

## СЕКЦИЯ 2

### НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Среда, ауд.278 (гл. корпус МГТУ).

Начало в 10.00.

**Председатель: профессор, д.т.н. Шахнов В.А.**

**Руководитель экспертной комиссии: доцент Соловьев В.А.**

**Ученый секретарь: асс. Аверьянихин А.Е.**

Экспертная комиссия:

А.Е.АВЕРЬЯНИХИН, А.А.АДАМОВА, А.И.АРАБОВ, К.И.БИЛИБИН, А.И.ВЛАСОВ, В.А.ВЕРСТОВ, В.Н.ГРИДНЕВ, А.А. ДЕМИН, Л.В.ЖУРАВЛЕВА, Л.А.ЗИНЧЕНКО, Ю.В.ИВАНОВ, Э.Н.КАМЫШНАЯ, А.А.КАРПУНИН, И.А.КОСОЛАПОВ, А.Е.КУРНОСЕНКО, А.В.ЛАВРОВ, В.В.ЛЕОНИДОВ, Н.В.МАКУШИНА, Э.В.МЫСЛОВСКИЙ, В.В.МАКАРЧУК, В.В.МАРКЕЛОВ, К.А.МУРАВЬЕВ, Е.В.РЕЗЧИКОВА, В.А.СОЛОВЬЕВ, С.Г.СЕМЕНЦОВ, Н.А.СЕРГЕЕВА, М.Д.СЕРГЕЕВА, Ю.Н.ТИНЯКОВ, В.М.ШКОЛЬНИКОВ, К.А.УСАЧЕВ.

В рамках работы секции будет осуществлен первый этап конкурсного отбора проектов для участия в конкурсе инновационных проектов МГТУ им.Н.Э.Баумана. Критериями конкурсного отбора участников молодежного научно-инновационного конкурса являются:

1. Уровень инновационности идеи (предложения, метода, способа ...).

1.1. Идея должна быть новой, впервые сформулированной именно самим номинантом. В этом смысле все номинанты равны. Остальные просто не могут быть номинированы на участие в этой программе.

1.2. Уровень наукоемкости тем выше, чем более:

- основательны научные исследования, в результате которых она появилась;

- основательны дальнейшие научные исследования, необходимые для ее реализации.

1.3. Техническая значимость тем выше, чем большее влияние ее реализация окажет на уровень техники. «Пионерные» идеи (изобретения) – пенициллин, лазер, синтез алмазов - открывают новые отрасли науки и техники. Идеальная по инновационности идея неожиданна для рынка. Поэтому она им не может быть сейчас востребована, она сама формирует новую потребность и нишу рынка.

Высокий технический уровень имеют решения, например, многоотраслевого использования.

Оригинальные технические решения дают новые принципы решения известной задачи.

Есть решения, позволяющие решить проблему еще одним, дополнительно к известным, способом. Но и в этом случае, если уже известно 10 способов решения задачи, то новый способ может и не давать существенных преимуществ в решении задачи или давать их только в очень ограниченном по масштабам применения числе случаев.

1.4. Масштабность использования предложения тоже может сильно различаться – от решения локальной задачи одного местного потребителя до ...

1.5. Срок превращения идеи в конечный продукт с выходом его на рынок: новизна, рискованность идеи, объем необходимых научных исследований не позволяют уложиться в 2-3 года, но и не требуют 10-15 лет

1.6. Идея тем актуальней, чем меньше вероятность того, что за 5-7 лет в результате научных исследований появятся и «раскрутятся» до продукта другие более эффективные пути решения задачи.

Победитель сам организует работу по привлечению необходимого финансирования. Инновационная программа МГТУ им.Н.Э.Баумана оказывает ему поддержку на начальном этапе работы над его идеей.

# АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Зотьева Д. Е.

*Научный руководитель: канд. техн. наук Власов А. И.*  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## CONTROL SYSTEM DESIGN FOR AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Zotieva D.E.

*Supervisor: Vlasov A. I., Ph. D.*  
MSTU, Moscow, IU4 chair, Russia

### Аннотация

В работе рассмотрены особенности проектирования универсального бортового радиоэлектронного оборудования для малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Формализованы требования к БПЛА. Кратко описаны дальнейшие направления разработки и тестовая беспилотная платформа, используемая в ходе разработки.

### Abstract

This paper describes the results of the initial stage in the design process of a universal avionics package for fixed-wing light unmanned aerial vehicles (UAVs). Requirements for the package are set and analyzed in detail with regards to common features of modern UAVs. Flight safety and failure recovery is discussed. The architecture of the avionics is developed based on set requirements. Further developments and the test UAV platform are briefly covered.

### Введение

В 2014 году мировой оборот рынка БПЛА достиг значения в 91 миллиард долларов [1-5], 10 миллиардов из которых относятся к рынку гражданских БПЛА. Столь значительная популярность обусловлена такими свойствами БПЛА, как компактность, мобильность, а также возможность запрограммировать достаточно сложные маршруты полётов. Подобное сочетание характеристик открывает множество возможностей применения БПЛА как в гражданской, так и в военной сферах.

Таким образом, проектирование БПЛА является перспективным направлением конструкторской деятельности. Важной составляющей БПЛА является его бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО), во многом определяющее возможности решения различных задач с помощью аппарата. Классификация беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация беспилотных летательных аппаратов

В настоящее время в мире и, в частности, в России, не существует чёткой классификации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Существует несколько основных направлений использования данного рода техники, как в специальных, так и в гражданских целях. Так же наиболее очевидным является принципиальное различие по принципу полёта между БПЛА даже схожего назначения.

### 1 Анализ особенностей проектирования БПЛА

В общем виде принцип полёта беспилотного летательного аппарата рассмотрен на рисунке 2. Бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) воспринимает сигналы изменяющейся среды, при помощи датчиков считывая величины скорости, углов наклона, высоты и другие параметры. Далее один из компонентов БРЭО занимается обчётом полученных данных и выработкой решений, которые подаются на интерпретатор. Преобразуясь по уровню, форме и/или частоте, электрический сигнал влияет на органы управления планера, что в свою очередь приводит к изменениям параметров полёта.

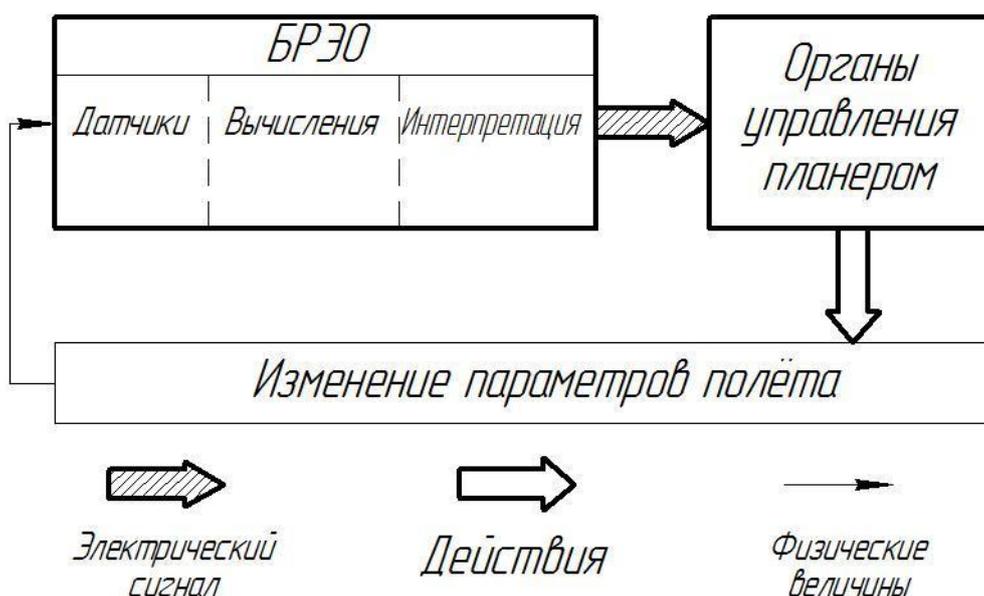


Рисунок 2 – Принцип полёта БПЛА

Целью данного проекта является создание универсального БРЭО малых БПЛА с фиксированным крылом, удовлетворяющего некоторым заданным характеристикам. В данной работе рассматривается этап структурного проектирования

Во-первых, БРЭО должно обеспечивать возможность как выполнять предварительно заданное полётное задание в автоматическом режиме, так и иметь возможность перехода на ручное управление. В автономном режиме БПЛА должен быть способен следовать по заданному маршруту и вернуться в исходную точку.

Во-вторых, БРЭО должен быть универсальным, что означает максимально широкие возможности программирования и конфигурации под различные беспилотные платформы.

В-третьих, БРЭО должен быть расширяемым, то есть должна иметься возможность добавления желаемых модулей без существенного изменения существующей конструкции.

Кроме того, было решено реализовать возможность управления и мониторинга телеметрии с помощью персонального компьютера, установленного в наземном командном пункте. Особое внимание также должно быть уделено безопасности и отказоустойчивости БРЭО, ввиду высокой стоимости конкретного экземпляра БПЛА.

