Предложен состав рабочей среды, используемой в приспособлении для финишной обработки инструмента в условиях единичного производства.

*Ключевые слова.* Финишная обработка концевго металлорежущего инструмента, анти-пыльного компонента, рабочая среда, абразив.

### **DEVELOPMENT OF THE FORMULATION OF MACHINING MEDIUM USED IN THE DEVICE DESIGNED FOR METAL-CUTTING POINT TOOL FINISHING**

**N.R. Podzorov, A.V. Lobanov**

*FSBI HPE «Tula State University»  
Russia, Tula, [nikita\\_tula\\_71@mail.ru](mailto:nikita_tula_71@mail.ru)*

*Abstract.* The composition of machining medium, used in the device designed for metal-cutting point tool finishing, was developed within the conditions of single-piece production.

*Keywords.* Metal-cutting point tool finishing, anti-dust component, machining medium, abrasive.

В условиях единичного производства приборостроительного предприятия военно-промышленного комплекса изготавливаются небольшие партии металлорежущего инструмента. Неотъемлемой частью технологического процесса является финишная обработка вновь изготовленного или переточенного инструмента. Для этого было разработано приспособление для финишной обработки концевго металлорежущего инструмента, представленного на рисунке 1 (ФОКИ) [1].

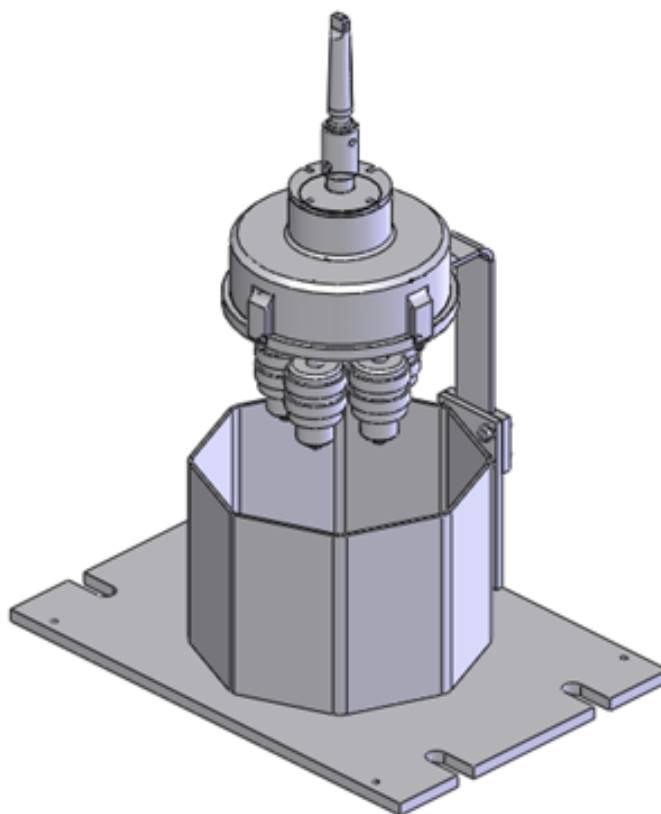


Рис. 1. Приспособления для финишной обработки концевых металлорежущего инструмента

Авторами статьи [1] указано, что большое значение для качества финишной обработки режущего инструмента имеет выбор рабочей среды. В настоящее время используются рабочие среды производства зарубежных фирм OTEC, MULTIFINISH, ROSLER и др. Однако, эти рабочие среды дорогостоящие и поставляются крупными партиями. Использовать их для нужд единичного производства нерационально.

Поэтому, принимая во внимание концепцию импортозамещения, предложенную Правительством РФ, **целью** настоящей работы явилась разработка состава рабочей среды на основе отечественных компонентов, в том числе вторичного сырья.

Процесс финишной обработки заключается в скруглении острых кромок так, чтобы их радиус составлял не более 20 мкм, и полировки стружечных канавок. Для этого на заточенный инструмент воздействуют средой свободного абразива. В ее состав входят абразив, носитель и антипыльный компонент.

Выбор абразива обусловлен свойствами материала обрабатываемого инструмента и требуемым классом шероховатости поверхности.

Носитель представляет собой гранулированную среду, которая должна обладать следующими свойствами: во-первых, обеспечивать равномерное распределение (диспергирование) частиц абразива по поверхности гранул, во-вторых, иметь достаточную плотность для получения непрерывного контакта инструмента со средой свободного абразива в процессе обработки.

Антипыльный компонент должен препятствовать образованию пыли, служить липкой связкой среды свободного абразива и обладать антикоррозионными свойствами.

Осевой металлорежущий инструмент изготавливается из твердых сплавов и быстрорежущей стали. Поверхность обрабатываемого инструмента должна иметь



шероховатость не ниже 10 класса. Исходя из указанных требований, в качестве абразива выбран карбид кремния зеленый SiC в виде микропорошка M14 (F600) (рис. 2).



Рис. 2. Карбид кремния зеленый

В качестве антипыльного компонента была использована смесь керосина и индустриального масла с добавлением стеариновой кислоты. Керосин и индустриальное масло обеспечивают хорошие смазывающие и антикоррозионные свойства среды, стеариновая кислота создает изолирующую оксидную пленку, препятствующую налипанию (молекулярному взаимодействию контактирующих поверхностей) частиц среды на инструмент в процессе полирования.

Производители рабочих сред используют в качестве носителя гранулят, состоящий из различных материалов: органических, полимерных, керамических и др. Нами были использованы: алмандиновый песок, фракции Garnet Mesh 80 (рис.3) (отход от установки гидроабразивной резки (заготовительный цех предприятия); деревянная стружка (вторичное сырье деревообрабатывающего производства предприятия); молотый кофе крупного помола. Было изготовлено несколько рабочих сред с различными носителями. После этого проведено экспериментальное сравнение их свойств.



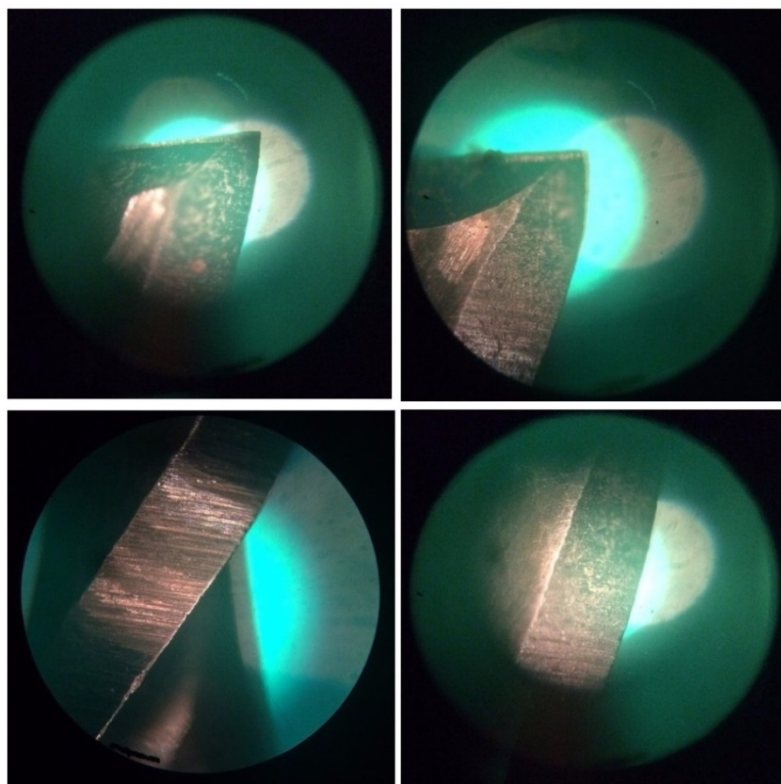


Рисунок 3. Альмандиновый песок

Для получения рабочих сред изготавливали суспензию из абразива и антипыльного компонента, после чего диспергировали ее в различных носителях, а также их смесях (рис.4.) Состав суспензии: абразивный микропорошок (78%), керосин (10%), промышленное масло (10%), стеариновая кислота ( $\leq 2\%$ ).

В ходе исследования было выявлено, что наилучшими свойствами обладает рабочая среда на основе двухкомпонентного носителя, состоящего из альмандинового песка и деревянной стружки в объемном соотношении 5:2.

Проведенные экспериментальная работа показала, что применение разработанной среды свободного абразива в приспособлении ФОКИ [1] позволяет получать удовлетворительные результаты финишной обработки осевого металлорежущего инструмента рис.4.



До обработки

После  
обработки

Рис. 4. Снимки инструмента

Для улучшения полученных результатов необходимо провести работу по усовершенствованию технологического процесса: подобрать оптимальное соотношение компонентов рабочей среды, определить параметры обработки (скорость вращения привода ФОКИ, время обработки, глубина погружения инструмента и др.)

### Заключение

Предложен состав среды свободного абразива с использованием отечественных компонентов, основная часть которых представляет собой вторичное сырье – отходы производства предприятия военно-промышленного комплекса. Такой подход позволяет не только снизить стоимость производства рабочей среды, но и рационально использовать отходы производства.

1. Изготовленная рабочая среда продемонстрировала работоспособность в приспособлении ФОКИ.
2. Для разработки технологического процесса необходимо провести дальнейшие экспериментальные исследования.

### Библиографический список

1. Подзоров Н.Р., Лобанов А.В. Приспособление для финишной обработки концевой металлорежущего инструмента, 168 с. Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Сб. научных трудов междунар. заочной научно-техн. конф. «АПИР-22», 9-10 ноября 2017 года; под ред. В.В. Прейса, Д.А. Провоторова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. 244 с.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА БРАКОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ГРУППИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

**В. Гуськов, В. Чистякова**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Российская Федерация, Рязань, vguskov\_71@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе описана пошаговая реализация алгоритма выявления бракованной продукции на предприятии. Даются ряд рекомендаций для снижения и исключения возможности выпуска брака.

*Ключевые слова.* Качество продукции, статистические методы, бракованное изделие, группирование причин, анализ причин.

## FORECASTING THE NUMBER OF DEFECTIVE ITEMS IN THE GROUPING OF FAULTS

**V. Guskov, V. Chistyakova**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russian Federation, Ryazan, vguskov\_71@mail.ru*

*Annotation.* In this paper, a step-by-step implementation of the algorithm for identifying defective products in an enterprise is described. A number of recommendations are given to reduce and exclude the possibility of issuing a marriage.

*Keywords.* Product quality, statistical methods, defective product, grouping of causes, analysis of causes

### Введение

Ни один руководитель, занимающийся производственной деятельностью или работающий в сфере услуг, не может быть застрахован от вероятности выпуска продукции, не удовлетворяющей нормам. Бракованная продукция может появиться на любой стадии жизненного цикла изделия. Причины, приводящие к возникновению брака, могут быть всевозможными. Таковыми могут стать: некачественное закупаемое предприятием сырьё, отступление при изготовлении деталей и узлов от технолого-конструкторской документации, перебои в поставках электроэнергии и других видов ресурсов, низкий уровень квалификации работников, не правильное хранение складской продукции и т.п.

Выпуск бракованной продукции негативно сказывается на работе предприятия. Это не только прямые финансовые убытки, выражающиеся в потере сырья, материалов, тем самым повышая себестоимость продукции, но и страдает репутация. Практика показала, что предприятия, делавшие ставку на снижение стоимости своей продукции, при этом не повышая качество, не выдерживали конкурентной борьбы. Это и логично, так как для большинства потребителей на сегодняшний день решающую роль в выборе товара играет качество, то есть соответствие технических параметров потребительскому ожиданию. Изготовитель просто не сможет реализовать некачественный товар. Поэтому любой руководитель, который видит своё предприятие успешным, должен быть заинтересован в постоянном повышении качества своей продукции [2].

Понятие качества продукции – главный показатель работы предприятия. Сегодня оно стало приоритетной стратегией развития. Повышение качества в значительной мере определяет выживаемость предприятия, темпы научно-технического прогресса, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых для производства или оказания услуг [1].

Укрупнение мировых экономических связей привело к возникновению международной системы стандартов качества ISO. Это привело в свою очередь к взаимозаменяемости и совместимости национальных стандартов многих стран. Сейчас стандарты ISO содержат минимальные требования, которым должна соответствовать система качества применяемая на предприятии независимо от вида выпускаемой продукции или предоставляемой услуги.

На сегодня потребители в развитых странах знают, что если система управления качеством, применяемая производителем или поставщиком, соответствует требованиям стандартов ISO, то это является гарантией того, что им предоставят качественную продукцию или услугу.

Международные стандарты семейства ISO устанавливают качественные параметры к которым должно стремиться предприятие в управлении процессами, которые могут влиять на изготовление продукции. Стандарты семейства ISO написаны в форме задач системы качества, которые предприятию предстоит выполнить.

На сегодняшний день всё больше руководителей российских предприятий рассматривают возможность применения международной системой качества ISO на своих предприятиях. Это вызвано необходимостью, обусловленной развитием рынка. Борьба за внимание потребителя заставляет предприятия более серьёзно заниматься качеством своей продукции. Особенно тех представителей российского бизнеса, кто хочет выйти на международный рынок.

Но всё-таки применение системы качества не гарантирует исключения появления бракованной продукции. Дело в том, что эти стандарты ставят задачи, которые должно решить предприятие в области качества, но не регламентируют способы и методы достижения этой цели.

Как и полвека назад на многих Российских предприятиях основным методом обнаружения дефектной единицы остаётся выборочный контроль. Контролеры ОТК и рабочие, проверяя изделия на соответствие установленным параметрам, отделяют брак от нормативной продукции. Так же на входном и выходном приёмочном контроле предпринимаются попытки отфильтровать продукцию. В таком случае потери включаются в себестоимость. Это относится и к предприятиям, где внедрена система ИСО-9000. По оценкам, только на одном из 10 таких предприятий статистические методы контроля качества (СМКК) реально применяются. Между тем информационное обеспечение, в том числе наличие точной постоянной информации о качестве продукции на всех этапах ее создания, - необходимое условие функционирования. Бракованные изделия будут всегда, так как:

- есть источники изменчивости, приводящие к появлению брака;
- при контроле можно допустить ошибки: годное изделие признать бракованным (и наоборот);
- нет статистики по группированию браков, что не позволяет выявить виновных.

Поэтому успех в решении проблемы повышения качества может принести только выявление причин брака и их устранение. А это возможно только применяя комплексный подход.

В данной работе предлагается методика выявления дефектной продукции с помощью нескольких функциональных мероприятий.

Для примера возьмём одно из предприятий города Рязани, имеющее цех металлообработки.

### **Методики выявления причин брака**

Этап первый. Для выявления брака нужны статистические данные. Поэтому составляется таблица о всех случаях брака цеха за какой-то период (таблица 1). Здесь же выясняется причина возникновения брака и эти данные заносятся в таблицу.

Сведения о причинах брака представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Данные о браке цеха металлообработки

| Продукция         | Дата       | Номер партии | Доля брака (%)  | Причина брака                                |
|-------------------|------------|--------------|-----------------|----------------------------------------------|
| Планшайба         | 15.01.2017 | 4            | 5%<br>(100 шт)  | Не своевременная замена режущего инструмента |
| Выходной вал      | 05.02.2017 | 7            | 2,5%<br>(50 шт) | Биение зажимных кулачков                     |
| Шестерня-сателлит | 10.04.2017 | 5            | 6% (120 шт)     | Вибрация при нарезании зубьев                |
| Корпус            | 21.06.2017 | 10           | 20%(400 шт)     | Не качественное сырьё                        |

Этап второй. Группируются схожие причины, приводящие к браку. Благодаря такому объединению можно увидеть число случаев за период и потери.

Группировка причин по схожести представлена ниже в таблице 2

Таблица 2. Группировка данных и расчет потерь цеха металлообработки

| Причина брака                                | Количество случаев за период | Потери от брака (тыс.руб) |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Не своевременная замена режущего инструмента | 11                           | 1000                      |
| Биение зажимных кулачков                     | 6                            | 500                       |
| Вибрация при нарезании зубьев                | 4                            | 360                       |
| Не качественное сырьё                        | 5                            | 2 000                     |

Этап третий. Анализ причин. Как правило, группировка причин показывает, что только некоторые систематически повторяются, являясь источником наибольших потерь.

Этап четвертый. Выбирается причина брака (или несколько) с наибольшим количеством случаев и потерями [3].

Этап пятый. Проводится анализ с целью выявления источников влияющих на появление брака, и вырабатываются меры для обеспечения условий при которых физически становится невозможным повторение брака.

Этап шестой. Организационные меры, направленные на повышение качества. Известный факт, что основной причиной производственного брака является человек. Этот фактор влияет на производство больше, чем техническая и технологическая составляющая.

Можно применить систему мотивации. Главной движущей силой которой будет наращивание заинтересованности работника в снижении или исключении брака. Один из вариантов это определение для каждого работника, включая руководителей, индивидуальные параметры качества. Можно 1-3 показателя. Далее каждый руководитель делает понедельный или ежемесячный доклад о состоянии этих параметров работников. Руководителем выставляются баллы для работников. Соответственно оценивается работа линейных руководителей. По итогам применяется система премий и депремирование [2].

### Выводы

Учет и анализ бракованной продукции позволяет выявить причины влияющие на возникновение не нормативной продукции. Устранение этих причин положительно сказывается на организации производства. Изложенная в этом материале система может значительно снизить долю брака продукции при небольших финансовых затратах. При анализе брака, с выявлением его причин, и своевременным устранением источника, уже в течении 3-4 месяцев можно резко снизить долю бракованной продукции на среднем предприятии.

Так же на основе данных учета и анализа брака можно составлять статистические справки, для отслеживания динамики брака, что даёт возможность прогноза выпуска бракованной продукции [3].

### Библиографический список

1. Марьенко А., Портнов А. Как просто и недорого снизить брак на предприятии // «Генеральный Директор» – персональный журнал руководителя. – 2014. – № 9.
2. Ребрин Ю. Управление качеством: учеб. пособие – Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2004.
3. Ефимов В.В. Е 91 Статистические методы в управлении качеством: Учебное пособие./ В.В.Ефимов–Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 134 с.

УДК 681.58; ГРНТИ 49.37.31

### БЕСПРОВОДНАЯ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОГО ЛЕНТОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Д.Р. Кузьяев, А.П. Пудовкин, Д.В. Тихонин

*Тамбовский государственный технический университет,  
Россия, Тамбов, damirkuzjaev@gmail.com*

*Аннотация.* В данной работе описан анализ использования беспроводной системы обмена информацией между устройствами контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала в процессе его производства.

*Ключевые слова.* Беспроводная сеть, приемопередающее устройство, телеизмерение, контроль, в процессе производства, время передачи сообщения.

### WIRELESS NETWORK FOR MONITORING CHARACTERISTICS OF METAL-FLUOROPLASTIC MATERIAL

D.R. Kuziaev, A.P. Pudovkin, D.V. Tikhonin

*Tambov state technical university,  
Russia, Tambov, damirkuzjaev@gmail.com*

*Abstract.* In this paper, we describe the analysis of using the wireless network for exchange of information between sensors for monitoring characteristics of metal-fluoroplastic material during its production.

*Keywords.* Wireless network, sensors, zigbee, transceiver, IEEE 802.15.4, exchange information, telecommunication, monitoring, material, production, transmission time.

Непрерывный контроль характеристик качества металлофторопластового ленточного материала в процессе его производства требует сбора информации с устройств контроля и передачи её в микропроцессорное устройство для последующей обработки, и обмена информацией между устройствами контроля и базой данных. Использование кабельных коммуникаций для сбора данных с различных устройств контроля затруднительно, т.к. линия производства металлофторопластового ленточного материала может занимать более 40 м в длину.

Для реализации метода контроля характеристик качества металлофторопластового материала [1] в процессе его производства предлагается использование беспроводной теле-



измерительной системы сбора данных и обмена информацией. На рисунке 1 представлена схема реализации метода контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала.

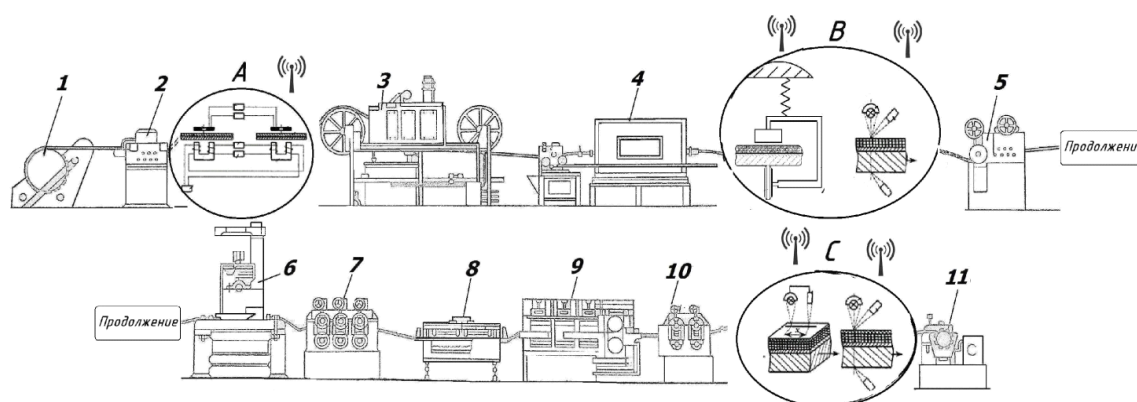


Рис. 1. Схема реализации метода контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала:

- 1 – размоточное устройство; 2 – правильные вальцы; 3 – агрегат для промывки и очистки;  
 4 – устройство для нанесения равномерного слоя сферических частиц бронзы и печь для спекания бронзы на биметалл; 5 – лентопротяжный механизм;  
 6 – устройство для нанесения на пористый бронзовый слой пасты фторопластовой;  
 7 – валки для вкатывания пасты в пористый слой; 8 – печь для сушки;  
 9 – печь для спекания фторопласта; 10 – валки для окончательной калибровки;  
 11 – механизм намотки; А – устройство контроля толщин слоев биметалла;  
 В – устройство контроля толщины трехслойного материала (биметалл с бронзовым каркасом);  
 С – устройство контроля пористости бронзового каркаса, толщины четвертого фторопластового слоя и концентрации входящих в него компонент

Для приема и передачи оперативной информации с устройств контроля характеристик качества в заданные промежутки времени необходимо иметь приемопередающие устройства (конечное устройство) для связи с микропроцессорным устройством (координатор), который выполняет функции, как по формированию сети, так и по поддержанию маршрутизации.

На сегодняшний день наиболее перспективным методом построения систем телеметрии промышленного назначения с использованием беспроводных сетей является – стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) [2]. Этот стандарт обладает следующими характеристиками: дальность передачи между соседними узлами ZigBee внутри помещений – до 30..50 м; пропускная способность радиоканала – 250 кБит/с; помехоустойчивость технологии ZigBee выше, чем у wi-fi, bluetooth, поскольку используется разбиение частотного диапазона на 16 каналов (по 5 МГц каждый).

Проведенный анализ использования двух топологий сети IEEE 802.15.4 «звезда» и «многочейковая сеть» (рис. 2) по уровню принимаемого сигнала и времени передачи сообщения показал, что при расстоянии до 20 метров между устройствами контроля характеристик качества и координатором предпочтительна в качестве топологий беспроводной сети схема, представленная на рисунке 2а. Для выбранной топологии сообщение от устройство контроля стоит в очереди только один раз, когда получает доступ на передачу в координатор. При передаче сообщение через ретрансляторы время передачи может значительно увеличиться (получение доступа на передачу сообщения у одного ретранслятора, у другого и у координатора).

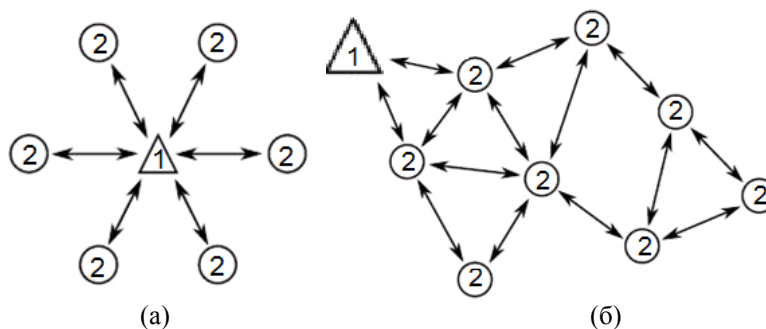


Рис. 2. Топология сети IEEE 802.15.4: а – «звезда», б – многочейковая сеть; 1 – координатор; 2 – конечное устройство

Время получения доступа на передачу сообщения зависит от: помехозащищенности беспроводной сети, надежности связи и количестве приемопередающих устройств [3].

Время получения доступа может занять более 20% от полного времени передачи сообщения [4]. Полное время передачи сообщения можно представить следующим образом

$$t_{sum} = t_{CCA} + t_x + t_{turnaround} + t_{ACK} + t_{IFS},$$

где  $t_{CCA}$  – время получения доступа на передачу сообщения;

$t_x$  – время передачи сообщения;

$t_{turnaround}$  – время перевода координатора из режима приема в режим передачи (зависит от технических характеристик устройства и согласно стандарта IEEE 802.15.4 не должен превышать 192 мкс [5]);

$t_{ACK}$  – время получения подтверждения о приеме сообщения;

$t_{IFS}$  – время задержки перед приемом нового сообщения для обработки принятых данных (согласно стандарта равен 192..640 мкс).

Передача сообщения от конечного устройства к координатору представлена на рисунке 3.

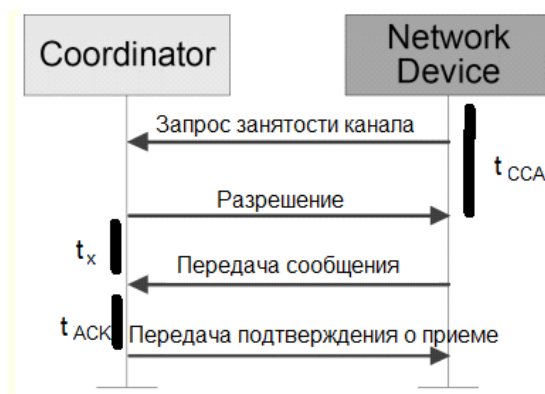


Рис. 3. Схема обмена информацией между координатором и конечным устройством

Таким образом, использование беспроводной телеметрической сети на базе стандарта (ZigBee) с топологии сети типа «звезда» позволит оперативно получать информацию от устройств контроля характеристик качества, повысить эффективность принятия решений и сократить производство дефектной продукции.



### Библиографический список

1. Патент 2290604 Российская Федерация, G01B7/06, G01N25/00. Способ непрерывного контроля толщины слоев и пористости металлического каркаса четырехслойного металлофторопластового ленточного материала / Плужников Ю.В., Пудовкин А.П., Колмаков А.В. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Завод подшипников скольжения»; заявл. 17.01.05; опубл. 20.06.06, Бюл. № 17. – 9 с.
2. Москвитин, С. П. Построение систем телеметрии промышленного назначения с использованием беспроводных сенсорных сетей / С.П. Москвитин, Д.В. Комраков. – Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. Т. 20, № 2. – С. 87 – 91.
3. Проблемы беспроводных сетей и пути их решения [Электронный ресурс], URL: [http://bookasutp.ru/Chapter2\\_11\\_1.aspx](http://bookasutp.ru/Chapter2_11_1.aspx) (дата обращения 16.02.18).
4. Burchfield, T.R., Venkatesan, S., Weiner, D. Maximizing Throughput in ZigBee Wireless Networks through Analysis, Simulations and Implementations [Текст] / T.R. Burchfield, S. Venkatesan, D. Weiner // In Proceedings of the International Workshop on Localized Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks, LOCALGOS 2007. Santa Fe, New Mexico, 2007, pp.15-29.
5. ZigBee specification overview [Электронный ресурс] / ZigBee Alliance. 2012. URL: <http://www.zigbee.org/wp-content/uploads/2014/11/docs-05-3474-20-0csg-zigbee-specification.pdf> (дата обращения 16.02.2018).

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА, АППРОКСИМИРУЕМОГО ЦЕПЬЮ МАРКОВА С ДВУМЯ СОСТОЯНИЯМИ, ПО ЗАДАННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ СОСТОЯНИЙ

**В. Белов, В. Гуськов, В. Чистякова**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, Рязань, [vguskov\\_71@mail.ru](mailto:vguskov_71@mail.ru)*

*Аннотация.* В данной работе описана пошаговая реализация алгоритма выявления бракованной продукции на предприятии. Даются ряд рекомендаций для снижения и исключения возможности выпуска брака.

*Ключевые слова.* Качество продукции, статистические методы, бракованное изделие, группирование причин, анализ причин.

## A METHOD FOR PREDICTING A TIME SERIES APPROXIMATED BY A MARKOV CHAIN WITH TWO STATES FROM A GIVEN SEQUENCE OF OBSERVATIONS OF STATES

**V. Belov, V. Guskov, V. Chistyakova**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, [vguskov\\_71@mail.ru](mailto:vguskov_71@mail.ru)*

*Annotation.* In this paper, a step-by-step implementation of the algorithm for identifying defective products in an enterprise is described. A number of recommendations are given to reduce and exclude the possibility of issuing a marriage.

*Keywords.* Product quality, statistical methods, defective product, grouping of causes, analysis of causes

### Введение

Ни один руководитель, занимающийся производственной деятельностью или работающий в сфере услуг, не может быть застрахован от вероятности выпуска продукции, не удовлетворяющей нормам. Бракованная продукция может появиться на любой стадии жизненного цикла изделия. Причины, приводящие к возникновению брака, могут быть всевозможными. Таковыми могут стать: некачественное закупаемое предприятием сырьё, отступление при изготовлении деталей и узлов от технолого-конструкторской документации, пере-

бои в поставках электроэнергии и других видов ресурсов, низкий уровень квалификации работников, неправильное хранение складской продукции и т.п.

Понятие качества продукции – главный показатель работы предприятия. Сегодня оно стало приоритетной стратегией развития. Повышение качества в значительной мере определяет выживаемость предприятия, темпы научно-технического прогресса, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых для производства или оказания услуг [1].

Укрупнение мировых экономических связей привело к возникновению международной системы стандартов качества ISO. Это привело в свою очередь к взаимозаменяемости и совместимости национальных стандартов многих стран. Сейчас стандарты ISO содержат минимальные требования, которым должна соответствовать система качества, применяемая на предприятии независимо от вида выпускаемой продукции или предоставляемой услуги.

Международные стандарты семейства ISO устанавливают качественные параметры, к которым должно стремиться предприятие в управлении процессами, которые могут влиять на изготовление продукции. Стандарты семейства ISO написаны в форме задач системы качества, которые предприятию предстоит выполнить.

На сегодняшний день всё больше руководителей российских предприятий рассматривают возможность применения международной системой качества ISO на своих предприятиях. Это вызвано необходимостью, обусловленной развитием рынка. Борьба за внимание потребителя заставляет предприятия более серьёзно заниматься качеством своей продукции. Особенно тех представителей российского бизнеса, кто хочет выйти на международный рынок.

Но всё-таки применение системы качества не гарантирует исключения появления бракованной продукции. Дело в том, что эти стандарты ставят задачи, которые должно решить предприятие в области качества, но не регламентируют способы и методы достижения этой цели.

Как и полвека назад на многих Российских предприятиях основным методом обнаружения дефектной единицы остаётся выборочный контроль. Контролеры ОТК и рабочие, проверяя изделия на соответствие установленным параметрам, отделяют брак от нормативной продукции. Так же на входном и выходном приёмочном контроле предпринимаются попытки отфильтровать продукцию. В таком случае потери включаются в себестоимость. Это относится и к предприятиям, где внедрена система ИСО-9000. По оценкам, только на одном из 10 таких предприятий статистические методы контроля качества (СМКК) реально применяются. Между тем информационное обеспечение, в том числе наличие точной постоянной информации о качестве продукции на всех этапах ее создания, – необходимое условие функционирования. Бракованные изделия будут всегда, так как:

- есть источники изменчивости, приводящие к появлению брака;
- при контроле можно допустить ошибки: годное изделие признать бракованным (и наоборот);
- нет статистики по группированию браков, что не позволяет выявить виновных.

Поэтому успех в решении проблемы повышения качества может принести только выявление причин брака и их устранение. А это возможно только применяя комплексный подход.

В данной работе предлагается методика выявления дефектной продукции с помощью прогнозирования временного ряда, аппроксимируемого цепью Маркова с двумя состояниями.

### Методика прогнозирования временного ряда, аппроксимируемого цепью Маркова с двумя состояниями, по заданной последовательности наблюдений состояний

Пусть задан временной ряд с бинарными значениями элементов, формально представимый в виде вектора

$$\mathbf{x}_T = (x_1, x_2, \dots, x_n), x_i \in \{0, 1\}, i \in \{1, n\},$$

и стоит задача прогнозирования числа единиц в последующем участке ряда

$$\mathbf{x}_F = (x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}), x_{n+i} \in \{0, 1\}, i \in \{1, m\}.$$

Сформулируем указанную задачу в терминах теории статистических решений. По результатам наблюдений начального участка бинарного временного ряда, состоящего из  $n$  элементов, проверяется нулевая гипотеза  $Q$ : число единиц  $k_m$  на последующем участке этого ряда, состоящем из  $m$  элементов, превысит  $k'_m$ , против альтернативы  $\bar{Q}$ : последующий участок наблюдаемого ряда будет содержать не более  $k'_m$  единиц.

Заметим, что следуя традиции, сложившейся в практике решения задач статистической радиотехники, в качестве нулевой гипотезы принято использовать ту гипотезу, ошибочное отвержение которой приносит наибольший ущерб. Семантически  $k'_m$  представляет собой экономически допустимое (приемлемое) количество бракованных изделий в партии продукции из  $m$  изделий [3].

Процедура прогноза имеет следующее правило решения:

1. Принимается нулевая гипотеза, если число единиц  $k_n$  на начальном участке ряда превышает пороговый уровень  $k'_n$ , т. е.  $k_n > k'_n$ ; в противном случае, если  $k_n \leq k'_n$ , принимается альтернатива.
2. Используем аппроксимацию наблюдаемого ряда цепью Маркова и введем обозначения:  $P_n(k)$  – матричная вероятность наличия  $k$  единиц в последовательности из  $n$  элементов;  $P_\Phi$  – вектор-строка финальных вероятностей состояний цепи Маркова;  $J$  – двухэлементный вектор-столбец единиц.
3. Вычисляется  $P_n(k)$  по рекуррентной формуле:

$$P_1(0) = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, P_1(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix},$$

$$P_i(k) = P_1(0)P_{i-1}(k) + P_1(1)P_{i-1}(k-1), k = \overline{0, l}, i = \overline{2, n}.$$

4. По определению

$$P_i(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ если } i < k \text{ или } k < 0,$$

что выражает факты: количество единиц  $k$  в последовательности не может превышать длину  $i$  этой последовательности и не может быть отрицательным.

Вектор-строка финальных вероятностей имеет вид:

$$P_\Phi = (p_0, p_1).$$

5. Вектор-столбец единиц определяется так:  $J = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ .
6. Имеют место следующие очевидные частные случаи:

$$P_n(0) = P_1^n(0); P_n(n) = P_1^n(1).$$

И еще одно очень важное равенство:

$$P_n(k_n + k_m) = P_n(k_n) + P_n(k_m).$$

Произведение  $P_n(k_n)P_m(k_m)$  представляет собой матричную вероятность того, что в двоичной последовательности, состоящей из  $n + m$  элементов, в начальном  $n$ -элементном участке будет содержаться  $k_n$  единиц, а в последующем  $m$ -элементном участке –  $k_m$  единиц.