## 2 Архитектура разрабатываемого бортового радиоэлектронного оборудования

Разрабатываемое бортовое радиоэлектронное оборудование для БПЛА должно удовлетворять многим требованиям, как конструкторским (минимально возможный вес, низкое энергопотребление, малые геометрические размеры и др.), так и архитектурным. Рассмотрим архитектурные требования к БРЭО и происходящие из них решения для разрабатываемой архитектуры.

**Расширяемость.** Современные БПЛА выполняют множество задач, гражданских (видеонаблюдение, системы фото- и видеосъёмки в сложных условиях, научные измерения, развлекательные задачи и др.) и военных (разведка, целеуказание, ведение огня). Многие из систем, используемых для этих задач (системы стабилизации, наведения оружия, видеокамер, антенн) требуют для работы те же пилотажные и навигационные данные, которые требуются для управления летательным аппаратом; например, и системе лазерного целеуказания, и автопилоту, и системе наблюдения требуются углы самолёта по тангажу, крену и рысканию.



Рисунок 3 – Структурная схема возможных составляющих БРЭО

Большая часть систем автоматического пилотирования, доступных на рынке, исходя из конструкторских ограничений по весу и геометрическим размерам, интегрируют и навигационную часть, и автопилот в одну структурную единицу, что создаёт сложности для расширения такой системы. Например, популярная коммерческая система управления для малых БПЛА «FY-41AP» не предусматривает возможность получить навигационные или пилотажные данные в течение полёта [6], как и многие другие.

Несмотря на существенное усложнение конструкции, в разрабатываемом БРЭО предлагается разделить навигационную систему и автопилот на две отдельных обособленных структурных единицы, соединённых двусторонней информационной шиной, на которой навигационная подсистема широковещательно выдаёт навигационные и пилотажные данные для всех подключённых к шине устройств. При такой организации структуры БРЭО подключение любого дополнительного оборудования требует лишь спецификации на передачу навигационных и пилотажных данных.

Дополнительной возможностью при использовании общей шины является передача информации между всеми устройствами на ней при необходимости. Возможным использованием этой возможности является, например, управление действиями автопилота от системы автоматического ведения огня.

В качестве используемой шины выбирается шина Controller Area Network за её хорошую документированность, широкую распространённость в электронике на транспорте и высокой скорости (до 10 Мбит/с) передачи данных.

**Универсальность.** Существует множество конфигураций БПЛА с фиксированным крылом, повторяющих разнообразие пилотируемых ЛА. Способы управления разными аэродинамическими конфигурациями, несмотря на одинаковые общие принципы управления полётом, отличаются.

Таблица 1 – Возможные конфигурации каналов управления.

№ кан.	Угол упр.	Органы управления		
		Традиционный планер	V-образное оперение	Летающее крыло
1	Крен	Элероны	Элероны	Элевоны
2	Тангаж	Руль высоты	"Ruddervator"	
3	Рыскание	Руль напр.		

Традиционный планер управляется двумя элеронами по крену, рулём или рулями высоты и рулём направления, может иметь закрылки, тормозные щитки, шасси и т. д. Хвостовое оперение также может быть V-образным, с гибридными рулями направления и высоты (англ. «ruddervator»). Встречаются конфигурации, в которых функции закрылков выполняют отклоняемые на постоянный угол элероны («флапероны»). В конфигурациях типа «безхвостка» и «летающее крыло» управление происходит «элевонами» - гибридами элеронов и руля высоты. Силовые установки могут быть электрическими, бензиновыми или реактивными, каждая из них со своим способом управления. На БПЛА также могут быть установлены спасательные парашюты и другие устройства, управляющие полётом [7].

Каждая из возможных конфигураций обычно наилучшим образом подходит для решения определённых задач. Такое разнообразие конфигураций требует закладывать в архитектуру БРЭО определённую универсальность. Использование микроконтроллера и ПЛИС в системе управления (автопилоте) обеспечивает возможность сравнительно легко подстраиваться под конкретную конфигурацию.

В табл. 1 рассмотрены различные возможные конфигурации одних и тех же каналов управления, реализуемых в аппаратной части автопилота. Изменение конфигурации производится перепрограммированием контроллеров и ПЛИС, используемых в подсистемах БРЭО.

## 2 Платформа для испытания разрабатываемого БРЭО

Для проведения лётных и стендовых испытаний УБРЭО, а также проведения разработки УБРЭО непосредственно на реальном БПЛА, ещё в самом начале проектирования была развёрнута беспилотная платформа на основе малого планера VolantexRC Ranger EX 757-3, изначально предназначенного для FPV-полётов – направления в современном авиамоделизме, связанным с полётами с использованием камеры на дальние расстояния.

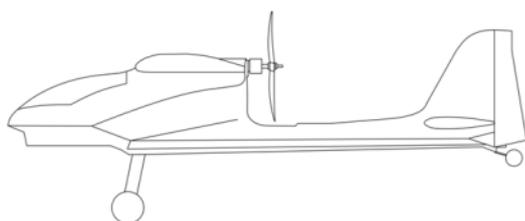


Рисунок 4 – Общий вид Ranger EX

Размах крыла планера – 2 метра, длина фюзеляжа – 1,2 метра. Аэродинамическая компоновка – высокоплан с толкающим винтом и классическим хвостовым оперением. Вид тяги – бесколлекторный электрический мотор мощностью 500 Вт. Взлётный вес планера – 4 кг, собственный вес – 1,2 кг.

Общий вид разработанной структуры предлагаемого БРЭО представлен на Рисунок 3.

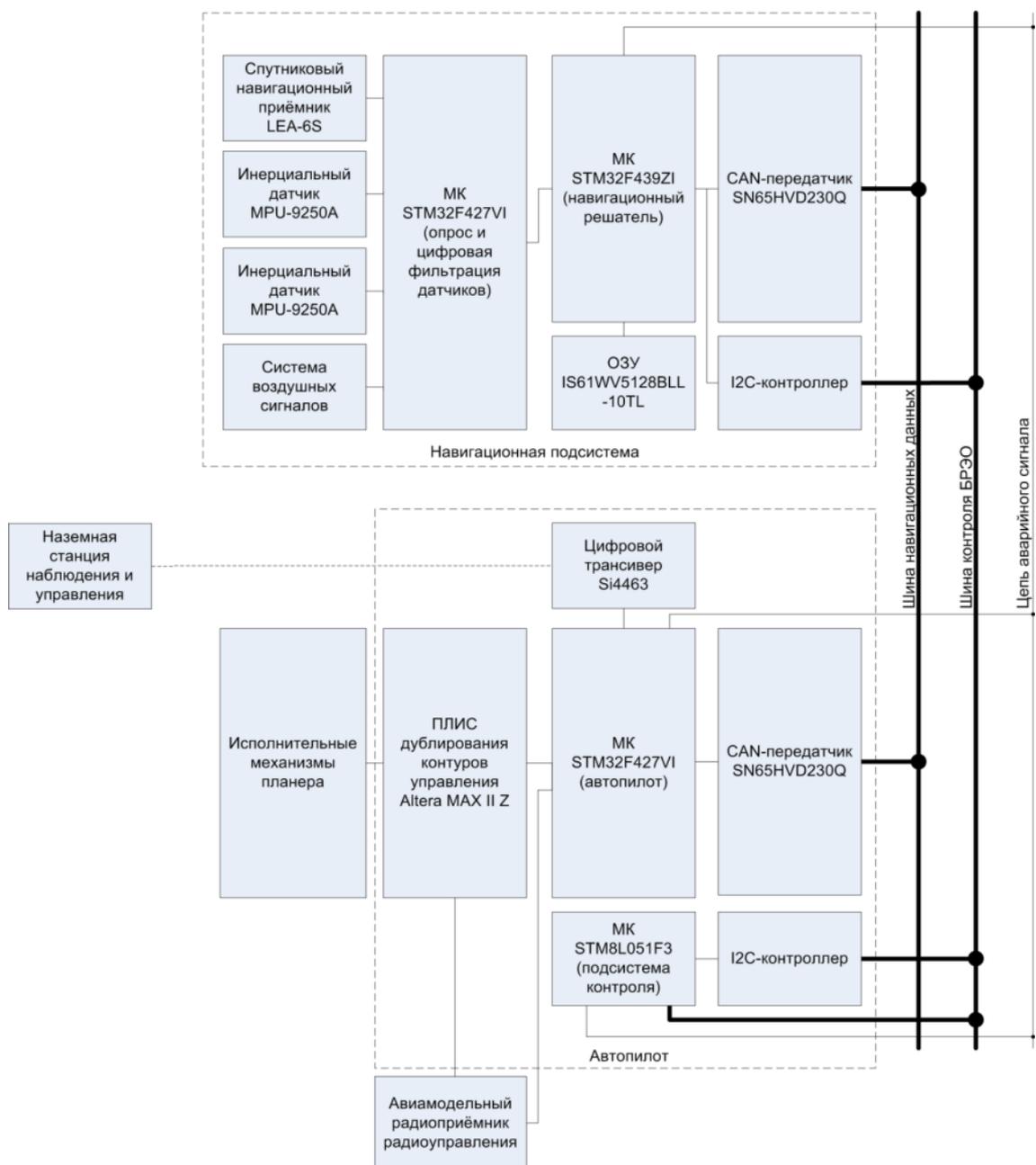


Рисунок 5 – Общий вид структуры разрабатываемого БРЭО

На борту платформы оборудованы цепи для питания бортовой аппаратуры от аккумуляторов высокой ёмкости через высокоэффективные импульсные источники питания. Борт оборудован радиоприёмником дублирующего радиоправления на частоте 2,4 ГГц RX-841FS для возможности перехвата управления в случае отказа разрабатываемого оборудования, антенной 868 МГц с круговой поляризацией для организации связи с наземной станцией через трансивер Si4463, описанный выше. Установлено устройство управления оборотами бесколлекторного двигателя. Специальные отверстия в носовой части планера служат для вентиляции электроники внутри и установки трубки Пито – приёмника воздушного давления.