Связь между обычными и матричными вероятностями такова: вероятность того, что в двоичной последовательности из  $n$  элементов содержится  $k$  единиц равна:

$$P_n(k) = P_\Phi P_i(k)J.$$

Вероятности принятия гипотез  $\bar{Q}$  и  $Q$  соответственно равны:

$$P(\bar{Q}) = P(k_n \leq k'_n) = \sum_{k=0}^{k'_n} P_\Phi P_n(k)J; P(Q) = P(k_n > k'_n) = 1 - P(\bar{Q}).$$

7. Ошибки прогнозирования характеризуются следующими вероятностями:

1) абсолютная вероятность ошибки первого рода – ошибочного отвержения правильной гипотезы

$$\alpha_a = P((k_n \leq k'_n) \& (k_m > k'_m))$$

показывает долю ошибочно оптимистичных прогнозов;

2) абсолютная вероятность ошибки второго рода – ошибочного принятия ложной гипотезы:

$$\beta_a = P((k_n > k'_n) \& (k_m \leq k'_m))$$

показывает долю ошибочно пессимистичных прогнозов;

3) вероятность справедливости гипотезы при условии, что принято решение о ее ложности:

$$P((k_n \leq k'_n) \& (k_m > k'_m)) / P(k_n \leq k'_n)$$

показывает долю ошибочных среди всех оптимистичных прогнозов, называется риском потребителя при выборочном контроле качества изделий;

4) вероятность ложности гипотезы при условии, что принято решение о ее истинности:

$$\beta_a = P((k_n > k'_n) \& (k_m \leq k'_m)) / P(k_n > k'_n)$$

показывает долю ошибочных среди всех пессимистичных прогнозов, называется риском поставщика при выборочном контроле качества изделий;

5) относительная вероятность ошибки первого рода – ошибочного отвержения правильной гипотезы:

$$\alpha = P((k_n \leq k'_n) \& (k_m > k'_m)) / P(k_m > k'_m)$$

показывает долю плохих последовательностей, прогнозируемых как хорошие, т. е. как часто не распознаётся высокий уровень брака в производстве;

6) относительная вероятность ошибки второго рода – ошибочного принятия ложной гипотезы:

$$= P((k_n > k'_n) \& (k_m \leq k'_m)) / P(k_m \leq k'_m)$$

показывает долю хороших последовательностей, прогнозируемых как плохие, т. е. как часто невысокий уровень брака в производстве квалифицируется как неприемлемый.

8. Вероятности ошибок прогноза  $\alpha$  и  $\beta$  являются наиболее часто используемыми, и вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha &= P((k_n \leq k'_n) \& (k_m > k'_m)) / P(k_m > k'_m) = \\ &= P_\Phi \left[ \sum_{k=0}^{k'_n} P_n(k) \sum_{i=k'_m+1}^m P_m(i) \right] J / P_\Phi \sum_{i=k'_m+1}^m P_m(i) J; \\ \beta &= P((k_n > k'_n) \& (k_m \leq k'_m)) / P(k_m \leq k'_m) = \\ &= P_\Phi \left[ \sum_{k=k'_n+1}^n P_n(k) \sum_{i=0}^{k'_m} P_m(i) \right] J / P_\Phi \sum_{i=0}^{k'_m} P_m(i) J [4]. \end{aligned}$$

Как правило, количество единиц в наблюдаемых временных рядах, аппроксимируемых цепями Маркова, существенно меньше половины длины наблюдаемого ряда, – поскольку единицы традиционно символизируют негативные явления – ошибки в последовательности передаваемых данных, брак в проверяемой продукции и тому подобное. В частности, обычно

$$k'_n < n/2 \text{ и } k'_m < m/2,$$

поэтому вычисление сумм

$$\sum_{i=k'_n+1}^n P_n(i) \text{ и } \sum_{i=k'_m+1}^m P_m(i)$$

удобнее осуществлять через дополнительные вероятности

$$\sum_{i=0}^{k'_n} P_n(i) \text{ и } \sum_{i=0}^{k'_m} P_m(i).$$

Можно доказать, что имеют место следующие равенства:

$$\sum_{i=0}^m P_m(i) = P^m,$$

$$P^m J = J.$$

Из которых следует:

$$\sum_{i=k'_m+1}^m P_m(i) = P^m - \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k)$$

и далее

$$\begin{aligned} \sum_{i=m+1}^{k'_m} P_m(i) J &= [P^m - \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k)] J = \\ &= P^m J - \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k) J = J - \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k) J = [E - \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k)] J. \end{aligned}$$

где  $E$  – единичная матрица, т. е.

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

С учетом изложенного и очевидного факта  $P_\Phi E J = 1$ , окончательно имеем:

$$\alpha = P_\Phi \left[ \sum_{k=0}^{k'_n} P_n(k) (E - \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k)) \right] J / \left( 1 - P_\Phi \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k) J \right)$$

$$\beta = P_\Phi \left[ (E - \sum_{k=0}^{k'_n} P_n(k)) \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k) \right] J / P_\Phi \sum_{k=0}^{k'_m} P_m(k) J.$$

Задача прогноза числа бракованных изделий по начальному участку наблюдений результатов производства имеет следующие исходные данные указанные выше:

$$x_T, n, m, k_n, k'_m,$$

а так же  $\alpha_m$  – предельно допустимое значение относительной вероятности ошибки первого рода.

Задача прогноза ожидаемого уровня брака в предстоящем периоде производства формализуется как задача проверки статистической гипотезы о том, что количество  $k_m$  бракованных изделий в планируемой партии объемом  $m$  превысит допустимое значение  $k'_m$ .

### Этапы решения прогноза ожидаемого уровня брака

Шаг 1. Выясняется вопрос о целесообразности решения задачи прогноза. Если количество  $k_n$  бракованных среди произведенных  $n$  изделий явно неприемлемо, то задача прогноза откладывается, и принимаются организационно-экономические мероприятия по улучшению качества производимой продукции.

Шаг 2. Если решение задачи прогноза не отложено, то выполняется начальный этап – в дополнение к исходным данным вычисляются «технологические» параметры процедуры прогнозирования:

а) по вектору  $x_T$  методом максимального правдоподобия вычисляются первичные параметры цепи Маркова, используемой для аппроксимации этого вектора, – вероятности  $p_1$  и  $P_{10}$ ;

б) через найденные первичные параметры вычисляются оставшиеся переходные вероятности цепи Маркова:

$$P_{01}, P_{00}, P_{11};$$

в) вычисляется значение браковочной константы  $k'_n$ , как значение, удовлетворяющее условию:

$$\alpha(k'_n) \leq \alpha_m;$$

$$\alpha(k'_n + 1) > \alpha_m,$$

где  $\alpha(k'_n)$  и  $\alpha(k'_n + 1)$  вычисляются по (4).

Шаг 3. Реализуется правило принятия решения: принимается нулевая гипотеза о недопустимом уровне брака в предстоящем периоде производства, если количество  $k_n$  бракованных изделий среди  $n$  произведенных превышает пороговый уровень

$$k'_n, \text{ т. е. } k_n > k'_n;$$

в противном случае, если

$$k_n \leq k'_n,$$

нулевая гипотеза отвергается, т. е. полагается, что имеются основания ожидать, что уровень брака в планируемом объеме производства  $m$  окажется приемлемым, т. е. количество бракованных изделий  $k_m$  не превысит  $k'_m$ .

Заметим, что указанное выше правило вычисления браковочной константы  $k'_n$  обеспечивает выполнение требований к вероятности  $\alpha$  ошибки первого рода при одновременной минимизации вероятности  $\beta$  ошибки второго рода, поскольку функции  $\alpha(k_n)$  и  $\beta(k_n)$  являются разнонаправленными – первая монотонно возрастает, а вторая монотонно убывает с ростом  $k_n$ .

### Выводы

1. В изложенном материале предложена методика прогнозирования уровня брака для мелкосерийных производств, отличающаяся следующими элементами:

- а) контроль брака осуществляется по всем изделиям, производимым в актуальных условиях производства;
- б) последовательность результатов изготовления изделий аппроксимируется цепью Маркова, что позволяет учесть факт группирования брака в процессе производства;
- с) учет группирования промахов в производстве позволяет повысить достоверность решений относительно ожидаемого уровня брака в предстоящий производственный период.

2. Найдены математические выражения для вычисления вероятностей, используемых как при оценивании параметров модели потока бракованных изделий, так и при расчете показателей качества принимаемых статистических решений.

### Библиографический список

1. Марьенко А., Портнов А. Как просто и недорого снизить брак на предприятии // «Генеральный Директор» – персональный журнал руководителя. – 2014. – № 9.
2. Ребрин Ю. Управление качеством: учеб. пособие – Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2004.
3. Ефимов В.В. Е 91 Статистические методы в управлении качеством: Учебное пособие./ В.В.Ефимов–Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 134 с.
4. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. 6-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 272 с. – (Учебник для вузов. Специальная литература).

УДК 681.2.08; ГРНТИ 59.35.31

## ГИБКИЙ ЕМКОСТНЫЙ ДАТЧИК УРОВНЯ КОМПЕНСАЦИОННОГО ТИПА

М.А. Сахи, Т.А. Куличенко

Рязанский государственный радиотехнический университет  
vilyam\_hack666.92@protonmail.com

*Аннотация.* В данной работе рассматривается возможная реализация емкостного датчика уровня с гибкой конструкцией.

*Ключевые слова.* Емкостный датчик уровня, компенсационный тип, гибкая конструкция датчика

## FLEXIBLE CAPACITIVE LEVEL SENSOR OF COMPENSATIVE TYPE

М.А. Sakhi, Т.А. Kulichenko

Ryazan State Radio Engineering University  
vilyam\_hack666.92@protonmail.com

*Abstract.* In this paper, a possible implementation of capacitive sensor of level is examined with a flexible construction.

*Keywords.* Capacitive sensor of level, compensative type, flexible construction of sensor

Как известно, на процесс определения уровня жидкости емкостным методом оказывает влияние изменение ее диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  вследствие, например, колебаний температуры или наличия в жидкости загрязнений. Для устранения этого нежелательного эффекта применяются, в частности, емкостные уровнемеры компенсационного типа, содержащие измерительный зонд (измерительный конденсатор), соответствующий по длине диапазону измерения в емкости с жидкой средой, и опорный зонд (компенсационный конденсатор), находящийся в погруженном состоянии в измеряемой среде ниже диапазона измерения. Значение емкости жидкой среды, определяемое измерительным зондом –  $C_{из}$ , зависит от уровня данной среды в емкости и от ее диэлектрической проницаемости, в то время как значение емкости жидкой среды, определяемое опорным зондом –  $C_{оп}$ , зависит только от ее диэлектрической проницаемости.

Нахождение величины, пропорциональной отношению  $\frac{C_{из}}{C_{оп}}$ , позволяет корректно измерить величину уровня жидкости независимо от изменения ее диэлектрической проницаемости. Известны емкостные уровнемеры компенсационного типа, в которых опорный зонд расположен между нижним торцом измерительного зонда и дном емкости с измеряемой средой. Общий электрод, являющийся второй обкладкой конденсаторов, располагается либо рядом с упомянутыми зондами, либо концентрически с ними.

Также известен емкостной уровнемер компенсационного типа, в котором и измерительный зонд, и опорный зонд имеют коаксиальную конструкцию и расположены рядом друг с другом. Общим недостатком упомянутых выше емкостных уровнемеров компенсационного типа является ограничение областей применения, поскольку примененное в них конструктивное решение не позволяет использовать уровнемеры в емкостях сложной формы, имеющих, в частности, криволинейный профиль поперечного сечения (в частности, чашеобразный), что характерно, например, для ряда средств морского транспорта.

Для устранения данного недостатка предполагается в емкостном уровнемере, содержащем измерительный и опорный зонды, установленные в емкости с жидкой средой и связанные со средствами регистрации и обработки сигнала, измерительный и опорный зонды выполнить в виде гибких петлеобразных проводников, помещенных в гибкий металлический экран, который выполнен с возможностью доступа жидкой среды в пространство между петлеобразными проводниками и упомянутым экраном, а в нижней части опорного зонда выполнена реперная петля, общая протяженность которой, по крайней мере, в два раза больше общей протяженности остальной части опорного зонда.



На рисунке 1 схематически показана конструкция предполагаемого емкостного уровня.

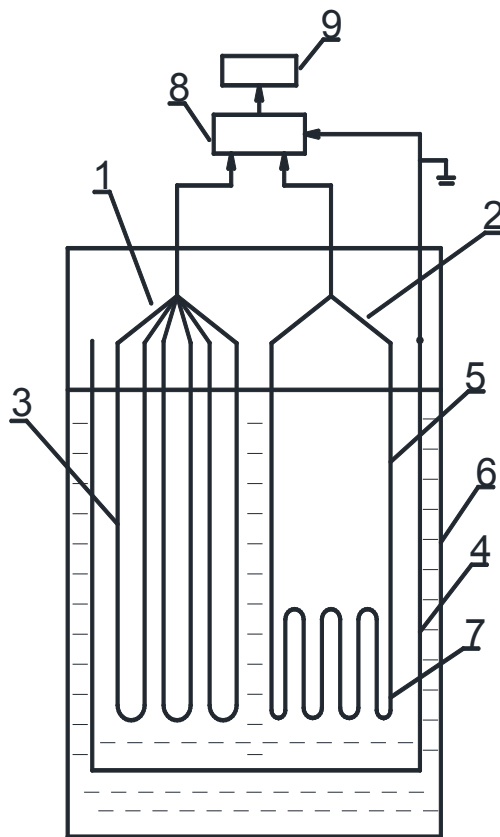


Рис. 1. Предполагаемая схема емкостного уровнемера

Данный емкостной уровнемер содержит измерительный зонд 1 и опорный зонд 2, имеющие форму петель. Измерительный зонд 1 образован гибким проводником 3, выполненным, например, в виде трех петель, и гибким металлическим экраном 4; опорный зонд 2 образован гибким проводником 5, выполненным в форме сплошной петли, и тем же гибким металлическим экраном 4, таким образом, проводник 3 и экран 4 образуют один конденсатор, а проводник 5 и экран 4 – другой конденсатор, и экран 4, имеющий также форму петли, является для обоих конденсаторов общей обкладкой. Экран 4 выполнен с возможностью доступа жидкой среды в пространство между ним и проводниками 3 и 5.

В качестве изолятора гибких проводников 3 и 5 применена оболочка из фторопласта, обладающая стабильной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  в широком диапазоне температур и обладающая низкой адгезией, что повышает стойкость к загрязнениям.

Боковые стороны петлеобразных проводников 3 и 5 и экрана 4 имеют идентичную форму. Так, например, в емкости чашеобразной формы боковые стороны проводников 3 и 5 и экрана 4 имеют радиус кривизны, равный или близкий радиусу кривизны соответствующей стенки емкости, напротив которой они расположены.

Измерительный и опорный зонд 1 и 2 размещены в емкости 6 с жидкой средой, уровень которой измеряется, при этом они имеют одинаковую протяженность по высоте емкости 6 и их форма коррелирует с формой стенок емкости 6.

Емкостная секции измерительного зонда  $l$  (непосредственно участвующая в процессе измерения) имеет протяженность по всей высоте емкости  $b$  и каждая петля зонда  $l$

характеризуется одинаковой удельной емкостью на единицу длины проводника 3. Проводник 5 опорного зонда 2 также имеет протяженность по всей высоте емкости 6, но в нижней части проводника 5 выполнена реперная петля 7 высотой  $L$  (при отсчете от дна емкости 6). Реперная петля 7 содержит, по крайней мере, одну дополнительную петлю. Общая протяженность реперной петли 7 на единицу измеряемого уровня жидкой среды, по крайней мере, в 2 раза больше общей протяженности на единицу измеряемого уровня жидкой среды остальной части проводника 5.

Следует отметить, что реперная петля опорного зонда может содержать (при увеличении размеров уровнемера и использовании его в емкостях больших объемов) и большее количество дополнительных петель. Единственным ограничением является исключение образования нежелательных емкостных проводников. Уровнемер работает следующим образом. Производится измерение опорной емкости  $C_{оп}$  между проводником 5 и экраном 4 и измерительной емкости  $C_{из}$  между проводником 3 и экраном 4 и определяется знак разности ( $C_{оп} - C_{из}$ ). Если он положителен ( $C_{из} > C_{оп}$ ), то это означает, что жидкость находится выше емкостной секции опорного зонда (текущее значение уровня  $H$  больше величины  $L$ ).

Для работы уровнемера требуется построить график зависимости  $C_{из} = f(H)$ . По известному соотношению между высотой проводника 3 (протяженностью измерительного зонда 1) и величиной  $L$  (высотой реперной петли 7), характеризующему коэффициентом  $k$ , определяется ожидаемое значение  $C_{из}$ , соответствующее полному заполнению емкости данной жидкой средой ( $C_{из1}$  или  $C_{из}$  на уровне 100 %) как  $C_{оп} \times k$ . Так находится одна, верхняя точка графика  $C_{и} = f(H)$ . Вторая, нижняя точка графика, соответствующая  $C_{из}$  с высотой реперной петли  $L$ , определим её как  $C_{из2}$ , находится по заранее известной калибровочной кривой, и по найденным двум точкам строится график  $C_{из} = f(H)$ .

С помощью определенной таким образом зависимости  $C_{из}$  от  $H$  находится корректное значение уровня  $H$  с учетом возможного изменения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  измеряемой жидкой среды.

Но если положение верхней точки зависимости  $C_{из} = f(H)$ , а именно  $C_{из}$  на уровне 100 % заполнения емкости жидкой средой, зависит практически только от величины  $\epsilon$  и является относительно стабильным, то положение второй точки ( $C_{из2}$ ), по которой строится график  $C_{из} = f(H)$ , определенное по калибровочной кривой, может в процессе эксплуатации изменяться, точка начинает «плавать». Это может быть обусловлено, в частности, появлением в жидкой среде загрязнений, их налипанием на обкладки конденсаторов.