Установлены две термопары для дальнейшего подключения к УБРЭО для контроля за температурой ответственных узлов.

Назначение каналов УБРЭО для работы на данной платформе приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Назначенные каналы управления в испытательной платформе

№	Ranger EX	
	Обознач.	Назначение
1	РВ	Серво руля высоты
2	Э	Два серво элеронов (Y-кабель)
3	ОД	Выход регулятора двигателя
4	РН	Серво руля направления
5	УВП	Устройство выпуска парашюта
6	ЗЛ	Серво закрылок
7	РУ	Переключение управления
8	РЗ	Резерв-1

Таким образом используемая платформа является усреднённой моделью планера, который с которым может работать разрабатываемая БРЭО.

### Заключение

Предложенная архитектура удовлетворяет поставленным в начале проектирования требованиям. По сравнению с коммерческими образцами, она имеет широкие возможности по добавлению дополнительных модулей и заложенной в архитектуру повышенной безопасностью. Основным требованием при этом является стандартизация протокола обмена данными по описанным шинам.

Дальнейшая разработка УБРЭО заключается в составлении функциональной схемы отдельных подсистем, подборе основных компонентов, разработке схемотехнического решения и изготовлении прототипа УБРЭО.

### Литература

1. Salychev O. S., Voronov V. V. Low cost INS/GPS integration: concepts and testing. (англ.) - Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada
2. Rade Stančić and Stevica Graovac. Land Vehicle Navigation System Based on the Integration of Strap-Down INS and GPS (англ.) // ELECTRONICS. — 2011. — Т. 15. — № 1. — С. 54—61.
3. Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982.
4. Jordan Crittenden, Parker Evans. MEMS Inertial Navigation System. Cornell University, United States, 2008.
5. ReportsnReports. The Global UAV Market 2013-2023. 2013, Dallas, TX: 2008.
6. Guilin Feiyu Electronic Technology Co., Ltd. FY-41AP Lite AutoPilot & OSD System Installation & Operation Manual. Gui Lin: 2013.
7. Ефимова М. Г. Конструкция и основные функциональные системы летательных аппаратов. Учебное пособие. – М.: МГТУГА, 2005.
8. ООО «Paraavis». Каталог продукции – парашютные системы. М.: 2012.
9. FruityChutes Inc. 2012 Product Lineup. Доступно на сайте [fruitychutes.com](http://fruitychutes.com). United States: 2012.
10. Мкртчян В. И. Решение задачи навигации с помощью бесплатформенной инерциальной системы навигации и системы воздушных сигналов. Молодежный научно-технический вестник. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
11. uBlox Inc. u-blox 6 GPS, QZSS, GLONASS and Galileo modules. Доступно на сайте [u-blox.com](http://u-blox.com), режим доступа [https://u-blox.com/images/downloads/Product\\_Docs/LEA-6\\_ProductSummary\\_\(GPS.G6-HW-09002\).pdf](https://u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/LEA-6_ProductSummary_(GPS.G6-HW-09002).pdf)
12. Боднер В. А. Теория автоматического управления полётом, М., 1964.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОПИЛОТА ДЛЯ ЛЁГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ФИКСИРОВАННЫМ КРЫЛОМ

Евдокимов В. С. (СМ7), Зотьева Д. Е. (ИУ4)  
*Научный руководитель: канд. техн. наук Власов А. И.*  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## AUTOPILOT DESIGN FOR LIGHT FIXED-WING AIRCRAFT

Evdokimov V. S. (2<sup>nd</sup> yr., dept. SM7), Zotieva D. E. (5<sup>th</sup> yr., dept. IU4)  
*Supervisor: Vlasov A. I., Ph. D.*  
MSTU, Moscow, IU4 chair, Russia

### Аннотация

В предлагаемой работе описаны результаты концептуального и структурного проектирования системы автопилотирования для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Формулируются и анализируются требования к разрабатываемому оборудованию, исходя из особенностей современных БПЛА. Вырабатывается архитектура оборудования, отвечающая сформулированным требованиям.

### Abstract

This paper covers the results of the conceptual and draft design stages for an automated flight control system (AFCS) for an unmanned aerial vehicle (UAV). Design requirements are set and analyzed for the AFCS based on modern UAV features. Structure of such a system is designed corresponding to the requirements.

### Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются стремительно развивающимся направлением авиационной техники. В 2014 году мировой оборот рынка БПЛА достиг значения в 91 миллиард долларов [5], 10 миллиардов из которых относятся к рынку гражданских БПЛА. В концепции разрабатываемого комплекса электронного оборудования предусмотрена отдельная роль для системы автопилотирования: это исполнительный механизм для управления непосредственно планером. Необходимость учитывать множество параметров при проектировании автопилота ставит перед инженерами задачу тщательного концептуального и структурного проектирования электронной системы.

От способностей автопилота, его универсальности и надёжности зависит судьба воздушного судна, важных грузов и выполнение боевой задачи.

### 1 Анализ особенностей проектирования систем автопилотирования для БПЛА

Первые системы автопилотирования появились ещё в 1912 году и представляли собой гидравлические привода, управляющиеся гироскопами и высотомерами. Эти системы обеспечивали только стабилизацию полёта летательного аппарата с фиксированным крылом. С развитием авиации и увеличением времени полёта воздушных судов стабилизирующие системы автопилотирования получили широкое развитие.

Среди современных систем автоматического пилотирования любопытным примером является устройство предотвращения несанкционированного полёта летательного аппарата. [12] Данная система в нештатной ситуации, такой как, например, захват террористами воздушного судна, полностью берёт управление самолётом на себя. Виды автопилотируемых систем рассмотрены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Виды автопилотируемых систем

В данной статье рассмотрен процесс структурного проектирования автопилота способного выполнять некоторые задачи для летательного аппарата определённой конфигурации.

Во-первых, система автопилотирования должна обеспечивать возможность как выполнять предварительно заданное полётное задание в автоматическом режиме, так и иметь возможность перехода на ручное управление. В автономном режиме БПЛА должен быть способен следовать по заданному маршруту и вернуться в исходную точку.

Во-вторых, система автопилотирования должен быть универсальна, что означает максимально широкие возможности программирования и конфигурации под различные беспилотные платформы.

В-третьих, система автопилотирования должна быть расширяемой, то есть должна иметься возможность добавления желаемых модулей без существенного изменения существующей конструкции. Так же следует учитывать возможность замены устройств и механизмов с которыми работает система автопилотирования, необходимо обеспечить максимально простую их интеграцию.

Кроме того, предполагается наличие командного пункта, где осуществляется мониторинг телеметрии и, в случае необходимости, ручное управление летательным аппаратом.

## 2 Функциональное устройство автопилота

**Наземный терминал и дистанционное управление.** Управление и наблюдение за полётом БПЛА должно осуществляться с стационарного командного пункта (КП) с земли, причём и на достаточно больших расстояниях от КП.

Для обеспечения связи с БПЛА используется двунаправленный цифровой радиоканал, основанный на микросхеме-трансивере Silicon Labs Si446X, развивающей до 1 Вт выходной мощности на широкой полосе частот, включающей гражданские диапазоны 433 и 868 МГц и обеспечивающей надёжную связь на расстоянии до 10 км.

Наземная станция управления БПЛА представляет собой модем-приставку к ИМВ-совместимому персональному компьютеру (ПК). Специализированное программное обеспечение на ПК формирует команды для передачи на БПЛА и позволяет следить за его режимами полёта, выполняя функцию телеметрии.

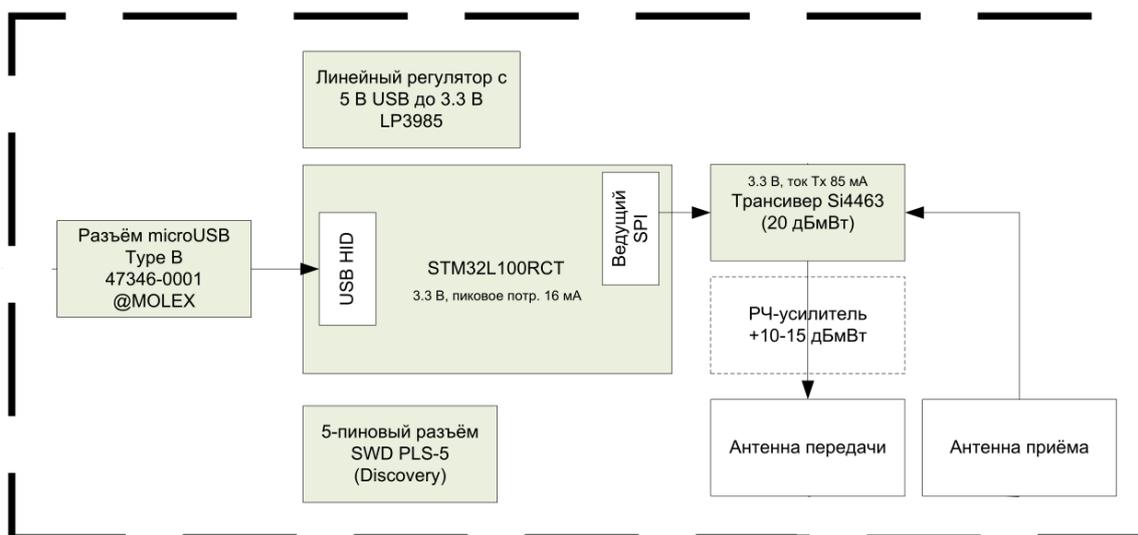


Рисунок 3 – Функциональная схема наземного терминала

**Дублирование контуров управления.** Конечной целью разработки БРЭО является полная реализация управления через цифровой канал, описанный выше. Несмотря на это, на этапе разработки БРЭО полезным будет иметь запасной источник управления для:

1. Частичного или полного перехвата управления в случае критического отказа автопилота или навигационной подсистемы.
2. Отладки алгоритмов стабилизации по отдельным углам пилотирования.
3. Оценки работоспособности и точности показаний навигационной подсистемы без передачи управления на автопилот, в случае, если исправность навигационной подсистемы вызывает сомнения.

В качестве запасного источника управления выбираются стандартные авиамодельные 2,4 ГГц приёмник и передатчик Sanwa RDS8000, обеспечивающие дистанционное управление по восьми каналам на расстоянии до километра прямой видимости; а с направленной антенной и усилителем мощности передаваемого сигнала – до 10 км. БРЭО совместимо и с другими системами радиуправления. Переключение источника управления происходит от одного из дополнительных каналов системы радиуправления (для RDS8000 – 7 или 8 канал “AUX1/2”).

Схема переключения источника управления реализуется на цифровых мультиплексах так, что при переключении неактивный источник управления полностью отключается от исполнительных сервоприводов и неспособен повлиять на исполнительные сервоприводы. Так как авиамодельные радиопередатчики ориентированы на управление сервоприводами, для того, чтобы двухпозиционным переключателем менять логический уровень для управления мультиплексами, его необходимо предварительно преобразовать.

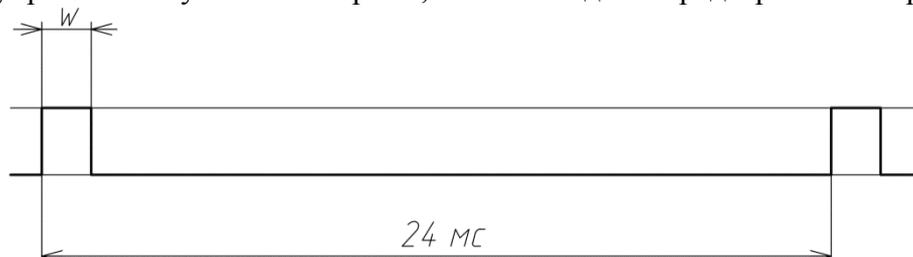


Рисунок 4 – Сигнал управления сервоприводами

Стандартные сервоприводы управляются специальным вариантом широтно-импульсной модуляцией с периодом импульса 24 мс (Рисунок 4). Длина импульса, управляющего углом разворота сервопривода, составляет от 1100 до 1900 нс. Принимая,

например, 1100 нс за «1» и 1900 нс за «0» (в зависимости от желаемого «выключенного» положения тумблера на приёмнике), можно разработать соответствующий преобразователь.

Схему мультиплексирования можно реализовать на дискретных элементах стандартной логики (Рисунок 5), а именно мультиплексорах-переключателях 2-1 и 4-1, но так как в любом случае требуется реализация преобразователя, который требует большого количества логических элементов, разумно использовать программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС). В разрабатываемом БРЭО используется ПЛИС семейства Altera MAX II.

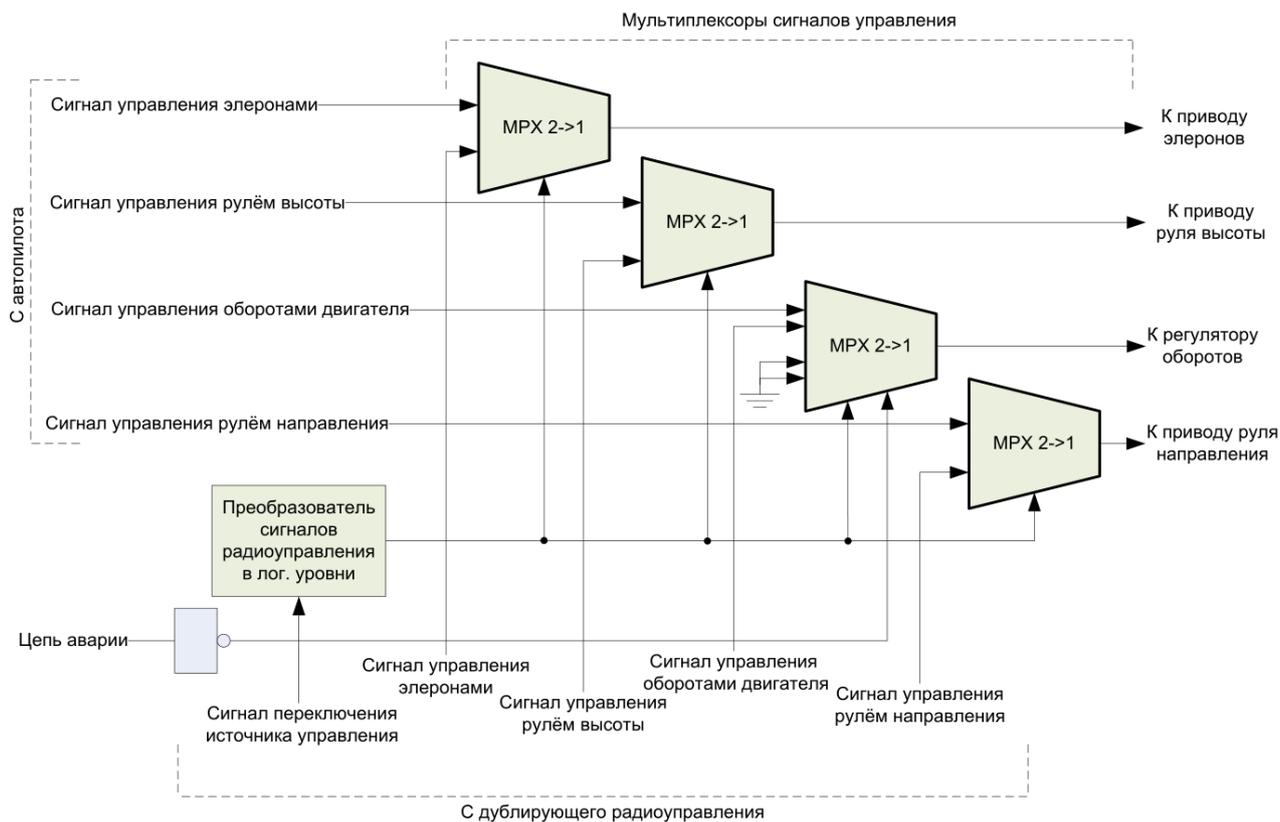


Рисунок 5 – Логическая схема ПЛИС дублирования контуров управления

В зависимости от логического уровня, формируемого положением тумблера на передатчике системы радиоуправления, сигналы управления приходят либо с ручного радиопередатчика, либо с автопилота. При нештатной ситуации и срабатывании цепи аварии на регулятор оборотов двигателя будет подан логический ноль, что вызовет его остановку вне зависимости от текущего источника управления.

Дополнительным преимуществом ПЛИС является возможность переконфигурирования логической схемы под другие типы радиоуправления или двигателя. Например, для электрического бесколлекторного мотора сигналом остановки является логический ноль, но для двигателя внутреннего сгорания необходимо подать сигнал, соответствующий закрытому положению дроссельной заслонки. Для переустановки БРЭО в бензиновый БПЛА потребуется только сменить прошивку ПЛИС, а не конструировать новое схемотехническое решение.

## Заключение

Полученная в результате архитектура удовлетворяет поставленным в начале проектирования требованиям. По сравнению с коммерческими образцами автопилотов, она имеет широкие возможности по добавлению дополнительных модулей и заложенной в архитектуру повышенной безопасностью. Основным требованием при этом является стандартизация протокола обмена данными по описанным шинам.