Чтобы контролировать положение нижней точки графика ( $C_{из2}$ ), уровнемер осуществляет постоянный мониторинг изменения разности ( $C_{оп} - C_{из}$ ) от  $C_{из}$ .

Функция  $y = f(x)$ , где  $x$  это  $C_{из}$ , а  $y$  это ( $C_{оп} - C_{из}$ ), представляет собой ломаную кривую, имеющую вид перевернутой буквы V и образованную двумя прямолинейными участками. Уровнемер находит экстремум (максимум) функции  $(C_{оп} - C_{из}) = f(C_{из})$ , который будет наблюдаться при  $H = L$  и значение аргумента этой функции в максимуме и будет искомым значением  $C_{из2}$ , т. е.  $C_{из}$  на уровне  $L$ . С учетом скорректированного значения строится новый график зависимости  $C_{из} = f(H)$ .

Использование предложенной конструкции позволяет расширить области применения емкостного уровнемера и использовать его – в отличие от уровнемера, принятого в качестве ближайшего аналога – в емкостях различной формы и конструкции, включая, в частности, емкости сложной формы с криволинейным профилем поперечного сечения, измерять с

требуемой точностью уровни различных сред независимо от изменения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  жидкой среды и присутствия в ней загрязнений.

### Библиографический список

1. Емкостные уровнемеры. Устройство, принцип действия, типы и виды емкостных уровнемеров. [Электронный ресурс], URL: [http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika\\_521.html](http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_521.html) (дата обращения 16.11.17).
2. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». — 3-е изд., перераб. — М.: «Энергия», 1978.
3. Патент Емкостной компенсационный уровнемер SU1538055A1, AC 798491 БИ № 3, 1990.
4. Патент Емкостной компенсационный уровнемер SU1695139A1, AC 1108334 БИ № 44, 1991.
5. Патент Capacitive level sensor device for a dielectric liquid EP1091198A1, 2001.

УДК 681.5.08; ГРНТИ 50.09.33

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ЗАДАТЧИКА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СЕРИИ AVR ПРОИЗВОДСТВА ATMEL

П. Григорьев

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

*Аннотация.* В данной работе представлена структура цифрового задатчика сигналов, основанная на использовании микроконтроллера ATMEGA16 семейства AVR. Описываются компоненты устройства и методы обмена информацией с ними.

*Ключевые слова.* Микроконтроллер AVR, задатчик сигналов, токовая петля.

## DEVELOPMENT OF THE DIGITAL SET POINT GENERATOR OF ANALOG SIGNALS BASED ON ATMEL'S AVR MICROCONTROLLER

P. Grigoryev

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

*Abstract.* This work presents the structure of the digital set point generator based on ATMEGA16 AVR microcontroller. Components of the device and methods of data exchange are described.

*Keywords.* AVR microcontroller, set point generator, current loop.

### Введение

В различных областях техники часто возникает необходимость обеспечения точного положения некоторого механизма в пространстве. Это могут быть различного рода манипуляторы, робототехнические комплексы или системы наведения. В стремлении изучить методы управления в таких системах, а также способы их реализации, был разработан программируемый привод угловых перемещений, способный стабилизировать положение рабочего механизма в двух плоскостях.

Программируемый этот привод именуется по той причине, что он способен реализовывать различные алгоритмы работы, в соответствии с заложенной в него программой. Одним из таких алгоритмов является обеспечение углового положения рабочего механизма в соответствии со значениями координат, заданными оператором вручную.

Желание обеспечить возможность работы привода по такому алгоритму привело к необходимости разработки задатчика аналоговых сигналов, передаваемых на вход программируемого логического контроллера (ПЛК), управляющего работой привода. Для увеличения точности задания, а также для формирования более удобного интерфейса пользователя было

решено спроектировать цифровой задатчик с последующим преобразованием цифровой величины в аналоговую.

### **Структура системы**

Начальными данными для проектирования устройства являлись следующие требования и пожелания:

1. С целью обеспечения совместимости с ПЛК, разрабатываемое устройство должно генерировать аналоговый сигнал типа токовая петля;
2. Необходимо обеспечить удобный интерфейс пользователя с обязательной индикацией величины генерируемого сигнала;
3. С целью уменьшения задействованных аналоговых входов ПЛК, устройство должно предоставлять возможность передачи двух сигналов последовательно по одной линии связи;
4. Система должна быть максимально гибкой и предоставлять возможность корректировки логики работы устройства без изменения аппаратной конфигурации.

Управление работой всего устройством осуществляет микроконтроллер (МК) Atmega16, имеющий 32 линии ввода-вывода [1], которых достаточно для обмена информацией со всеми компонентами, а именно: инкрементным энкодером, LCD-дисплеем и цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП).

Цифровое представление генерируемого сигнала хранится в памяти МК. Для его изменения используется инкрементный энкодер. Анализ квадратурного сигнала на его выходе позволяет определить число выработанных импульсов, а также направление вращения. В результате цифровое представление сигнала будет увеличено либо уменьшено на подсчитанную величину. Для преобразования цифрового сигнала в аналоговый используется ЦАП, имеющий на выходе эквивалентный цифровому значению уровень напряжения. В дальнейшем напряжение подлежит преобразованию в ток на согласующем резисторе. LCD-дисплей используется для индикации генерируемого значения, а также позволяет создать простейший графический пользовательский интерфейс.

### **Описание работы компонентов устройства**

Принципиальная электрическая схема задатчика представлена на рисунке 1.

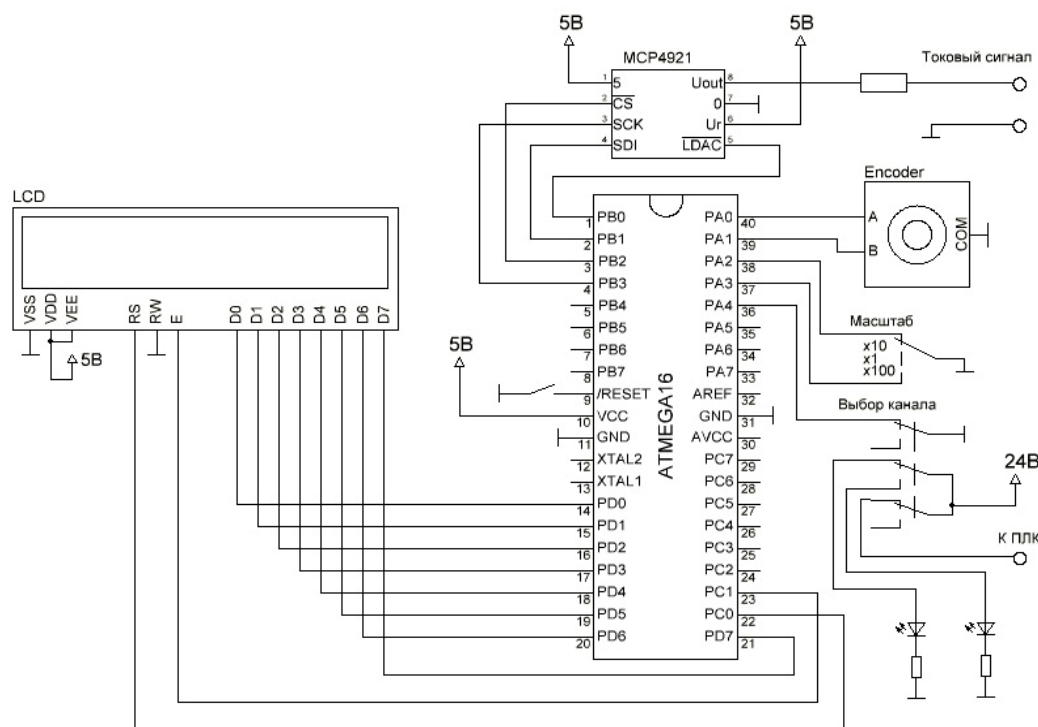


Рис. 1. Схема датчика принципиальная

Инкрементный энкодер содержит два вращающихся контакта сложной формы, замыкающихся на общий контакт с угловым сдвигом 90 градусов [3]. Для получения квадратурного сигнала общий вывод энкодера подключается к нулю питания, а выводы контактов к входам МК, работающим в режиме автоматической подтяжки к напряжению питания [1]. В результате на момент замыкания одного из контактов энкодера на общий контакт напряжение на соответствующем входе МК подтянется к нулю, на момент размыкания – к напряжению питания, то есть будет сгенерирован полноценный квадратурный сигнал. Он в дальнейшем программно анализируется, и выносится решение об изменении цифрового представления задаваемой величины.

В качестве ЦАП используется микросхема MCP4921 – 12-битный ЦАП с последовательным интерфейсом. Данная микросхема обладает рядом управляющих входов, которые подключены к выходам МК и управляются ими в соответствии с временной диаграммой работы [2]. Максимальное значение напряжения, генерируемого ЦАП задается с помощью опорного напряжения, подаваемого на одну из ножек микросхемы.

Стоит отметить, что входной модуль ПЛК работает с токовой петлей формата 4-20мА, а значит, нулевому значению уставки должно соответствовать протекание тока 4мА в линии связи. Для обеспечения этого тока необходимо к сигналу на выходе ЦАП прибавить некоторое постоянное напряжение. Однако, более простым способом является программное прибавление дополнительной величины к цифровому эквиваленту уставки. При преобразовании такого сигнала в аналоговый на выходе ЦАП будет получен уже смещенный сигнал, готовый для дальнейшего преобразования.

Для индикации уставки используется знаковосинтезирующий жидкокристаллический дисплей. Управление дисплеем производится аналогично подачей управляющих воздействий на определенные входы в соответствии с временной диаграммой [4]. Однако, в отличие от ЦАП, дисплей обладает параллельным интерфейсом, по которому происходит передача и команд, и данных. Используемый в рассматриваемом устройстве МК обладает достаточно большим количеством линий ввода-вывода, что позволяет управлять дисплеем по 8-

мибитной шине данных, однако возможен и параллельно-последовательный способ обмена данными по 4-хбитной шине.

Дисплей обладает матрицей из знаковинтезирующих индикаторов, в узлах которой могут быть выведены те или иные символы, графические представления которых уже хранятся в памяти дисплея [4]. Однако, помимо общепринятых символов ASCII, в памяти присутствуют и различные графические элементы, с помощью которых можно организовывать меню, диаграммы и другие элементы интерфейса. При отсутствии необходимого изображения в памяти, существует возможность записи пользовательского символа. Все это позволяет программно формировать графический пользовательский интерфейс под конкретные нужды.

### Реализация устройства

Выработку управляющих сигналов на все компоненты устройства обеспечивает МК. Управляющая программа была написана на языке С. Помимо обеспечения описанного взаимодействия МК с другими компонентами программа должна содержать алгоритм анализа квадратурного сигнала энкодера, а также осуществлять переключение между двумя каналами задания.

В основе обработки показаний энкодера лежит программное дифференцирование сигнала одного из каналов, то есть регистрация его фронтов. Наличие признака падающего фронта сигнала свидетельствует об одном дискретном перемещении энкодера, в то время как значение сигнала второго канала в момент регистрации падающего фронта первого говорит о направлении вращения. Так как задатчик разрабатывается для использования в приводе угловых перемещений, где, например, для азимутальной координаты максимальное значение составляет 360 градусов, то для обеспечения более быстрого задания желаемой величины сигнала предусмотрена группа переключателей масштаба. Они позволяют при одном дискретном перемещении энкодера увеличивать уставку не на 1, а на 10 или 100 градусов.

Работа устройства была промоделирована в САПР Proteus, которая позволила не только проверить разработанную для МК программу на ошибки, но и спроектировать печатную плату, на которой в дальнейшем и были размещены все компоненты.

При описании начальных требований к устройству было отмечено, что необходимо обеспечить запись уставок по двум каналам, используя одну линию связи. Для каждого канала в памяти МК предусмотрена своя переменная, а выбор канала осуществляется с помощью обычного переключателя, который также воздействует и на ПЛК, с целью определения текущего канала записи.



Рис. 2. Лицевая панель задатчика

Для дополнения пользовательского интерфейса, на панели устройства предусмотрена светодиодная индикация, сигнализирующая о текущем канале задания. Для записи сгенерированного сигнала в ПЛК в качестве уставки на панели устройства предусмотрена кнопка, вмонтированная в корпус энкодера. При ее нажатии на вход ПЛК подается напряжение 24В, после чего токовый сигнал оцифровывается и используется в дальнейших вычислениях. Внешний вид лицевой панели после сборки устройства представлен на рис. 2.

## Выводы

Разработанное устройство удовлетворяет всем заданным в начале проектирования требованиям. Основным показателем качества задатчика является точность формирования токового сигнала. Аппаратно она ограничена дискретностью ЦАП. Используемый в данной работе преобразователь имеет разрешение 12 бит, а значит, существует возможность получения 4096 дискретных значений. Однако, при отсутствии необходимости в высокой точности задания, она может быть ограничена программно, что позволит существенно сократить число тактов МК, необходимых для загрузки данных в ЦАП, а значит повысить быстродействие устройства.

При необходимости изменения точности задатчика или при желании сформировать другой графический интерфейс, достаточно перепрограммировать МК, без внесения изменений в аппаратную конфигурацию.

## Библиографический список

1. Atmega16(L) User Manual. Atmel Corporation. 2010.
2. MCP4921/4922 User Manual. Microchip Technology Inc. 2007.
3. PEC11R Series Specification. Bourns Inc.
4. Winstar WH0802A Specification. Winstar Display Co., LTD.

УДК 621.9; ГРНТИ 55.13.99

## СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ИНТЕГРАЦИИ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА БАЗЕ PLM-СИСТЕМЫ T-FLEX

**О.В. Миловзоров, П.О. Михайлин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, milovzorov\_542@inbox.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются средства автоматизации проектирования технологических процессов в системе T-Flex. Технология на основе интеграции с системой T-Flex CAD. Предлагаются некоторые принципы адаптации инструментальных средств комплекса T-Flex для решения задач автоматизированного проектирования технологического процесса машиностроительных изделий.

*Ключевые слова.* Автоматизация проектирования технологических процессов, комплекс T-Flex, конструктивно-технологические элементы.

## MODERN INTEGRATION TOOLS OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION ON THE BASE OF PLM-SISTEMY T-FLEX

**O.V. Milovzorov, P.O. Mikhaylov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, milovzorov\_542@inbox.ru*

*Summary.* Computer-aided design facilities of technological processes in the Technology system T-Flex on the basis of integration with the T-Flex CAD system are considered. Some principles of adaptation of tools of the T-Flex complex for the solution of problems of the automated design of technological process of machine-building products are offered.

*Keywords.* Automation of design of technological processes, T-Flex complex, constructive and technological elements.

## Введение

В современных условиях машиностроительного производства необходима тесная увязка этапов конструкторской и технологической подготовок производства, которая являет-

ся методологической основой при разработке российских PLM-систем (*product lifecycle management – системы поддержки жизненного цикла изделий*). Традиционно в российском машиностроительном комплексе основой технологической подготовки служат маршрутно-операционные технологические процессы, для автоматизации проектирования разработан целый ряд систем, главным образом, российских. Поскольку эта сфера специфична для российского машиностроения, то и разработчики PLM-систем стремятся максимально учесть российские особенности проектирования маршрутно-операционных технологий. Одной из наиболее известных российских PLM-систем является комплекс T-Flex. Конструкторская часть в этом комплексе обеспечивается системой T-Flex CAD, а технологическая – системой T-Flex Технология. Их интегрированность в рамках комплекса T-Flex обеспечивает тесную взаимосвязанную работу конструкторов и технологов предприятия.

### Основная часть

Наиболее сильной стороной системы T-Flex CAD является возможность создания сложных параметрических моделей деталей, узлов и изделий, которые легко видоизменяются в зависимости от того, какого вида исполнение нам будет необходимо. Параметризация позволяет путем простого изменения численных значений параметров чертежа или 3D-модели получать модели разных конструктивно-подобных машиностроительных деталей и изделий. Однако при создании технологического процесса требуется написание *разных* технологических процессов на *одну и ту же* модель машиностроительного изделия, отличающихся как разными размерными цепями, так и наличием или отсутствием тех или иных переходов и даже операций. Основой для автоматизации проектирования маршрутно-операционной технологии в системе T-Flex Технология служат технологические элементы, которые могут создаваться самим технологом и обеспечиваться комплексом различных параметров [1-7]. Для связи технологического процесса с моделью объекта изготовления в T-Flex Технологии предусмотрена система параметризации, позволяющая связывать размер конструкторский и соответствующий ему параметр технологического элемента. Благодаря такой параметризации конструкторских элементов и технологических обеспечивается интеграция чертежа (3D-модели) в T-Flex CAD и технологического процесса, так как благодаря привязкам одних элементов к другим обеспечивается автоматическое изменение технологического процесса вместе с изменениями конструктивных параметров детали.

Благодаря параметризации, в системе возникает возможность проектирования не только машиностроительных механообрабатывающих процессов, но и таких техпроцессов, как сборка печатных плат [7].

Вместе с развитием программного комплекса T-Flex естественным образом видоизменяются и некоторые средства для автоматизации проектирования как модели машиностроительного объекта (деталь, узел, изделие), так и его технологического процесса. Поэтому возникает необходимость в проработке новых методологических принципов проектирования. Основные принципы автоматизации проектирования технологических процессов при этом остаются неизменными. Это, прежде всего, унифицированные шаблоны текстов переходов, привязка переходов к технологическим элементам, возможность использования встроенных расчетов – элементарных алгоритмов для определения численных или текстовых значений отдельных параметров модели и соответствующего технологического процесса [1-3].

T-Flex Технология (далее по тексту АРМ-модуль), также, как и в ранних релизах, позволяет создавать свои библиотеки унифицированных параметрических переходов, которые в дальнейшем формируют конкретный технологический процесс и могут использоваться в других технологических процессах.

Первым этапом является создание объекта - технологического процесса, что обеспечивается в АРМ-модуле на вкладке технологические процессы, для чего на верхней панели интерфейсной строки имеется соответствующая опция, активизируемая правой клавишей



мышь (кнопка «Создать»). После создания появляются иконки шестерни с названиями будущих технологических процессов, представленных на рисунке 1.