Дальнейшая разработка УБРЭО заключается в проработке системы команд автопилота, моделированию их исполнения, подборе основных компонентов, разработке схемотехнического решения и изготовлении прототипа УБРЭО.

## Литература

1. Salychev O. S., Voronov V. V. Low cost INS/GPS integration: concepts and testing. (англ.) - Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada
2. Rade Stančić and Stevica Graovac. Land Vehicle Navigation System Based on the Integration of Strap-Down INS and GPS (англ.) // ELECTRONICS. — 2011. — Т. 15. — № 1. — С. 54—61.
3. Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982.
4. Jordan Crittenden, Parker Evans. MEMS Inertial Navigation System. Cornell University, United States, 2008.
5. ReportsnReports. The Global UAV Market 2013-2023. 2013, Dallas, TX: 2008.
6. Guilin Feiyu Electronic Technology Co., Ltd. FY-41AP Lite AutoPilot & OSD System Installation & Operation Manual. Gui Lin: 2013.
7. Ефимова М. Г. Конструкция и основные функциональные системы летательных аппаратов. Учебное пособие. – М.: МГТУГА, 2005.
8. ООО «Paraavis». Каталог продукции – парашютные системы. М.: 2012.
9. FruityChutes Inc. 2012 Product Lineup. Доступно на сайте [fruitychutes.com](http://fruitychutes.com). United States: 2012.
10. Мкртчян В. И. Решение задачи навигации с помощью бесплатформенной инерциальной системы навигации и системы воздушных сигналов. Молодежный научно-технический вестник. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
11. uBlox Inc. u-blox 6 GPS, QZSS, GLONASS and Galileo modules. Доступно на сайте [u-blox.com](http://u-blox.com), режим доступа: [https://u-blox.com/images/downloads/Product\\_Docs/LEA-6\\_ProductSummary\\_\(GPS.G6-HW-09002\).pdf](https://u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/LEA-6_ProductSummary_(GPS.G6-HW-09002).pdf).
12. Патент США №20040217232 A1 "Метод и устройство предотвращения несанкционированного полёта летательного аппарата". Интернет-ресурс, режим доступа: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnethtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=7475851.PN.&OS=PN/7475851&RS=PN/7475851>.

# ГИБРИДНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ФИКСИРОВАННЫМ КРЫЛОМ

Ревзин Г. Г.

*Научный руководитель: канд. техн. наук Гриднев В.Н.*  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## HYBRID NAVIGATIONAL SYSTEM FOR LIGHT FIXED-WING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Revzin G. G.

*Supervisor: Ph. D. Gridnev V.N.*  
MSTU, Moscow, IU4 chair, Russia

### Аннотация

В данной работе предлагается структура гибридной навигационной системы для беспилотных летательных аппаратов, объединяющей микроэлектромеханические инерциальные сенсоры, магнетометры, систему воздушных сигналов и приёмник спутниковой навигационной системы. Выбирается и обосновывается элементная база.

### Abstract

In this paper a structure for a hybrid navigational system for unmanned aerial vehicles that merges the flight data from inertial sensors, magnetometers, an air data computer and a satellite navigation system. Electronic components for the system are selected.

### Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последний десяток лет стали одним из самых развивающихся направлений авиационной техники. Возможности конкретного БПЛА в значительной степени определяются возможностями установленной на нём навигационной системы (НС), а именно такими её параметрами, как точность позиционирования, время автономной работы, частота обновления навигационной картины, энергопотребления и других.

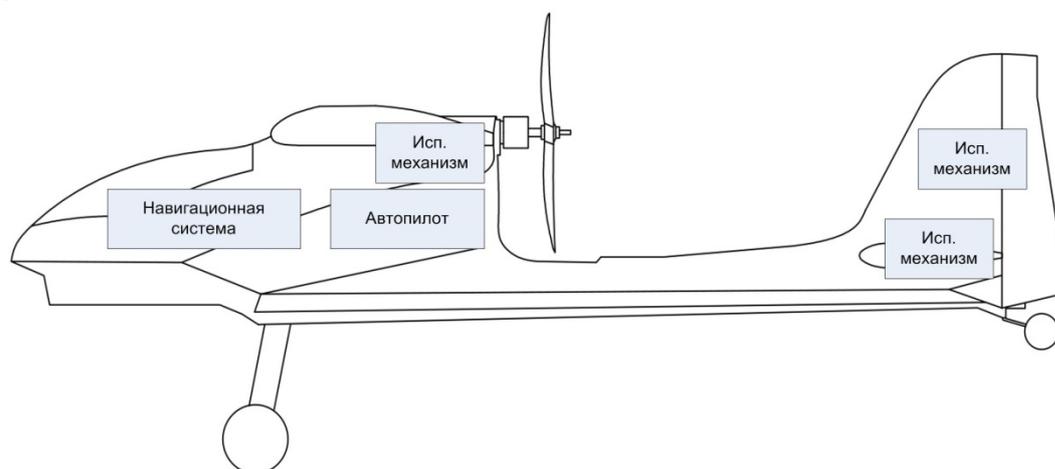


Рисунок 1 – Структура системы управления БПЛА

Задачей данной работы является разработка архитектуры ИНС для легкого БПЛА.

## 1 Задача гибридной навигационной системы

Задачей НС является постоянное формирование полной навигационно-пилотажной картины БПЛА и передача этой информации в автопилот и другие устройства, требующие эти данные.

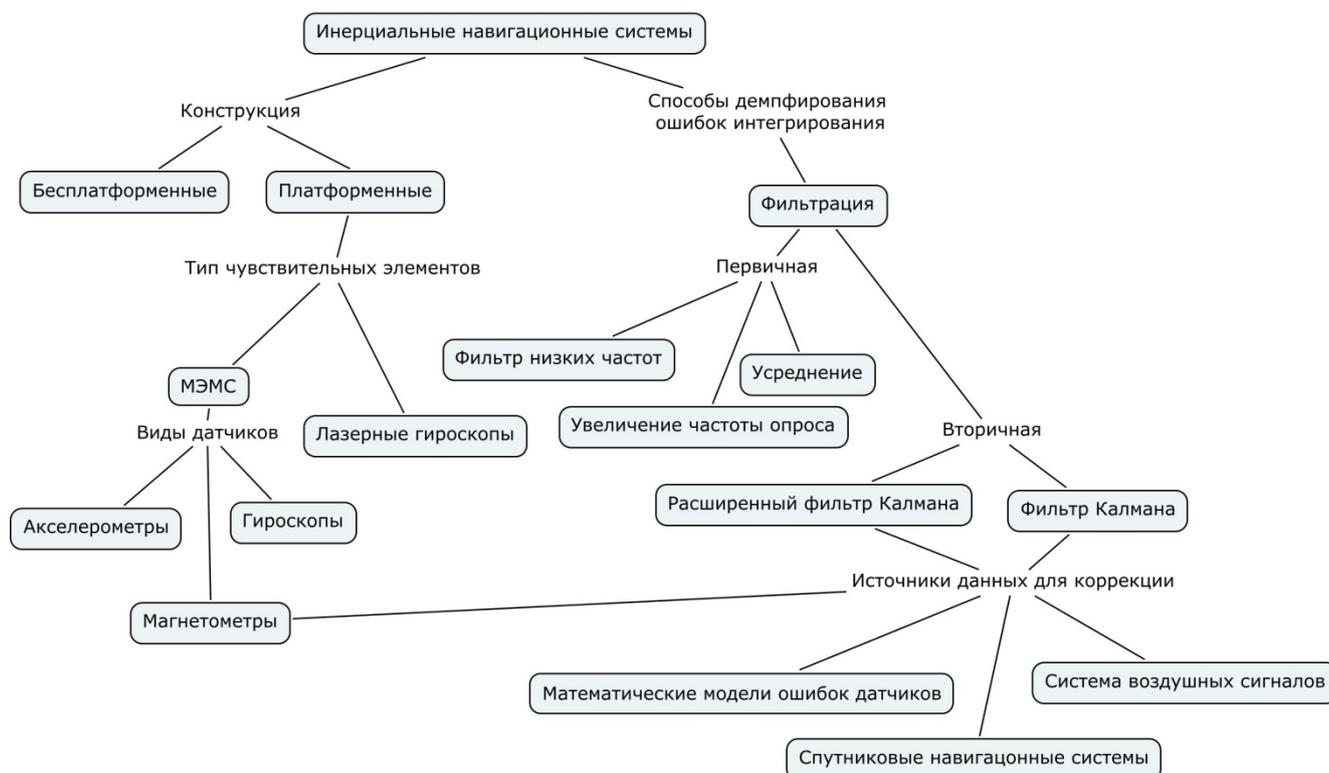


Рисунок 2 – Схема основных понятий систем инерциальной навигации

Предлагаемая НС представляет собой бесплатформенную инерциальную навигационную систему (БИНС) с коррекцией от спутниковой навигационной системы и системы воздушных сигналов. Инерциальная часть навигационной подсистемы реализуется на MEMS-датчиках, что позволяет отнести её к микроминиатюрным БИНС (МБИНС).

Одним из ограничений при проектировании систем инерциальной навигации является высокая стоимость традиционных механических или других акселерометров и гироскопов, являющихся основными составляющими этих систем. Естественным является интерес к сравнительно недавним микроэлектромеханическим (MEMS) гироскопам и акселерометрам, в основном используемых в потребительской электронике, ввиду их крайне низкой по сравнению с другими стоимостью и малым геометрическим размерам.

С другой стороны, MEMS-устройства отличаются сравнительно низкой точностью, что критически важно для задач инерциальной навигации ввиду аккумуляции ошибок интегрирования в ИНС и, соответственно, недостоверности навигационной информации. Хорошим способом увеличения точности позиционирования является коррекция данных МБИНС с помощью спутниковой навигационной системы (СНС) или иных датчиков, характерных для объекта навигации, например, системы воздушных сигналов (СВС) летательного аппарата.

Для объединения положительных сторон ИНС и СНС и взаимного исключения недостатков применяется гибридная система. Кроме того, дополнительная коррекция осуществляется с помощью системы воздушных сигналов (СВС), что, как показано в [3], значительно улучшает качество фильтрации. В монографии [5] приведены положительные результаты испытаний подробных гибридных систем.

## 2 Инерциальная часть

В качестве инерциальных датчиков выбраны высокоинтегрированные цифровые MEMS-датчики Insense MPU-9250A, сочетающие в себе 16-битные трёхосевой гироскоп, трёхосевой акселерометр и трёхосевой магнетометр. Датчики подключаются по сравнительно высокоскоростному протоколу SPI.



Рисунок 3 – Девятиосевой MEMS-датчик ориентации MPU-9250A на отладочной плате

Для увеличения частоты опроса датчиков, что положительно сказывается на качестве фильтрации [3], в систему включается два датчика, каждый из которых будет опрашиваться на частоте 2-3 кГц.

Использование MPU-9250A значительно упрощает схемотехнику инерциальной части системы по сравнению с использованием отдельных трёхосевых датчиков, кроме того, объединение трёх измерительных устройств на одном кристалле в заводских условиях значительно уменьшает ошибку несовпадения осей между разными устройствами.

Магнетометры позволяют эффективно демпфировать накапливающуюся ошибку гироскопов с помощью оценки ориентации самолёта в пространстве относительно магнитного севера.

**Спутниковый приёмник.** MEMS-датчики, изначально предназначенные для неточных устройств ввода-вывода (например, датчики ориентации в смартфонах) и получения грубых сведений о состоянии устройства (например, детекторы свободного падения), обладают невысокой точностью. Без какой-либо коррекции расчётное положение статической системы на аналогичных датчиках «уходит» со скоростью 7 метров в секунду [4]. Даже с вдесятеро меньшим шумом ошибка интегрирования быстро (за сотни-тысячи секунд) сделает показания ИНС совершенно оторванными от реальности.

Специальные методы подавления ошибок MEMS-датчиков, начиная от усреднения нескольких показаний датчика за период времени и заканчивая составлением подробной математической модели ошибки датчика, хотя и благотворно действуют на точность полученных показаний, всё равно не способны полностью решить проблему накопления ошибки интегрирования. Таким образом, 1) для МБИНС строго необходима периодическая коррекция от некоторого внешнего эталона 2) МБИНС пригодны лишь для краткосрочной навигации.

Требование к наличию внешней коррекции хорошо сочетается с типичными характеристиками современного приёмника спутниковых навигационных систем, предназначенного для интеграции в различные устройства. Так, например, частота обновления положения в популярном семействе GPS-приёмников uBlox не превышает 5 Гц [11]. Очевидной является благоприятность объединения системы на основе MEMS-датчиков и GPS-приёмника: в промежутки между обновлениями положения от GPS-приёмника навигация осуществляется по интегрированию MEMS-датчиков, которые постоянно корректируются по GPS-приёмнику, что подавляет накопленную ошибку интегрирования.

В систему включен приёмник uBlox LEA-6S с возможностью «горячей замены» на другие приёмники семейства LEA-6, в том числе на приёмник LEA-6N с возможностью приёма сигналов системы ГЛОНАСС. Управление приёмником осуществляется по интерфейсу UART через двоичный протокол UBX, что позволяет достигнуть большой скорости обмена данными.

Приёмники семейства LEA-6 имеют выход GPS-времени TIMEPULSE, который можно использовать в качестве очень точного тактового сигнала для часов реального времени в используемых микроконтроллерах.

**Система воздушных сигналов.** Качество фильтрации измеренной скорости и демпфирования случайной и постоянной составляющей в инерциальных навигационных системах можно значительно повысить, используя мгновенные показания СВС, не подверженных накоплению ошибок интегрирования.

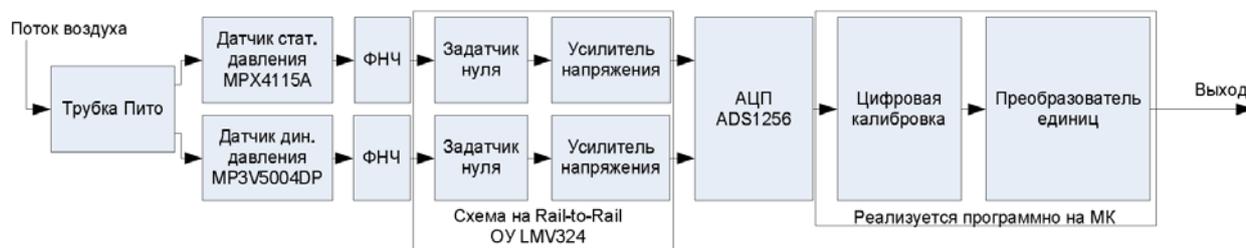


Рисунок 4 – Функциональная схема системы воздушных сигналов

В качестве системы воздушных сигналов используется измерительное устройство на основе трубки Пито. Основными элементами системы воздушных сигналов являются датчики статического и динамического давления, а также трубка Пито в качестве приёмника воздушного давления. В качестве датчика статического давления выбран датчик MPX4115A, а в качестве датчика динамического давления – MP3V5004DP. Выбранные датчики обеспечивают необходимую точность при заданном диапазоне значений и условиях эксплуатации.

Обработка получаемых данных производится микроконтроллером. Входные данные для микроконтроллера поступают с 24-разрядного АЦП ADS1256, обеспечивающего высокую точность преобразования сигнала. Чтобы наиболее полно использовать возможности датчиков давления и АЦП, выходной сигнал датчиков давления усиливается таким образом, чтобы его максимальное значение было близко к максимальному значению входного сигнала АЦП, а минимальное равнялось нулю. Для этого используются предварительное задание нуля, которое осуществляется с помощью сумматоров на операционных усилителях, на которых вычитается постоянная составляющая выходов датчиков давления, и усилительных каскадов с отрицательной обратной связью, отображающие диапазон выходов датчиков на весь диапазон напряжения питания аналого-цифрового преобразователя. Применяемые операционные усилители – LMV324, по четыре операционных усилителя с CMOS-выходами на кристалле, предназначенных специально использования в схемах с однополярным питанием. Для того, чтобы исключить высокочастотные помехи на входе каскадов, применяются фильтры низких частот с частотой среза 30 Гц, представляющие собой RC-цепочки.

Надёжная оценка воздушной (приборной) скорости летательного аппарата требует значения температуры воздуха, от которой зависит плотность, и, следовательно, разность давлений в трубке Пито

**Вычислительная часть.** Показания датчиков собираются и обрабатываются 32-битным ARM-микроконтроллером ST Microelectronics STM32F429 с сопроцессором чисел с плавающей запятой. Качество инерциальной навигации находится в прямой зависимости от частоты опроса инерциальных датчиков, поэтому разумно всю вычислительную мощность этого микроконтроллера использовать только для опроса датчиков и первичной обработки и цифровой фильтрации их показаний. Как правило, настройка и работа с цифровыми датчиками требует отправки, приёма и обработки большого количества различных пакетов по шинам разных стандартов, что создаёт значительную нагрузку на процессор и требует постоянного переключения между выполняемыми задачами, что снижает эффективность конвейера инструкций процессора.

В задачи первичной фильтрации датчиков входит усреднение показаний, удаление известной постоянной составляющей, перевод в значащие единицы измерения (отсчёты АЦП в измеряемую физическую величину); кроме того, микроконтроллер опроса датчиков контролирует разумность показаний датчиков и сигнализирует на цепь аварии при отказе какого-либо из них.

Вторым важным фактором в качестве данных, полученных с помощью данных инерциальной навигации, и, соответственно, качестве работы автопилота, опирающегося на эти данные, является частота формирования навигационного решения [3]. Чем меньше частота получения пилотажной картины, тем меньше значения производных углов управления, которые может выдерживать автопилот без опасности ввести БПЛА в опасный режим полёта [8]. Для максимального использования ресурсов и развития наибольшей возможной частоты формирования навигационного решения, эту задачу решает отдельный микроконтроллер STM32F439 с подключенной внешней оперативной памятью. Математический аппарат инерциальной навигации достаточно сложен, и разумно полностью использовать ресурсы отдельного микроконтроллера именно под эту задачу.