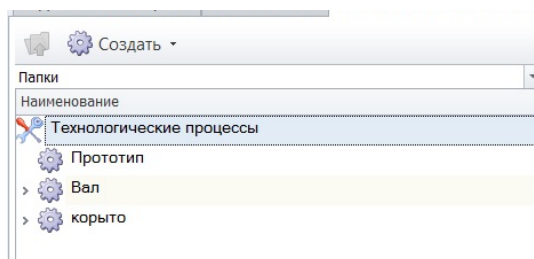


Рис. 1. Создание технологических процессов в АРМ-модуле

Чтобы проиллюстрировать принципы автоматизированного проектирования технологических процессов в комплексе T-Flex для примера возьмем технологический процесс под названием «Вал». На начальном этапе будущий технологический процесс представляет собой пустую вкладку. Наполнение технологического процесса в АРМ-модуле очень схож с созданием пути в папках в системе Windows и имеет вид дерева. Система имеет библиотеку стандартных операций, однако имеются также средства для формирования новых пользовательских операций. Создадим несколько операций будущего технологического процесса, либо выберем их из библиотеки существующих в справочнике. На рисунке 2 представлены необходимые операции для создания параметрического технологического процесса.

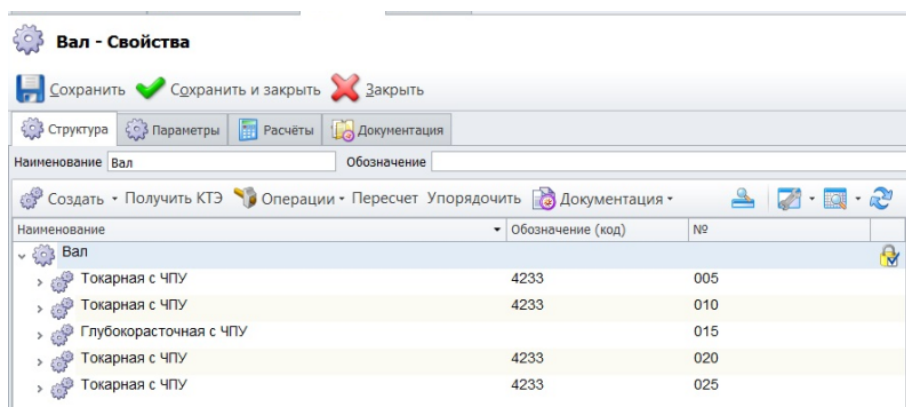


Рис. 2. Создание операции в АРМ-модуле

После создания операции необходимо каждую вкладку заполнить созданными переходами как представлено на рисунке 3. Система предлагает выбор стандартных шаблонов текстов переходов в базе данных модуля, однако, в отличие от технологических операций, их набор весьма ограничен. Поэтому целесообразна разработка системы новых шаблонов, которые могут быть созданы заранее самим пользователем и помещены в справочник.

Необходимо отметить, что новый комплекс T-Flex 15 позволяет использовать разную степень автоматизации проектирования – как вплоть до расчетов выполняемых размеров с припусками на дальнейшую обработку, так и в обобщенном виде с ссылкой на операционный эскиз, разработка которого технологом машиностроительного предприятия остается важнейшей обязанностью.

В нашем случае было использовано традиционное для российского машиностроения указание в технологическом переходе операционного эскиза, хотя возможны и более сложные варианты формирования унифицированных шаблонов текстов переходов с указанием конкретных выполняемых размеров. В последнем случае целесообразна разработка шабло-

нов технологических переходов, описанных в []. Отличие использования данной методики в новом комплексе T-Flex заключается в применении системы припусков на дальнейшую обработку, которые могут быть указаны в CAD модели детали, выполненной конструктором, или операционном эскизе, выполненном технологом на основе конструкторской модели, в виде отдельных текстовых полей. Эти поля в процессе интеграции модели детали и технологического процесса в комплексе T-Flex могут быть привязаны к таким параметрам технологических элементов, как PR1 (припуск на дальнейшую механическую обработку – чистовую (получистовую), PR2 (припуск на тонкую мехобработку). Общее количество таких параметров можно сделать соответствующим максимально точной поверхности с наибольшим количеством переходов вплоть до достижения необходимой точности. Шаблоны текстов переходов при этом будут иметь типовой вид, например «Точить поверхность диаметром {D} [с припуском на получистовую обработку {PR1}][, чистовую обработку {PR2}][, тонкую обработку {PR3}]»

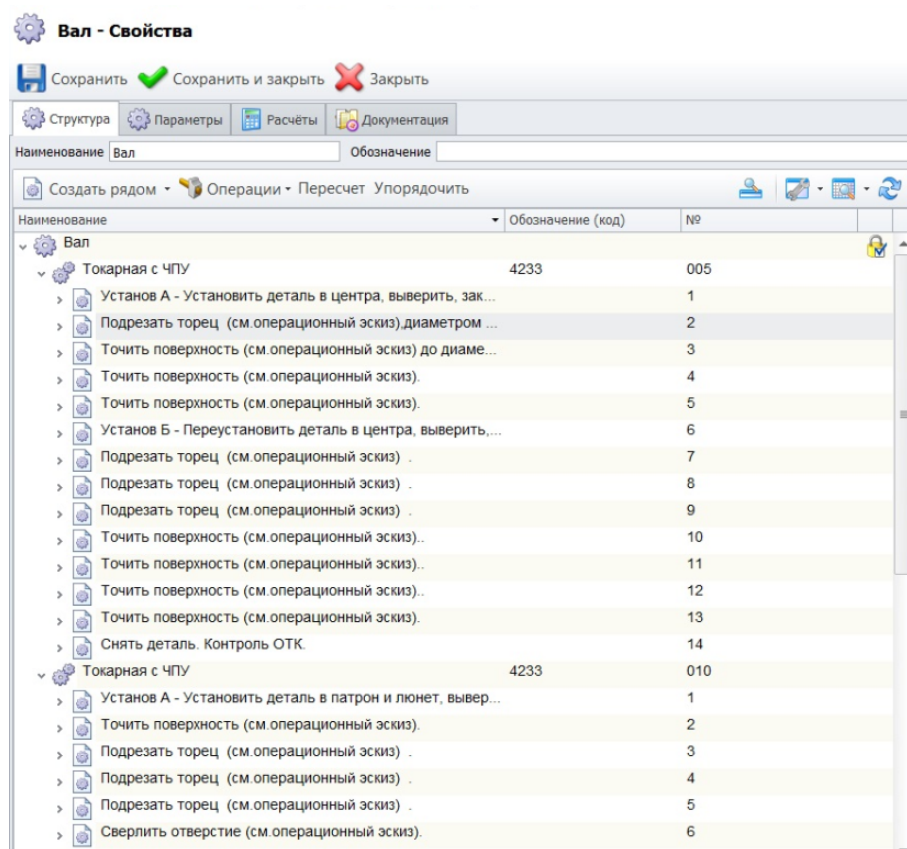


Рис. 3. Создание операций в АРМ-модуле

На рисунке 3 представлен подход к формированию технологического процесса в обобщенном виде, путем ссылки на операционный эскиз. После создания операций и переходов необходимо связать технологический процесс и CAD модель. Для этого необходимо загрузить в АРМ-модуль чертеж (привязать), который ранее был создан в T-Flex CAD. Привязка чертежа осуществляется следующим образом:

- переходим на вкладку технологического процесса (в данном случае “Вал”);
- на верхней панели интерфейса выбираем вкладку параметры;
- после появления окна параметров выбираем раздел - Эскиз;
- и выбираем интерфейсную кнопку с тремя точками, которая, как и в старых версиях системы T-Flex Технология обеспечивает переход к выбору конкретного объекте находящегося в базе данных – справочнике T-Flex DOCs (см. рисунок 4).

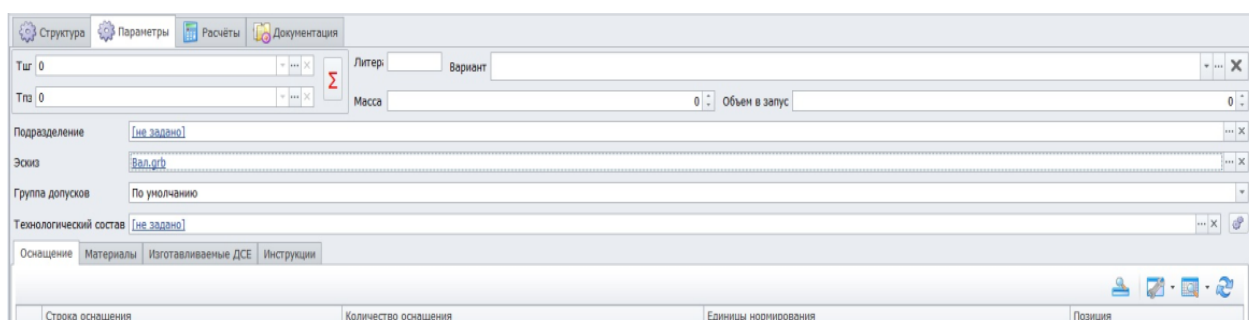


Рис. 4. Привязка 2D эскиза к технологическому процессу

Далее выбираем чертеж с указанием пути месторасположения необходимого файла.

После привязки на вкладке “структура” помимо технологического процесса появляется изображение 2D эскиза, представленного на рисунке 5.

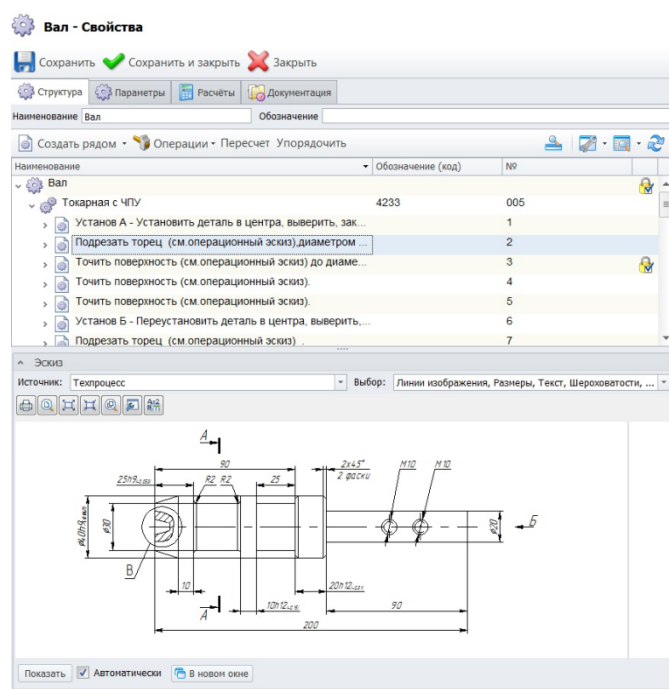


Рисунок 5 – Отображение 2D эскиза в АРМ-модуле.

После привязки чертежа можно приступать к созданию параметров и их непосредственной привязки, рисунок 6.

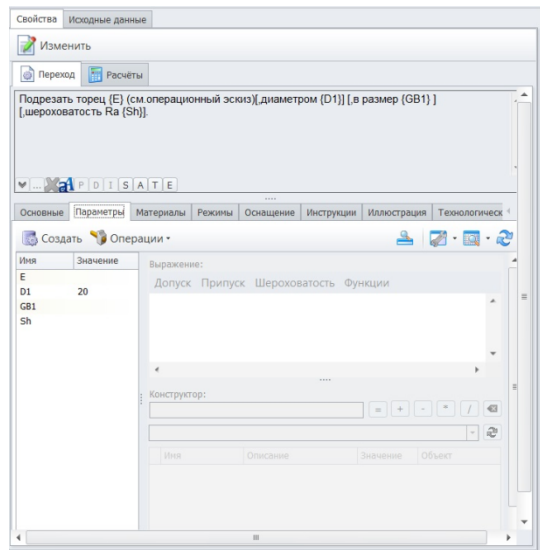
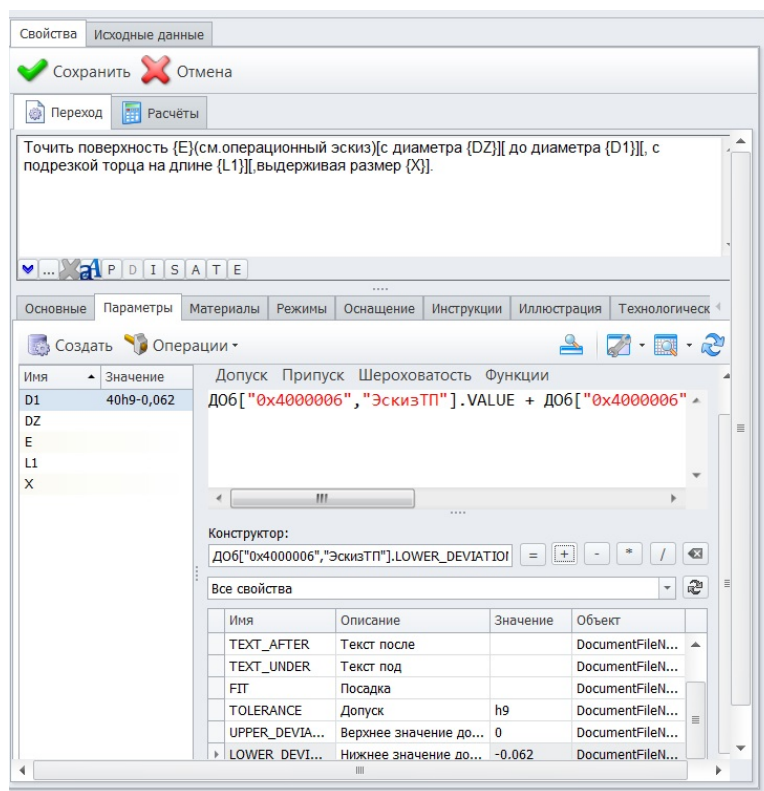


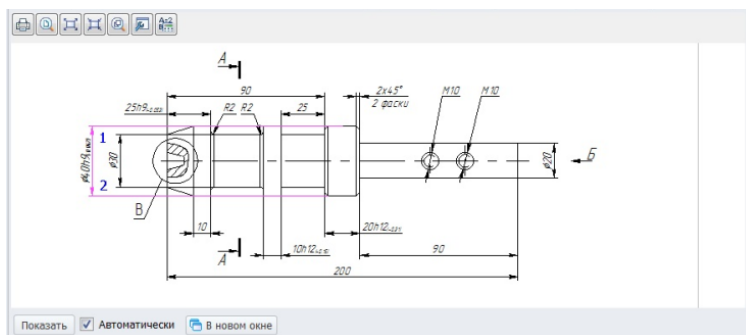
Рис. 6. Создание параметров и текста переходов

При создании технологических параметрических переходов в программе предусмотрены прежние правила, которых необходимо придерживаться: имя параметра, заключенного в скобки { }, в режиме просмотра принимает его значение. Если в тексте перехода какая-либо фраза вместе с параметром заключены в квадратные скобки [ ], и если параметр равняется нулю, либо не имеет значения, то все содержимое квадратных скобок исключается из текста перехода.

После создания параметрического текста переходов можно приступать к непосредственной привязке чертежа и созданных параметров. В окне с изображением чертежа из выпадающего списка выбираем необходимые технологические элементы к которым будет привязываться параметр, это могут быть сами поверхности, узлы, грани, текст и т.д. В разделе параметры необходимо перейти к строке “конструктор” и выбрать из выпадающего списка все свойства (это необходимо для создания списка привязок) Далее выбираем параметр (рисунок 7а) и указываем на чертеже тот элемент, которые его описывает (рисунок 7б).



(а)



(б)

Рис. 7. выбор параметра на чертеже (а) выбор описания параметра (б)

Как уже отмечалось, пользователь имеет большие возможности по выбору и созданию средств автоматического формирования текстов переходов конкретного технологического процесса благодаря системе параметров технологических элементов. Возможно использование стандартных, а также создание целого набора самых различных новых параметров, имеющих как численное, так и текстовое значение. Наличие и отсутствие значения того или иного параметра автоматически приводит к включению или исключению соответствующего фрагмента текста перехода.

В данном примере на рисунке 7а такими параметрами являются:

DZ – диаметр заготовки;

E – фрагмент конструкции детали на операционном эскизе;

D1 – первый выполняемый размер (это может быть черновой или получистовой – в зависимости от конкретной ситуации);

L1 – длина обрабатываемой цилиндрической поверхности от торца детали;

D – окончательный размер поверхности в соответствии с чертежом, включая указание качества или допуска.

В сформированном списке привязок необходимо выбрать только те элементы, которые необходимы для данной конструкции детали и которые следует привязать. После выбора необходимых элементов в строке конструктора появиться описание этого элемента. Для того, чтобы напротив параметра появилось значение, необходимо произвести некоторые операции над привязками, как-то – сложить, вычесть, умножить или разделить. Например, пусть нам необходимо связать параметр D1 и диаметр 40 с полем допуска и его отклонениями. Выбираем из списка привязок размер диаметра 40, после нажимаем знак “+” это означает, что на данный момент мы не складываем, а выбираем именно этот параметр. Далее выбираем допуск и нажимаем “+”, то есть мы тоже выбрали этот параметр, но не сложили, а именно выбрали. Теперь у нас будут выбраны 2 параметра – размер и допуск, таким же образом к ним добавляем отклонения, и только после этого выбираем алгебраический знак “=”. Это означает, что именно та выбранная линия или поверхность будут иметь именно все эти параметры и принимать именно эти значения.

По аналогии составляется весь параметрический технологический процесс. Таким образом, системы T-Flex CAD и T-Flex Технология имеют полную параметрическую связь и создают гибкую электронную документацию которую можно легко и удобно корректировать. Однако, нужно отметить и недостаток такой системы, заключающийся в том, что пользователю необходимо обладать некоторыми знаниями программирования для создания таких технологических процессов. В остальном система является достаточно гибкой и автоматизированной что является огромным преимуществом. После создания и отработки параметрических переходов можно создать прототип на его основе, для этого необходимо перевести все параметрические переходы в справочник переходов, тогда при выборе и создании технологического процесса система будем сама предлагать варианты написания того или иного перехода.