Между собой микроконтроллеры связаны двумя шинами USRT (Universal Synchronous Receiver-Transmitter, универсальный синхронный приёмопередатчик), вариантом распространённого протокола UART с использованием синхросигнала, что позволяет выставить скорость обмена значительно выше, чем принятые условно-максимальными в UART сотни килобод в секунду.

Полученное навигационное решение в установленном формате широковещательно передаётся на шину CAN через приёмопередатчик для использования другими подсистемами БРЭО.

### **Заключение**

В статье были рассмотрены типовые задачи, решаемые инерциальной навигационной системой, разработано архитектурное решение, отвечающее требованиям, характерным для таких задач. Учтены особенности гибридной системы навигации, рассмотрены источники данных для коррекции и демпфирования накапливающихся ошибок интегрирования в ИНС.

Подобрана современная элементная база для реализации схемотехнического решения, исходя из поставленных требований и выработанной архитектуры.

### **Литература**

1. Salychev O. S., Voronov V. V. Low cost INS/GPS integration: concepts and testing. (англ.) Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada
2. Rade Stančić and Stevica Graovac. Land Vehicle Navigation System Based on the Integration of Strap-Down INS and GPS (англ.) // ELECTRONICS. — 2011. — Т. 15. — № 1. — С. 54—61.
3. Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982.
4. Jordan Crittenden, Parker Evans. MEMS Inertial Navigation System. (англ.) Cornell University, United States, 2008.
5. Salychev O. S., MEMS-based Inertial Navigation: Expectations and Reality. BMSTU Press, (англ.) М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012
6. Мкртчян В. И. Решение задачи навигации с помощью бесплатформенной инерциальной системы навигации и системы воздушных сигналов. Молодежный научно-технический вестник. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
7. uBlox Inc. u-blox 6 GPS, QZSS, GLONASS and Galileo modules. Доступно на сайте u-blox.com, режим доступа [https://u-blox.com/images/downloads/Product\\_Docs/LEA-6\\_ProductSummary\\_\(GPS.G6-HW-09002\).pdf](https://u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/LEA-6_ProductSummary_(GPS.G6-HW-09002).pdf)
8. Боднер В. А. Теория автоматического управления полётом, М., 1964.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Феоктистов Д. В.

*Научный руководитель: канд. техн. наук Лавров А.В.*  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## FLIGHT SAFETY PROVISION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Feoktistov D. V.

*Supervisor: Ph. D. Lavrov A.V.*  
MSTU, Moscow, IU4 chair, Russia

### Аннотация

В предлагаемой работе описаны основные задачи и методы обеспечения безопасности полётов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Обозначены основные принципы создания систем, обеспечивающих безопасность полётов. Разрабатывается структура системы периодического контроля работоспособности авионики БПЛА.

### Abstract

This paper describes common tasks and methods of maintaining safe flight for unmanned aerial vehicles (UAVs). Primary methods of flight safety systems design are discussed. An architecture for a periodic automated operability checking system for UAV avionics is presented.

### Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся всё более популярным направлением в авиационной технике. В 2014 году мировой оборот рынка БПЛА достиг значения в 91 миллиард долларов [1], 10 миллиардов из которых относятся к рынку гражданских БПЛА.

Основные методы контроля работоспособности аппаратуры можно представить в виде ментальной карты (рисунок 1).



Рисунок 1 – Обеспечение контроля работоспособности аппаратуры

Привлекательность БПЛА заключается в их компактности, мобильности, а также возможностями автоматизации. При этом бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) является сложной технической системой, что означает, во-первых, высокую стоимость комплекта оборудования для каждого оснащённого БПЛА, а во-вторых - увеличение

вероятности отказа, угрожающего БПЛА, особенно в период разработки подсистем проектируемого БРЭО, что требует наличия системы спасения БПЛА в аварийной ситуации.

### **1 Принципы работы систем безопасности полётов**

На рынке системы спасения представлены специальными миниатюрными парашютами [2], обеспечивающими сравнительно безопасную вертикальную посадку отказавшего БПЛА. БРЭО, соответственно, должно принимать решение о выпуске парашюта и отключения ходового двигателя при аварии, причём отключение должно происходить вне зависимости от сигналов, формируемых в этот момент автопилотом.

В простейшем случае устройство спасения может активироваться по команде оператора с земли, однако реакции оператора может быть недостаточно для своевременного предотвращения крушения, что требует автоматического срабатывания системы спасения. Кроме того, источником отказа может быть любая из бортовых подсистем, а отказы отдельных подсистем могут быть как обнаружены самой подсистемой (например, отказ акселерометра будет обнаружен микроконтроллером навигационной системы), так и не обнаружены (например, полное «зависание» микроконтроллера автопилота).

Другим важным требованием является независимость функционального блока, отвечающего за обеспечение безопасности от какой-либо из подсистем БРЭО. Иными словами, в целях улучшения надёжности БПЛА, функции контроля работоспособности системы не возлагаются на существующие микроконтроллеры подсистем, а вводится дополнительная простая подсистема для контроля и управления аварийными ситуациями.

Предлагаемое архитектурное решение, учитывающее эти особенности, заключается в следующем:

1. Все подсистемы БРЭО подключаются к шине контроля системы, в качестве которой используется двухпроводная шина I2C. В подсистему автопилота включается отдельный специальный микроконтроллер системы контроля (ведущий на шине), задача которого – поочерёдно отправлять на все подсистемы пакеты случайных данных. Подсистема, получившая данные, вычисляет их контрольную сумму с использованием полинома, общего для всех подсистем, и отправляет её назад. Микроконтроллер самостоятельно вычисляет контрольную сумму и сверяет её с полученной. Несовпадение контрольной суммы или её отсутствие является основанием для принятия решения о аварии. Такая схема контроля позволяет обнаружить «зависание» подсистемы, порчу её прошивки, отсутствие напряжения питания подсистемы и другие отказы. В свою очередь, контролируемое устройство может принять решение о сигнализации аварии, если оно не получает пакета дольше некоторого обусловленного времени.

2. Все подсистемы БРЭО (и микроконтроллер системы контроля) подключаются на общую электрическую цепь, подтянутую к логической единице, причём выходы этой цепи должны представлять из себя «открытый коллектор». Высокий логический уровень в цепи означает штатную ситуацию, низкий уровень означает нештатную ситуацию и является сигналом для отключения двигателя и выпуска парашюта. Подключение через открытый коллектор означает, что каждое из устройств, включая микроконтроллер подсистемы контроля, может задать низкий уровень в цепи и таким образом сигнализировать об аварии вне зависимости от других устройств и их состояния.

Критически важно в этой системе схемотехнически реализовать аппаратный канал управления двигателем так, чтобы при низком уровне в цепи аварии двигатель отключался вне зависимости от формируемых автопилотом или ручным радиоуправлением сигналов.

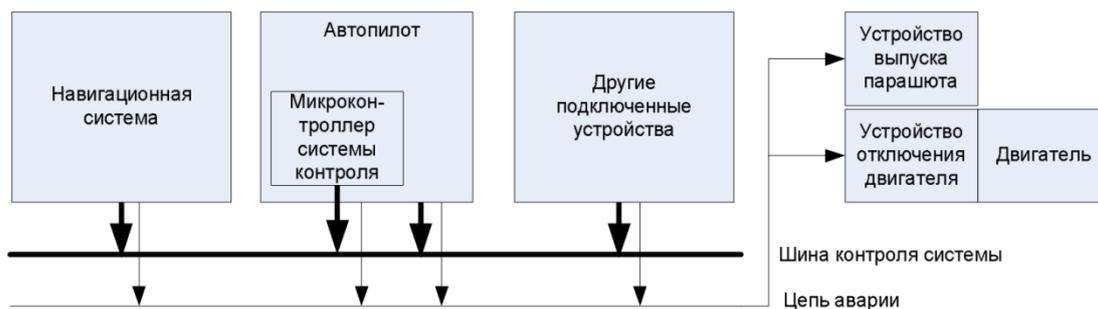


Рисунок 2 – Обеспечение безопасности БПЛА

Итак, между подсистемами БРЭО проходят три соединения:

1. Шина навигационных и пилотажных данных, по которой навигационная система широковещательно передаёт данные о состоянии БПЛА: углы крена, тангажа, рысканья, скорость, координаты и т. д. Тип шины – CAN.

2. Шина контроля системы, через которую постоянно контролируется исправность всех подсистем БРЭО БПЛА. Тип шины – I2C (DDC/PS).

3. Цепь аварии, сигнализирующая о нештатной ситуации с одной из подсистем.

Предлагается все подсистемы разрабатываемого БРЭО оснащать стандартным разъёмом (см. табл. 1).