### Выводы

Таким образом, системы T-Flex CAD и T-Flex Технология обеспечивают создание прототипов технологических процессов, которые облегчают процессы проектирования конструкторской и технологической документации, обеспечивают работу автоматизированного производства, сокращение возможных ошибок, связанных с человеческим фактором.

### Библиографический список

1. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР маршрутно-операционной технологии тел вращения на базе комплекса T-FLEX//Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XX Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. 2015. С.163-165.DE2-115 User Manual. Terasic Technologies Inc. 2012.
2. 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.
3. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № S1. С. 59-66.
4. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-Flex Технология//Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016. Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах / Рязанский государственный радиотехнический университет; под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2016 (Том. 1 )
5. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов в системе T-FLEX Технология: учеб. пособие. Рязань: Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения, 2013. 63 с.
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. Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конферен-

ции: в 8 томах / Рязанский государственный радиотехнический университет; под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2017 (Том. 1 ) С. 19-31.

7. Миловзоров О.В. Автоматизация проектирования маршрутно-операционных техпроцессов сборки печатных плат в САПР-системе T-FLEX Технология центров //Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017. Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 8 томах / Рязанский государственный радиотехнический университет; под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2017 (Том. 4 ) С. 279-283.

УДК 621.313.075

## ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

И.Е. Синицын

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань*

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы разработки конструкции и построения математической модели линейного электромеханического преобразователя возвратно-поступательного действия, предполагаемого к использованию в робототехнических устройствах стационарного базирования.

*Ключевые слова.* Преобразователь, конструкция, математическая модель, управление, линейный цилиндрический двигатель.

## LINEAR ELECTROMECHANICAL CONVERTER

I.E. Sinitcyin

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan*

*Summary.* Questions of development of a design and creation of mathematical model of the linear electromechanical converter of the reciprocating action assumed to use in robotic devices of stationary basing are considered.

*Keywords.* Converter, design, mathematical model, management, linear cylindrical engine.

### Введение

Современное машиностроение не может развиваться без высокопроизводительного и энергоэффективного оборудования. Требования заказчика к оборудованию растут и определяются потребителями конечной продукции и наличием конкуренции. Это обусловило необходимость разработки и внедрения новых видов электромеханических преобразователей широкого спектра использования, в том числе и роботостроении. Разработки в этом направлении ведутся многими известными фирмами Японии, Германии, Франции и ряда других государств. Российская наука также занимается разработкой подобных устройств, особенно в последние десятилетия. В настоящее время работа по созданию электромеханических преобразователей с линейным перемещением подвижной части проводится, в том числе, и на кафедре АИТП Рязанского государственного радиотехнического университета. В основу разработки положена идея создания линейного электромеханического преобразователя возвратно-поступательного действия, в котором отсутствует необходимость использования промежуточного энергоносителя кроме электромагнитного поля.

**Цель работы** заключается в создании конструкции линейного электромеханического преобразователя возвратно-поступательного действия, и его адекватной математической модели.



### Разработка конструкции линейного электромеханического преобразователя

Задача создания работоспособных линейных электромеханических преобразователей, в частности линейных электрических двигателей, продиктована требованиями развивающейся промышленности, строительной индустрии и модного направления – робототехники. Возможность решения такой задачи связана с появлением электричества и электромагнитного поля, открытого М.Фарадеем. В 1888 году был построен первый работоспособный линейный двигатель постоянного тока, хотя и не нашедший промышленного применения. Исследование состояния проблемы на момент начала работ на кафедре АИТП по сведениям ФИПС, показало, что выбранное направление не бесперспективно. В опубликованных патентах по данному направлению [1, 2] представлены описания линейных цилиндрических электромагнитных двигателей постоянного тока. Подробный анализ содержания найденных патентов показал, что достигнутый в них технический результат может быть улучшен. С учётом этого был разработан новый образец линейного цилиндрического электромеханического преобразователя. В основу данного образца положен линейный электрический двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

По материалам, представленным в ФИПС на данный преобразователь, в частности на линейный цилиндрический двигатель, получен патент, [3].

### Математическая модель электромеханического преобразователя

Для исследования управляемости электромеханического преобразователя построена математическая модель при определённых ограничениях по магнитным потокам рассеяния, по распределению его в рабочем воздушном зазоре [4]. Ход якоря ограничен в пределах от нуля до величины  $X_{max}$ . Полагаем, что основной магнитный поток статора создаёт в рабочем воздушном зазоре индукцию магнитного поля величиной  $B$  (Тл). Якорь преобразователя представляет собой сложную электромагнитную систему из ряда катушек, соединённых последовательно. Обозначим индуктивность соединения катушек якоря, участвующих в работе, через  $L$  (Гн), а активное сопротивление через  $R$  (Ом). Движение якоря в магнитном поле статора происходит под действием силы Ампера  $F$  (Н), определяемой в виде:

$$F=B \cdot l \cdot I \cdot W, \quad (1)$$

где  $B$  – индукция магнитного поля (Тл);  
 $l$  – средняя длина витка (м);  
 $I$  – суммарный ток катушек якоря (А);  
 $W$  – число витков катушек, участвующих в создании силы Ампера [4].

Процессы, происходящие в магнитной и электрической цепях электромеханического преобразователя, удобно рассмотреть поэтапно для определённых временных интервалов, связывая их с процессом перемещения якоря, считая, что статор включён и в рабочем воздушном зазоре создаётся индукция  $B$  (Тл) [5]. Обозначим через  $X(t)$  закон движения якоря. За положительное направление изменения переменной  $X(t)$  примем направление прямого хода якоря, т.е. направление возрастания переменной.

1. Этап включения якоря до начала движения (временной интервал  $0 \leq t \leq t_{mp}$ ). При подаче напряжения на якорные катушки процесс нарастания тока в них описывается обычным линейным дифференциальным уравнением вида:

$$L \cdot (dI/dt) + I \cdot R = U(t), \quad (2)$$

где  $U(t)$  – напряжение на якоре.



При  $0 \leq t \leq t_{mp}$   $U(t) = U_0 = \text{const}$ ,  $X(t) = 0$ ,  $t_{mp}$  – время трогания якоря, т.е. время, за которое ток в катушках якоря достигает тока трогания, при котором электромагнитная сила, действующая на якорь в положительном направлении (сила Ампера), становится равной весу якоря (при вертикальном движении). Ток трогания  $I(t) = I_{mp}$  определяется из равенства:

$$m \cdot g = B \cdot l_{\Sigma} \cdot I(t), \quad (3)$$

где  $I(t)$  определяется из (2);

$m$  – масса якоря;

$g$  – ускорение свободного падения;

$B$  – индукция магнитного поля;

$l_{\Sigma}$  – суммарное число витков обмотки якоря, подключенных к источнику ( $l_{\Sigma} = l \cdot W$ ).

Выполнение равенства (3) определяет момент  $t = t_{mp}$  начала движения якоря, начиная с которого переменная  $X(t)$  положительна и отлична от нуля.

2. Этап движения якоря определяется промежутком времени  $t_{mp} \leq t < t_{\partial\partial}$ , для которого выполняются условия  $0 < X(t) < X_{max}$ , ( $dX/dt > 0$ ).

Во время движения якоря в магнитном поле в катушках якоря наводится противо-ЭДС, определяемая скоростью движения якоря и индукцией  $B$  в рабочем воздушном зазоре:

$$e = B \cdot l_{\Sigma} \cdot (dX/dt), \quad (4)$$

где  $dX/dt$  – скорость движения якоря.

В этом случае электромеханические процессы в преобразователе описываются системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned} L \cdot (dI/dt) + I \cdot R &= U(t) - B \cdot l_{\Sigma} \cdot (dX/dt), \\ m \cdot (d^2 X/dt^2) + m \cdot g &= B \cdot l_{\Sigma} \cdot I(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $m$  – масса якоря;

$g$  – ускорение свободного падения;

$dX/dt$  – скорость якоря;

$d^2 X/dt^2$  – ускорение якоря.

Трением якоря о подшипники пренебрегаем. Из системы (5) определяются  $X(t)$  и  $I(t)$  как функции времени и оценивается время движения якоря  $t_{\partial\partial}$ .

3. Этап  $t_{\partial\partial} \leq t < t_{omn}$  удержания якоря в верхней точке  $X_{max}$ . В конце перемещения якоря, при  $t = t_{\partial\partial}$  якорь достигает своего верхнего положения, определяемого как  $X(t) = X_{max}$ , дальнейшее перемещение прекращается и  $dX/dt = 0$ ,  $I = I_{удерж}$ . Напряжение на якорной обмотке уменьшается до нуля,  $U(t) = 0$ , однако ток якоря продолжает протекать в том же направлении, убывая по величине. Якорь находится в верхней мёртвой точке до момента времени  $t = t_{omn}$ , определяющего равенство тока якорной обмотки току отпуска  $I = I_{omn}$ , т.е. току, при котором электромагнитное усилие, действующее на якорь, станет равным весу якоря согласно выражению:

$$m \cdot g = B \cdot l_{\Sigma} \cdot I_{omn}. \quad (6)$$

Система (5) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} L \cdot (dI/dt) + I \cdot R &= 0, \\ m \cdot (d^2 X/dt^2) + m \cdot g &= B \cdot l_{\Sigma} \cdot I(t), \\ I(0) &= I_{max}, \\ X(t) &= X_{max}, \quad dX/dt = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Выражения (7) определяют процессы в электромеханической системе преобразователя на промежутке времени  $t_{об} \leq t < t_{omn}$ , при неподвижном якоре.

Равенство  $I(t) = I_{omn}$  из (7) определяет момент времени отпущения  $t = t_{omn}$ , начиная с которого якорь движется в обратном направлении.

4. Этап обратного хода якоря соответствует промежутку времени  $t \geq t_{omn}$ . На этом этапе состояние механической системы может развиваться по двум направлениям:

а) якорь возвращается в исходное состояние (нижнюю мёртвую точку) под действием собственной силы тяжести без принудительного ускорения. В этом случае направление движения меняет знак,  $X(t) < 0$ ,  $dX/dt < 0$  и в результате система уравнений (5) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} L \cdot (dI/dt) + I \cdot R &= B \cdot l_{\Sigma} \cdot (dX/dt), \\ m \cdot (d^2 X/dt^2) - m \cdot g &= -B \cdot l_{\Sigma} \cdot I(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Выражения (8) определяют переходные процессы в электромеханической системе преобразователя при свободном падении якоря;

б) к обмотке якоря прикладывается напряжение противоположной полярности –  $U(t)$  и якорь движется под действием двух сил – силы тяжести и силы Ампера, ориентированных в одном направлении. Для этого случая система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} L \cdot (dI/dt) + I \cdot R &= -U(t) + B \cdot l_{\Sigma} \cdot (dX/dt), \\ m \cdot (d^2 X/dt^2) - m \cdot g &= -B \cdot l_{\Sigma} \cdot I(t). \end{aligned} \quad (9)$$

Из системы (9) определяются  $X(t)$ ,  $dX/dt$  и  $I(t)$  как функции времени и оценивается длительность промежутка времени движения  $t_{об}$  в обратном направлении.

Решение задачи оптимального управления электромеханическим преобразователем возможно при использовании импульсной системы управления с разрядными конденсаторами, в частности с двумя разрядными конденсаторами, как показано, например, в А.С. №1568087 [6].

## Заключение

Разработанный линейный электромеханический преобразователь – линейный цилиндрический двигатель даёт возможность решить ряд проблем по линейному перемещению рабочих и исполнительных механизмов промышленного и робототехнического оборудования в различных сферах.

## Библиографический список

1. Патент №2405237 РФ на изобретение, МПК H02K33/02. Линейный электромагнитный двигатель / Нейман В.Ю., Смирнова Ю.Б., Петрова А.А., Евринов Д.М

2. Патент №2454778 РФ на изобретение, МПК H02K41/035. Линейный цилиндрический электромагнитный двигатель / Сеницын И.Е., Володин А.М., Мусолин А.К., Корочкин Е.С.
3. Патент №2483418 РФ на изобретение, МПК H02K41/035. Линейный цилиндрический двигатель / Сеницын И.Е., Володин А.М., Мусолин А.К., Корочкин Е.С.
4. Общая электротехника: учеб пособие для вузов, под ред. А.Т.Блажкина. – Л.: Энергия, 1979. – 472 с.
5. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины. – М.: Высшая школа, 1981. – 482 с.
6. А.С. №1568087 СССР, МКИ НОИФ 7/18. Устройство для импульсного управления электромагнитным исполнительным механизмом /Сеницын И.Е. Опубликовано 1990, Бюл. №20.

УДК 621.9.04; ГРНТИ 55.13.01

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТОКАРНОГО ЦИКЛА ПРИ УДАЛЕНИИ ПРИПУСКА С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ**

**Н.В. Грибов\*, О.В. Миловзоров\*\***

*\*Рязанский институт (ф) Московского политехнического университета,  
Россия, Рязань*

*\*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, milovzorov\_542@inbox.ru*

*Аннотация.* Рассмотрены особенности работы системы ЧПУ FANUC при выполнении циклов токарной обработки цилиндрических поверхностей сложной конфигурации. Экспериментально определен корректный набор параметров для правильной работы цикла. Выявлены возможные неявные ошибки при программировании циклов токарной обработки. Ключевые слова. Чистема ЧПУ FANUC, токарные циклы.

## **TURNING CYCLE FEATURES DURING REMOVAL OF THE ALLOWANCE FROM THE CYLINDRICAL SURFACE WITH COMPLEX PROFILE**

**N.V. Gribov\*, O.V. Milovzorov\*\***

*\*Ryazan Branch of the Moscow Polytechnical University,  
Russia, Ryazan;*

*\*\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, milovzorov\_542@inbox.ru*

*Summary.* Features of work of the FANUC CNC system when performing cycles of turning of cylindrical surfaces of a difficult configuration are considered. A correct set of parameters for the correct work of a cycle is experimentally determined. Possible implicit mistakes when programming cycles of turning are revealed.

*Keywords.* FANUC CNC system, turning cycles.

### **Введение**

При освоении в производстве новых станков с ЧПУ, особенно импортных, часто возникают проблемы с корректной разработкой программ обработки различных деталей, обусловленных двумя основными причинами. Во-первых, в технической документации очень часто отсутствуют необходимые сведения, что связано с желанием продавца в заключении договора на дополнительное платное обучение персонала работе с данной системой ЧПУ на данном станке. Во-вторых, математическое обеспечение систем ЧПУ по умолчанию может содержать автоматическую реакцию на отдельные коды и перемещения при программировании, которые можно выявить только экспериментальным путем [1-3].

В связи с этим возникает необходимость в экспериментальном исследовании поведения системы ЧПУ и ее реакции на различные ситуации при различном сочетании параметров в автоматических циклах.

Данная статья посвящена выявлению особенностей программирования токарных станков, оснащенных системой ЧПУ FANUC.

### Основная часть

Для упрощения написания управляющих программ при токарной обработке принято использовать цикл цилиндрического точения G71 (ЧПУ FANUC). Покажем на рисунке 1 реализацию традиционной стратегии перемещения при совмещенной черновой и получистовой обработке одним инструментом (в принципе, возможна и чистовая обработка тем же инструментом, но для этого требуется указание цикла G70).

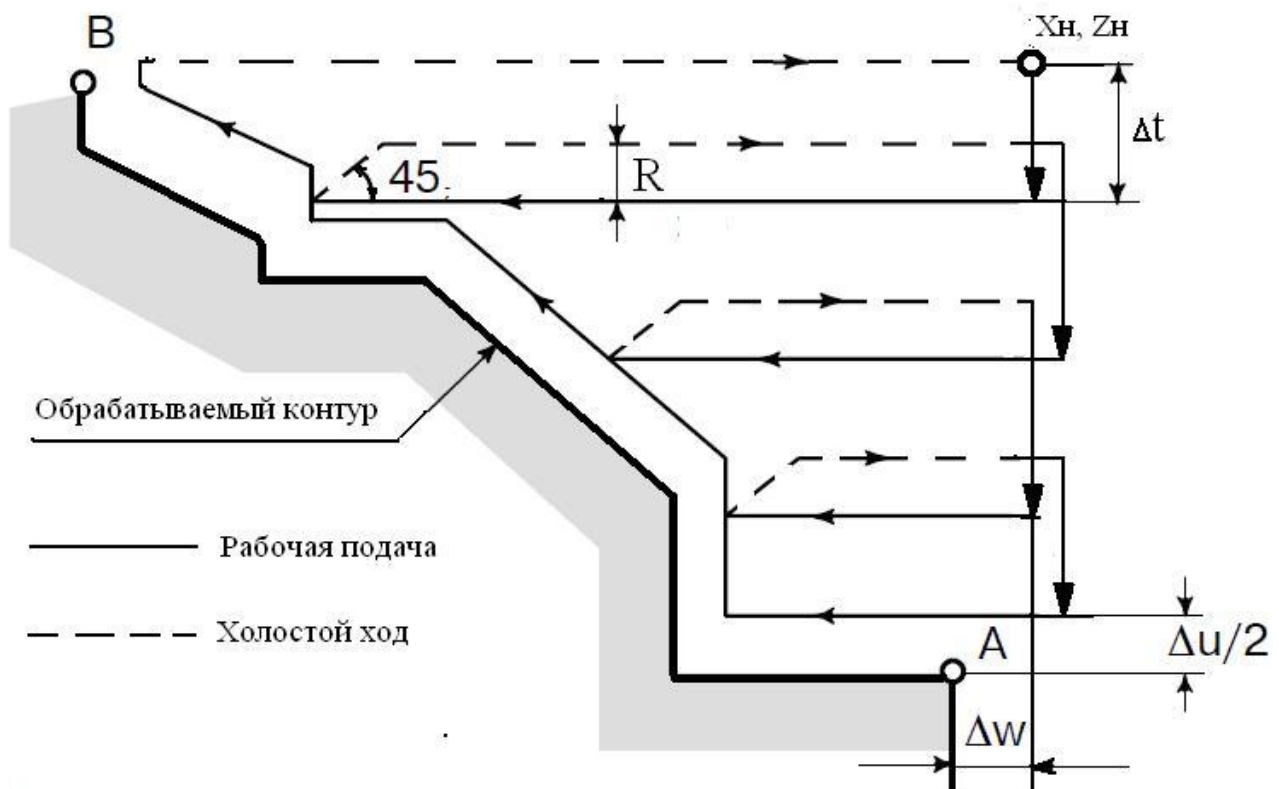


Рис. 1. Токарный цикл

Перед обработкой резец устанавливают в начальную точку цикла с координатами  $X_n, Z_n$ . ЧПУ формирует черновую эквидистантную границу контура, отстоящую от обрабатываемого, на величину припуска по осям  $X$  и  $Z$ . Обработка поверхностей при диаметре заготовки, большем конечного диаметра поверхности детали на несколько припусков, осуществляется несколькими параллельными строчками. Резец из начальной точки перемещается с рабочей подачей на величину съема припуска  $\Delta t$  по оси  $X$  и производится удаление слоя металла параллельно оси  $Z$  до эквидистантной границы контура. Отвод от обработанной поверхности осуществляется на холостом ходу до координаты  $Z_n$ . В такой последовательности удаляется весь черновой припуск. Затем резец обходит эквидистантный контур с черновой подачей, удаляя тем самым гребешки металла от черновых ходов. Следующим этапом смещается эквидистанта (при условии наличия цикла чистовой обработки G70) до обрабатываемого контура и осуществляется чистовая обработка с соответствующими режимами.

Формат кадра цикла имеет следующий вид:

**G71 U( $\Delta t$ ) R(R)**

**G71 P(Na) Q(Nв) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F(f) S(s) T(t),**  
**Na**

**Ni**

**Nв**

**G70 P(Na) Q(Nв)**

Здесь **Na** – номер кадра с координатами точки A;

**Nв** – номер кадра с координатами точки B;

$\Delta u$  – припуск под чистовую обработку по оси X;

$\Delta w$  – припуск под чистовую обработку по оси Z;

**F** – подача, **S** – скорость резания (частота вращения) при черновой обработке;

**T** – номер инструмента при чистовой обработке.

Однако в руководстве по программированию нет рекомендаций по формированию управляющего кадра начала обработки цикла **Na** и выбора координат  $X_i$ ,  $Z_i$  исходной точки цикла.

Рассмотрим варианты формирования кадра **Na** и соответствующую ему работу цикла при точении четырехступенчатого вала по управляющей программе. Обрабатываемый контур представлен на рисунке 2.

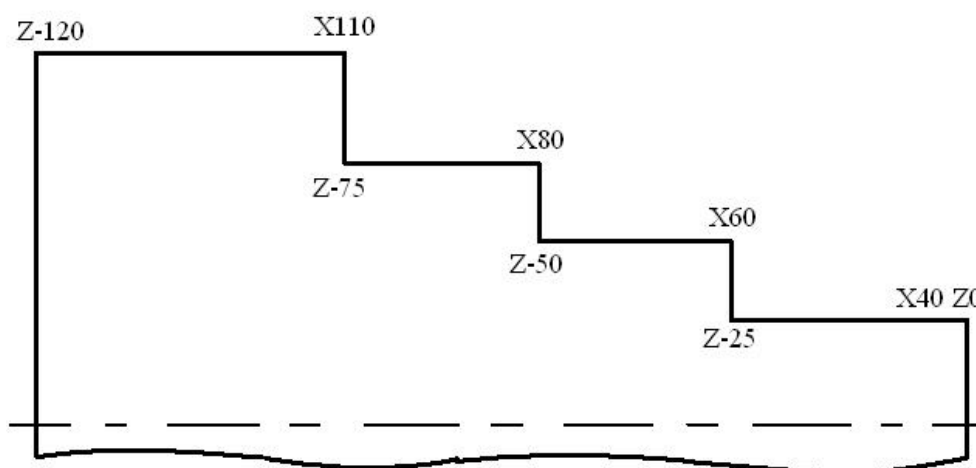


Рис. 2. Обрабатываемый контур

Фрагмент программы по обработке данного контура представлен ниже.

N10 G40 G80:

N20 G28 U0 W0:

N30 T101:

N40 G96 S150 M4:

N50 G50 S1500:

N60 G0 X120 Z0:

N70 G1 X0 F0.4:

N90 G0 X110 Z5: - начальная точка цикла

N100 G71 U5 R2:

N110 G71 P120 Q200 U2 W2 F0.6 S120 T102,

N120 G1 X40 Z5 F0.18: кадр - Na

N130 Z-25:  
N140 X60:  
N150 Z-50:  
N160 X80:  
N170 Z-75:  
N180 X110: **максимальная координата Xmax**  
N200 Z-120:  
N210 G70 P120 Q200:

В кадре **Na** указывается координата X и Z первой ступени, причем с целью уменьшения черновых ходов начальная точка цикла по координате X совпадает с диаметром чистовой обработки -X110. Тогда черновые ходы формируются следующим образом – рисунок 3, а получистовая обработка цилиндрической поверхности отсутствует (торцовая поверхность подрезается ступенчато).

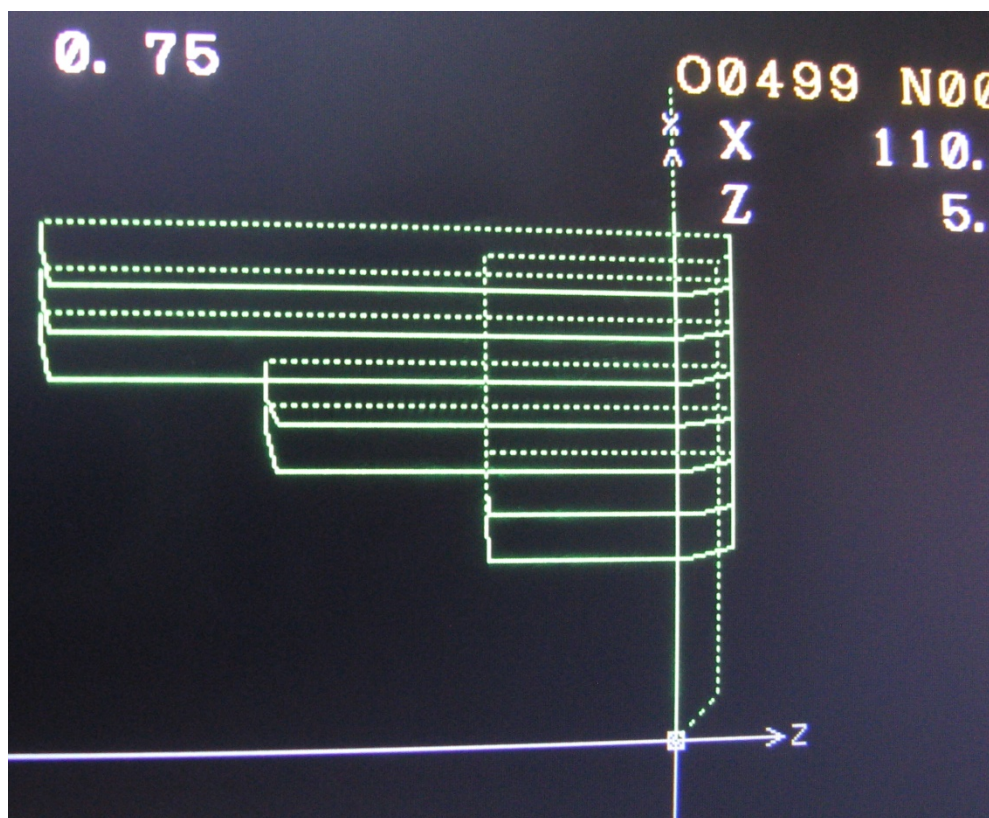


Рис. 3. Черновая обработка без получистовой

Если начальную координату цикла установить выше X110, например, X111, то получистовая обработка осуществляется не по контуру, а по каждой ступени отдельно (при первом проходе меньшего диаметра) – рисунок 4. При этом процесс идет не оптимально, так как торцовая поверхность обрабатывается ступенчато.



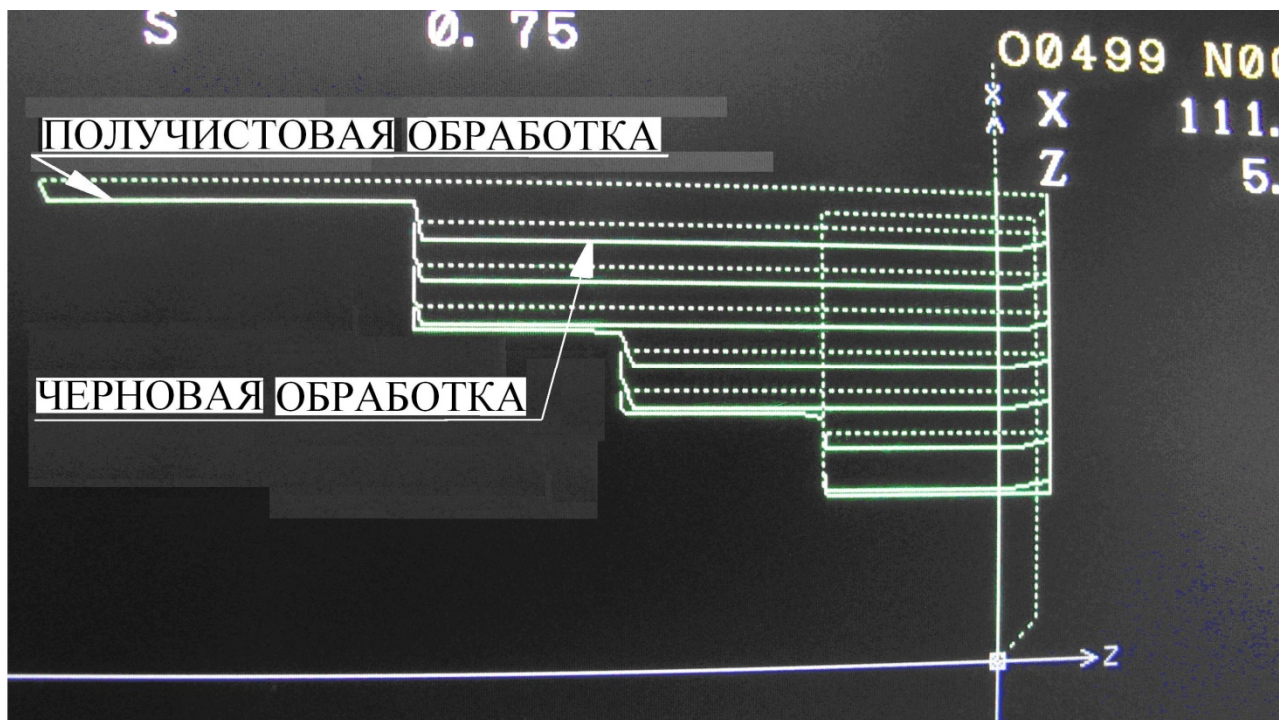


Рис. 4. Черновая и получистовая поступенчатая обработка

Рассмотрим вариант, в котором кадр **Na** без координаты **Z**.

**N120 G1 X40 F0.18:** В этом случае черновая обработка ведется прямолинейными перемещениями, затем проводится получистовая обработка по контуру. Однако, если начальная координата **Xn** цикла равна максимальному диаметру чистовой обработки **Xmax**, перед чистовым проходом на холостом ходу резец врезается в заготовку на величину чистового припуска  $U/2$ . Поэтому произойдет поломка инструмента – рисунок 5.

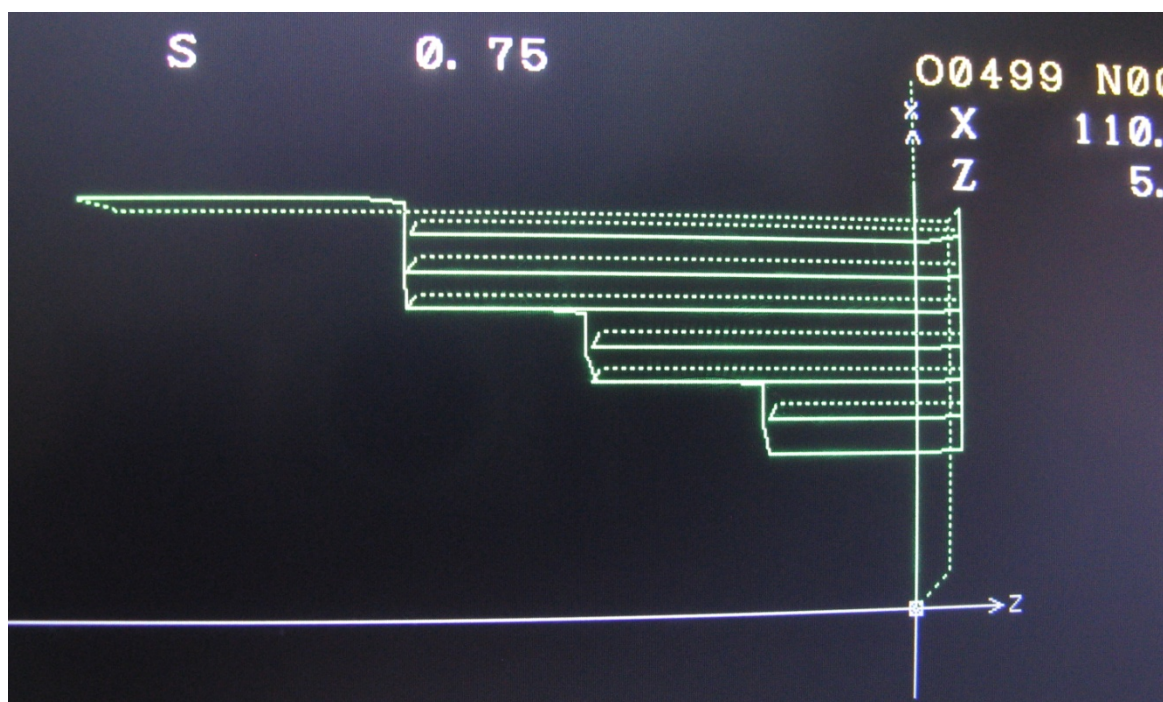


Рис. 5. Некорректная обработка, приводящая к врезанию инструмента при быстром перемещении и его поломке

Следовательно, при работе с токарным циклом G71 необходимо правильно выбрать начальную координату цикла  $X_n$ . Как показали экспериментальные исследования, наиболее оптимальным вариантом является координата  $X_n = X_{\max} + \Delta u + (t_{\text{мм}})$ . При таком значении  $X_n$  получистовой обход контура осуществляется с меньшим припуском равным  $(\Delta t - t/2)$ . Затем идет цикл чистовой обработки с заданным припуском  $\Delta u$  – рисунок 6..

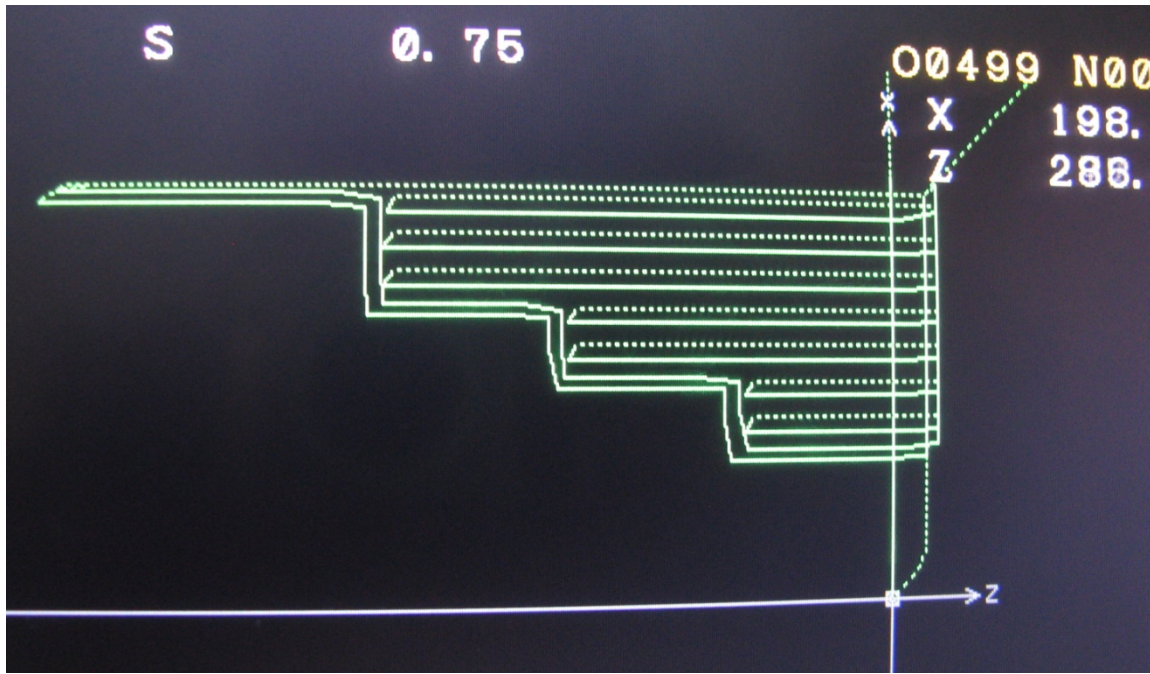


Рис. 6. Оптимальная обработка с наличием черновой, получистовой и чистовой

### Выводы

При программировании токарной обработки на станках с ЧПУ, оснащенных системой FANUC, необходимо тщательно рассчитывать начальные координаты циклов G71 и G70. Оптимальным является определение начальной координаты в виде  $X_n = X_{\max} + \Delta u + (t_{\text{мм}})$ , что обеспечивает корректную черновую обработку, наличие корректных получистовой и чистовой обработок.

### Библиографический список

1. Грибов Н.В., Миловзоров О.В., Седых А.В. Особенности программирования системы ЧПУ Fanuc- 0i при фрезеровании плоскостей торцевыми фрезами / материалы XIV Межвузовской научно-технической конференции «Новые технологии в учебном процессе и производстве», посвященной 60-летию института. Под редакцией Платонова А.А., Бакулиной А.А.. 2016. С. 486-490.
2. 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 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 т. Т.1./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2016; Рязань.. С. 283-287.
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 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. Т.1./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017. Рязань. С. 58-61.



УДК 67.02; ГРНТИ 55.13.17

## РАЗРАБОТКА ЦЕМЕНТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДВУХСЕКЦИОННОГО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ОБСАДНЫХ КОЛОН

А.С. Карпунин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, alrabota@rambler.ru*

*Аннотация.* В данной работе представлена модель для двухсекционного цементирования обсадных колон. Описываются некоторые компоненты устройства и его работа.

*Ключевые слова.* Двухсекционное цементирование обсадных колон.

## DEVELOPMENT OF CEMENTING DEVICE FOR TWO-SECTION CEMENT OF CASING COLUMNS

A.S. Karpunin

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russia, Ryazan, alrabota@rambler.ru*

*Abstract.* This work present a model for two-section cementation of casing columns. Describes some of the components of the device and its operation.

*Keywords.* Two-section cementation of casing columns.

### Введение

Наиболее дорогая часть нефтегазодобывающей промышленности – это строительство скважин. Поэтому важно реализовывать экономичные технические решения, позволяющие при строительстве скважин в определенных геологических условиях достигать их потенциально возможной продуктивности.

Актуальность сохранения коллекторских свойств продуктивного пласта при цементировании скважин неоспорима [1]. Традиционная технология цементирования скважины (прямое сплошное цементирование через башмак обсадной колонны) оказывает основное отрицательное влияние на коллекторские свойства пласта. В результате значительно уменьшается продуктивность скважин, неравномерно вырабатывается залежь, уменьшается коэффициент нефтеотдачи [2].

В целях защиты продуктивных отложений от загрязнения (предотвращения практически значимого ухудшения коллекторских свойств пласта в прискваженной зоне за счет резкого уменьшения репрессии на него) при цементировании вертикальных, наклонно направленных (в том числе пологих) или имеющих горизонтальное окончание ствола скважин наиболее простым и дешевым является применение высокотехнологичного щадящего способа двухступенчатого цементирования с малой высотой подъема тампонажного раствора на первой ступени.

### Решение задачи

Для реализации этого способа цементирования разработана в качестве базового объекта проходное цементировочное устройство.

Кроме того, при ступенчатом цементировании с применением цементировочных устройств, обеспечиваются высокое качество разобщения продуктивного пласта от других пластов и требуемая высота подъема тампонажного раствора в заколонном пространстве.

Дополнительным положительным фактором влияния ступенчатого цементирования скважин на их продуктивность может являться значительное уменьшение вероятности гидроразрыва пород, а именно, продуктивного пласта, подвергшегося разгрузке в процессе бурения скважины (ослаблению силы действия массы горных пород).

Высокая технологичность указанного способа цементирования с применением цементировочного устройства – это комплексное достижение следующих технологических показателей:

- незамедлительное начало промывки скважины через цементировочное устройство по окончании первой ступени цементирования (т.е. отсутствие технологических остановок, опасных для качественного цементирования);
- исключение затрат времени и средств на разбуривание элементов цементировочной муфты и цементного камня в эксплуатационной колонне;
- возможность установки цементировочного устройства в пологой или горизонтальной части ствола скважины;
- отсутствие загрязнения полости эксплуатационной колонны в пологой или горизонтальной части ствола скважины;
- сохранение диаметра проходного канала обсадной колонны в стандартных пределах без ухудшения проходимости цементировочного устройства в стволе скважины;
- возможность совместного применения цементировочного устройства с другой технологической оснасткой эксплуатационных колонн (заколонными проходными пакерами, колонными клапанами, фильтрами и др.);
- повышение вероятности исключения возможности нарушений крепи в зоне изоляции продуктивного пласта;
- уменьшение вероятности аварийных ситуаций при заканчивании скважин.

### **Описание работы устройства**

Общий вид цементировочного устройства представлен на рис. 1.

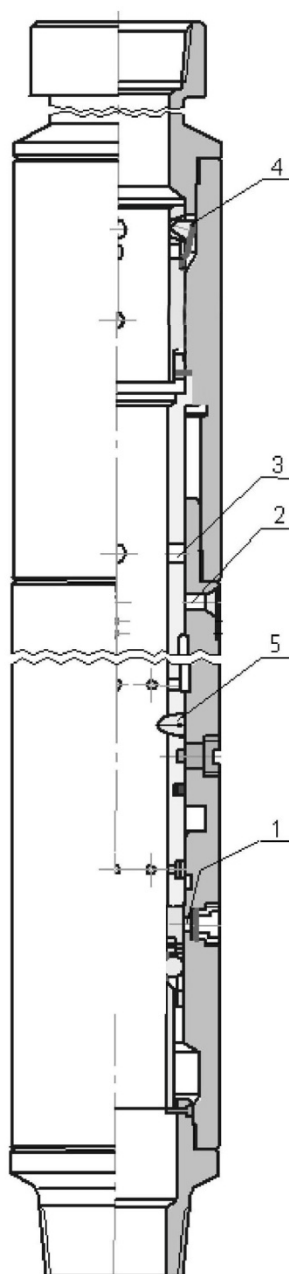


Рис. 1. Цементирующее устройство

При ступенчатом цементировании скважины с применением цементирующего устройства (рис.1) последовательно выполняются следующие технологические операции:

- установка в цементирующую головку цельнорезиновой цементирующей пробки;
- затворение и закачка в обсадную колонну тампонажной смеси первой ступени цементирования (с буферной жидкостью);
- пуск в колонну цельнорезиновой цементирующей пробки путем закачки воды или другой продажной жидкости в объеме, равном, по меньшей мере  $(V_{м-ц} + V_d)$  м<sup>3</sup>, где  $V_{м-ц}$ , м<sup>3</sup> – расчетный объем полости обсадной колонны в интервале между цементирующим устройством и фиксатором и  $V_d$  – добавочный объем равный (1,0 – 3,5) м<sup>3</sup>, который выбирается в зависимости от диаметра обсадной колонны;
- установка в цементирующую головку первой резинометаллической цементирующей пробки из двух, которые должны быть в комплекте цементирующего устройства;

- пуск этой пробки в колонну и дальнейшее продавливание тампонажной смеси первой ступени цементирования до посадки цементировочной пробки в фиксатор (получения сигнала «стоп»);

- открытие технологических отверстий 1 клапана цементировочного устройства с помощью заданного повышения давления в цементировочной головке, посадка в цементировочное устройство первой резинометаллической пробки, открытие (совмещение) цементировочных окон 2, 3 цементировочного устройства при заданном давлении в цементировочной головке;

- промывка скважины через цементировочные окна 2, 3 цементировочного устройства (один цикл циркуляции);

- установка в цементировочную головку второй резинометаллической цементировочной пробки;

- после окончания схватывания (или при прекращении фильтратоотдачи) тампонажной смеси первой ступени цементирования затворение и закачка в колонну тампонажных смесей второй ступени цементирования (с буферной жидкостью);

- пуск в колонну второй резинометаллической цементировочной пробки и продавливание тампонажных смесей через цементировочные окна 2, 3 цементировочного устройства до посадки пробки в цементировочное устройство и закрытия этих окон, а также технологических отверстий 1 клапана цементировочного устройства заданным повышением давления в цементировочной головке.

После закрытия цементировочных окон 2, 3 и технологических отверстий 1 клапана цементировочного устройства резинометаллические цементировочные пробки смыкаются и освобождаются для смещения их к забою спускаемой колонной НКТ (вследствие выхода из центрального канала муфты выдвижных 4 и раздвижных 5 конических упоров, которые образовывали седла в муфте для посадки резинометаллических цементировочных пробок).

### **Применение цементировочного устройства**

При бурении скважин в Республике Саха (Якутия) имеет место вскрытие пластов с повышенным газосодержанием, что требует дополнительных технических решений при креплении обсадных колонн [3]. В то же время в призабойной зоне в трещиноватых коллекторах при одноступенчатом цементировании возможны гидроразрывы и поглощение тампонажного раствора с последующим недоподъемом до проектной высоты. Анализ осложнений показывает, что вследствие неправильного определения метода около 38% скважин содержит обводненную продукцию; 29 % осложнений связано с поглощением тампонажного раствора и как следствие недоподъемом цементного раствора. Для решения проблемы качественной изоляции данного продуктивного горизонта можно было применить двухступенчатое цементирование эксплуатационной колонны с применением цементировочного устройства.

### **Выводы**

Качество ступенчатого цементирования скважины с использованием цементировочного устройства приведет к увеличению плотности цементного кольца в скважине и его контакта с колонной и стенкой скважины. На первой ступени цементирования можно достигнуть высокую плотность контакта цементного кольца с колонной и стенкой скважины, которая будет наиболее стабильна в зонах естественных непроницаемых прослоев.

Ступенчатое цементирование существенно повысит добычные возможности скважин.

Применение проходной цементировочного устройства обеспечивает достижение в полной мере высокой технологичности процесса ступенчатого цементирования, близкой к

технологичности сплошного прямого цементирования через башмак колонны, что является важной предпосылкой для широкого применения этого способа в целях высокоэффективного заканчивания вертикальных, наклонно направленных или имеющих горизонтальное окончание ствола скважин.

### **Библиографический список**

1. Басарьгин Ю.М., Булатов А.И., Просёлков Ю.М. Заканчивание скважин. – М.: Недра, 2000. – 670 с.
2. Соловьев Е.М. Заканчивание скважин. - М.: Недра, 1979. – 303 с.
3. Иогансен К.В. Спутник буровика.- М: Недра, 1990. - 294 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                  |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018».....</b>                                                          | <b>3</b> |
| <b>МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....</b>     | <b>5</b> |
| <b>Секция «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ».....</b>                                                                       | <b>5</b> |
| <b>Давыдов Г.В., Серебряков А.Е., Климаков В.В., Мишин В.Ю.</b><br>Аппаратно-программный комплекс для обмена данными с электронными датчиками.....               | 5        |
| <b>Седых А.Н.</b><br>Система для автоматизированной оценки параметров фонокардиограммы.....                                                                      | 9        |
| <b>Коробова И.М.</b><br>Практические подходы к выбору препаратов при лечении ВИЧ инфекции.....                                                                   | 13       |
| <b>Нгуен В.Л.</b><br>Разработка структурной и функциональной схемы для измерения параметров дыхания.....                                                         | 17       |
| <b>Василевский К.С., Елизаров И.А., Толстошеин С.С.</b><br>Применение беспроводных датчиков температуры в системах автоматизации технологических процессов ..... | 19       |
| <b>Муранова Т.П., Гуржин С.Г.</b><br>Неинвазивный измеритель уровня глюкозы в крови на основе инфракрасной спектроскопии.....                                    | 24       |
| <b>Филон Д.Г.</b><br>Использование лазерного микропучка в биологических микроисследованиях.....                                                                  | 27       |
| <b>Ерёмин А.И., Бодров О.А.</b><br>Методы измерения расхода сыпучих веществ.....                                                                                 | 31       |
| <b>Чан Туан Зунг</b><br>Измерительная диагностическая система контроля дыхательной деятельности пациента физиотерапии.....                                       | 33       |
| <b>Ашапкина М.С., Алпатов А.В., Чекушин А.А.</b><br>Современные медицинские технологии сопровождения пациентов в реабилитационный период.....                    | 37       |
| <b>Васюков М.В., Бехтин Ю.С.</b><br>Применение элементов ИРТ-теории для разработки автоматизированных систем тестирования.....                                   | 42       |
| <b>Ситников Д., Измерли А., Пастухов Ю.</b><br>Следящий прием телеизмерительных сигналов.....                                                                    | 46       |
| <b>Качмар М.И., Прошин Е.М.</b><br>Бесконтактный регистратор дыхания и сердцебиения.....                                                                         | 50       |
| <b>Кондрашов А.В., Нефедьев Д.И.</b><br>Интеллектуальное управление робототехническим манипулятором.....                                                         | 53       |
| <b>Данилко В.А.</b><br>Проблемы и особенности организации испытаний на старение светодиодных осветительных приборов.....                                         | 56       |

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Матюхин Е.П., Гуржин С.Г.</b>                                                                                                 |     |
| Принципы построения системы электромагнитотерапии.....                                                                           | 60  |
| <b>Кузнецов М.Г., Жулев В.И.</b>                                                                                                 |     |
| Использование модульной платформы для проектирования системы<br>оптико-локационного измерения и контроля состояния пациента..... | 63  |
| <b>Строев В.М., Ветров А.Н.</b>                                                                                                  |     |
| Совмещение инфракрасных и оптических изображений при диагностике<br>поражений кожи.....                                          | 67  |
| <b>Андреевский В.Ю.</b>                                                                                                          |     |
| Обзор схмотехнических решений применяемых в аппаратах для ЭОД.....                                                               | 71  |
| <b>Рядовой М.А.</b>                                                                                                              |     |
| Обзор схмотехнических решений применяемых в цифровых динамометрах.....                                                           | 76  |
| <b>Булгакова Н.В.</b>                                                                                                            |     |
| Разработка установок для исследования временных пломбировочных материалов<br>на разрыв и сдвиг.....                              | 81  |
| <b>Жестков А.С., Ловягин К.Р., Гуржин С.Г.</b>                                                                                   |     |
| Моделирование измерительной системы для исследования магнитных полей.....                                                        | 85  |
| <b>Нагорян Д.А.</b>                                                                                                              |     |
| Основные системы анализа и восстановления цифро-аналоговых блоков.....                                                           | 88  |
| <b>Пинчукова В.В., Гуржин С.Г.</b>                                                                                               |     |
| Применение видеокамеры для измерений в медицинской диагностике.....                                                              | 92  |
| <b>Михеев А.А., Пантюхин Р.В.</b>                                                                                                |     |
| Информационная система для разработки сигналов-переносчиков информации<br>на основе сложных отсчетов.....                        | 95  |
| <b>Манцеров Д.Д., Жемчугов Е.С., Прошин Е.М.</b>                                                                                 |     |
| Разработка функциональной схемы для системы диагностики состояния человека,<br>проходящего радиолечения.....                     | 100 |
| <b>Мельник О.В., Челебаева Ю.А.</b>                                                                                              |     |
| Этапы преобразования информации в аппаратно-программных средствах<br>мониторинга сердечного ритма.....                           | 104 |
| <b>Стародубцева В.А., Челебаев С.В.</b>                                                                                          |     |
| Исследование аппроксимирующих методов тарировочной характеристики<br>частотного датчика.....                                     | 107 |

#### **Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ»**

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Максимов К.</b>                                                                                                          |     |
| Оценка перспектив повышения качества технологического процесса<br>литья по газифицируемым моделям на ОАО "Тяжпрессмаш"..... | 112 |
| <b>В. Кувшинников</b>                                                                                                       |     |
| Аудит действий оператора при управлении специализированным порталным<br>Манипулятором.....                                  | 117 |
| <b>Kosach A., Kovshov E.</b>                                                                                                |     |
| Neural network data classifier in non-destructive testing.....                                                              | 120 |
| <b>Дубинин В.Н., Сенокосов И.В., Войнов А.С., Вяткин В.В.</b>                                                               |     |
| Функционально-блочная реализация селектирующих сетей Петри.....                                                             | 124 |
| <b>Сосулин Ю.А., Трофимова И.П.</b>                                                                                         |     |
| Линейная параметрическая идентификация сложных структурированных объектов.....                                              | 130 |

**Васильев А.В.**

Метод косвенного измерения сопротивлений тензорезисторов в тензометрическом датчике..... 133

**Папенков М.А.**

Обзор и анализ кинематических схем манипуляторов промышленных роботов..... 139

**Винник А.Е., Хабибулина Н.Ю.**

Моделирование процесса движения механум-робота с учетом препятствий..... 142

**Рогачиков А.**

Система автоматизированного расчета себестоимости продукции малого предприятия.. 147

**Белов В.В., Лопатин А.К.**

Система оптического контроля качества изготовления деталей железнодорожного назначения..... 150

**Подзоров Н.Р., Лобанов А.В.**

Разработка состава рабочей среды, используемой в приспособлении для финишной обработки концевой металлорежущего инструмента..... 154

**Гуськов В., Чистякова В.**

Прогнозирование количества бракованных изделий в условиях группирования неисправностей..... 159

**Кузьев Д.Р., Пудовкин А.П., Тихонин Д.В.**

Беспроводная телеизмерительная сеть контроля характеристик качества металлофторопластового ленточного материала..... 162

**Белов В., Гуськов В., Чистякова В.**

Способ прогнозирования временного ряда, аппроксимируемого цепью Маркова с двумя состояниями, по заданной последовательности наблюдений состояний..... 165

**Сахи М.А., Куличенко Т.А.**

Гибкий емкостный датчик уровня компенсационного типа..... 172

**Григорьев П.**

Разработка цифрового задатчика аналоговых сигналов на основе микроконтроллера серии AVR производства ATMEL..... 175

**Миловзоров О.В., Михайлов П.О.**

Современные средства интеграции конструкторской и технологической подготовки производства на базе PLM-системы T-FLEX..... 179

**Синицын И.Е.**

Линейный электромеханический преобразователь..... 187

**Грибов Н.В., Миловзоров О.В.**

Особенности работы токарного цикла при удалении припуска с цилиндрической поверхности сложного профиля..... 191

**Карпунин А.С.**

Разработка цементировочного устройства для двухсекционного цементирования обсадных колон..... 197



## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

**Научное издание**

**В 10 томах**

**Том 6**

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.18. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 18.

Тираж 100 экз. Заказ № 3334.

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