Таблица 1 – Распиновка стандартного разъёма БРЭО

№ конт.	Шина	Сигнал
1	Шина навигационных и пилотажных данных (CAN)	CANH
2		CANL
3	Земля	GND
4	Земля	GND
5	Шина контроля систем (I2C)	SDA
6		SCL
7	Цепь аварии	GLOB_FAILURE

Кроме того, растущая популярность компьютеров, скомпонованных на единой плате небольших размеров, привело к появлению автопилотов БПЛА на их основе [3]. Использование в таких автопилотах полноценной операционной системы имеет свои преимущества, главным из которых является относительная простота написания программного кода для управления системами БПЛА. Однако использование распространённых и хорошо известных решений приводит к появлению вредоносных программ, позволяющих считывать полётные данные или даже получить контроль над БПЛА [4], что приводит к необходимости обеспечения безопасности программного обеспечения и передаваемых данных, подобно тому, как это происходит в персональных компьютерах, что является достаточно сложной задачей. Альтернативой является отказ от использования готовых систем и самостоятельное проектирование БРЭО (например, с использованием программируемых микроконтроллеров и/или программируемых логических интегральных схем).

## **Заключение**

Обеспечение безопасности полёта является одной из наиболее важных задач при проектировании БПЛА. Предложенные методы контроля работоспособности оборудования и защиты от отказов обеспечивают достаточную степень надёжности, особенно будучи применёнными совместно. Кроме того, обеспечение информационной безопасности БПЛА также играет важную роль, поэтому целесообразной представляется разработка собственных БРЭО и ПО.

## **Литература**

1. ReportsnReports. The Global UAV Market 2013-2023. 2013, Dallas, TX: 2008.
2. ООО «Paraavis». Каталог продукции – парашютные системы. М.: 2012.
3. Первый дрон с автопилотом под АРМ Linux. - Электронный ресурс. Режим доступа: [www.haker.ru/2014/12/23/erie-brain/](http://www.haker.ru/2014/12/23/erie-brain/). – Проверено 03.02.2015
4. Бэкдор Maldrone позволяет перехватить управление беспилотником. - Электронный ресурс Ferra.ru. Режим доступа: [www.ferra.ru/ru/techlife/news/2015/01/30/Maldrone/](http://www.ferra.ru/ru/techlife/news/2015/01/30/Maldrone/). – Проверено 03.02.2015

# СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ УСТРОЙСТВА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ BLUETOOTH С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

**Онорато Рохас Даниэль Андрес**

*Научный руководитель: Власов А.И.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## SYSTEM FOR DETERMINING THE DISTANCE OF A DEVICE INDOORS BASED ON BLUETOOTH LOW ENERGY

**Honorato Rojas Daniel Andrés**

*Supervisor: Vlasov A.I.*

MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматриваются разные системы для определения расстояния от устройств внутри помещений. Сделан анализ каждой из этих систем и выбрана наиболее подходящая. Автор представляет важные аспекты технологии BLE, которые будут влиять на дальнейшее развитие проекта. Предлагается вариант решения проектирования маячка на основе BLE. Кратко представлено описание разрабатываемого устройства. В заключении указаны результаты проделанной работы.

### **Abstract**

The article discusses different systems to determine the distance from a device indoors. Made analysis of each of these systems and selected the most suitable. The author presents important aspects of technology BLE, which will influence in the further development of the project. Proposed solution to the design of a beacon based on the BLE. Summarized description of the developed device. In conclusion, are listed the results of the work.

### **Введение**

В последнее время всё более актуальной становится проблема определения положения внутри помещений для того, чтобы предоставить посетителям услуг, основанных на их местоположении (LBS – Location-based service). Такие системы можно очень просто расширить с целью обеспечения навигации внутри помещения.

Благодаря сервисам indoor-навигации можно без проблем и оперативно найти ближайшую стойку регистрации в здании аэропорта, полку с нужным вам товаром в магазине, нужный вам элемент на выставке и многое другое. Но важнее всего – предоставление полезной информации пользователю в зависимости от того, в каком месте магазина находится или еще, от действий пользователя внутри помещения. Таким образом пользователи могут получить оповещения при входе в магазин с приветствием и информацией о проводимых акциях или мероприятиях, либо получить уведомление при приближении к определенному товару. Все это благодаря всплывающему сообщению на экране телефона клиента.

Рынок подобной геоконтекстной рекламы (LBA – location-based advertising) уже измеряется миллиардами долларов, и с развитием систем indoor-навигации ожидается его стремительный рост. Благодаря большим коммерческим перспективам, направление indoor-навигации становится всё более востребованным и уже привлекло внимание таких крупных игроков на рынке, как Google, Apple, Qualcomm, Broadcom, Sony и т.д [1].

В данной статье рассмотрим разные варианты определения местоположения внутри помещения, расскажем о их преимуществах и недостатках, выбрав технологию BLE маячки пройдем на более подробное объяснение их реализации.

## **1 Анализ вариантов решения проблемы**

Существует множество технологий реализации данной проблемы. Рассмотрим некоторые из них:

1) Навигация по Wi-Fi. Используется уже существующая инфраструктура сетей связи – точки беспроводных сетей Wi-Fi, и это наименее затратный вариант. Точность при такой системе очень низкая, погрешность – до 25 метров. А при использовании специально созданной Wi-Fi инфраструктуры – точность 3-5 метров, но это уже требует ощутимых затрат на создание и обслуживание подобной системы [1]. С другой стороны идентифицировать клиентов по Wi-Fi проблематично так как тенденция в современных смартфонах в том, что менять постоянно mac адрес чтобы повысить конфиденциальность.

2) Геомагнитное позиционирование. Основано на ориентировании по магнитному полю Земли и базируется на геомагнитных аномалиях как критериях для геомагнитного позиционирования. Практический пример реализации – система IndoorAtlas, команда учёных из финского университета Оулу. Недостаток – высокая сложность реализации, невысокая точность. В помещениях очень много динамически меняющихся магнитных аномалий сильно усложняющих навигацию, основанную на указанном способе ориентировании в пространстве [2].

3) Использование маячков BLE (Bluetooth Low Energy) технологии – даёт достаточную точность при приемлемом уровне финансовых затрат; перспективная технология, которая активно развивается. Имеют ряд преимуществ:

а. Пользователь использует свой смартфон, не понадобится тратить деньги на дополнительные специализированные устройства.

в. Не требуется больших денежных затрат. Один маячок стоит \$20 – \$30.

б. Высокая точность измерения. Погрешность достигает 10 см при расстоянии меньше 2 м.

г. Максимальное расстояние от маячка достигает 50 м.

д. Очень низкое энергопотребление. До 2 лет постоянного использования [3].

Из всех выше упоминающих способов самый подходящий для решения нашей задачи является маячками BLE. В дальнейшем разговор пойдет о них.

## **2 Технология маячков**

Маячки запущенные в рекламном режиме. Это означает, что они периодически посылают пакеты данных, которые могут быть получены с помощью других устройств, таких как смартфоны или планшеты. Маячки ведут себя, как маяк, который только передает сигнал “я здесь!” а не ждет ответа от него. Это сообщение может передаваться в интервалах от 20 миллисекунд до 10 секунд и дольше, тем длиннее интервал, чем больше срок службы батареи.

Основной акцент в BLE – низкое потребление энергии. Например, некоторые маячки могут передавать сигнал в течение 2 лет по одной ячейке аккумулятора. Как “классический” так и LE Bluetooth использует спектр диапазона 2,4 ГГц - 2,4835 ГГц. BLE протокол имеет более низкую скорость передачи, но достаточно для обнаружения и простой передачи 31 байт. Также говоря о расстоянии Bluetooth LE может передать полезную информацию на 50 метров. У пакета передачи должно быть конкретный формат данных, от которого приемник извлекает всю важную ему информацию.

Система устанавливается следующим образом: по всему периметру и в значительных зонах ставятся маячки, координаты расположения которых мы знаем. Эти маячки с заданной периодичностью производят широковещательную рассылку, содержащую идентифицирующую их информацию. Пользовательское приложение циклично получает эти данные и на основе силы сигнала определяет расстояние от каждого маячка. При расстоянии меньше заранее известного константа предложение включает оповещение данного маячка. Таким образом находясь перед новой коллекцией футболки пользователь получает полезную ему информацию о них. Также предложение определяет координаты маячков по базе данных и с этим рассчитать свое местоположение.

Для определения расстояние от маячка используется параметр RSSI. Индикация уровня принимаемого сигнала (RSSI – Received Signal Strength Indication) в телекоммуникации — полная мощность принимаемого сигнала, измеренная на приёмнике. Обычно измеряется по логарифмической шкале в дБмВт (dBm, децибел относительно 1 милливатта). Он является единственным практически доступным параметром для измерения расстояния до базовой станции или маячка. Уравнение для вычисления расстояния имеет следующий вид [4]:

$$P_d = P_0 - 10 \cdot n \cdot \lg\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

где

$d_0$  — выбранное единичное (калибровочное) расстояние (например, 1 м),

$d$  — расстояние до передатчика,

$P_0$  — мощность сигнала (в dBm) на единичном расстоянии,

$P_d$  — RSSI

$n$  — коэффициент потерь распространения сигнала (для воздуха  $n = 2$ )

Данное уравнение следует из формулы передачи Фрииса для распространения радиосигнала в свободном пространстве [4]. От него получаем уравнение для расчета расстояния:

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{P_0 - P_d}{10 \cdot n}}$$

В рисунке 1 представлен ожидаемые результат измерений расстояния [5].

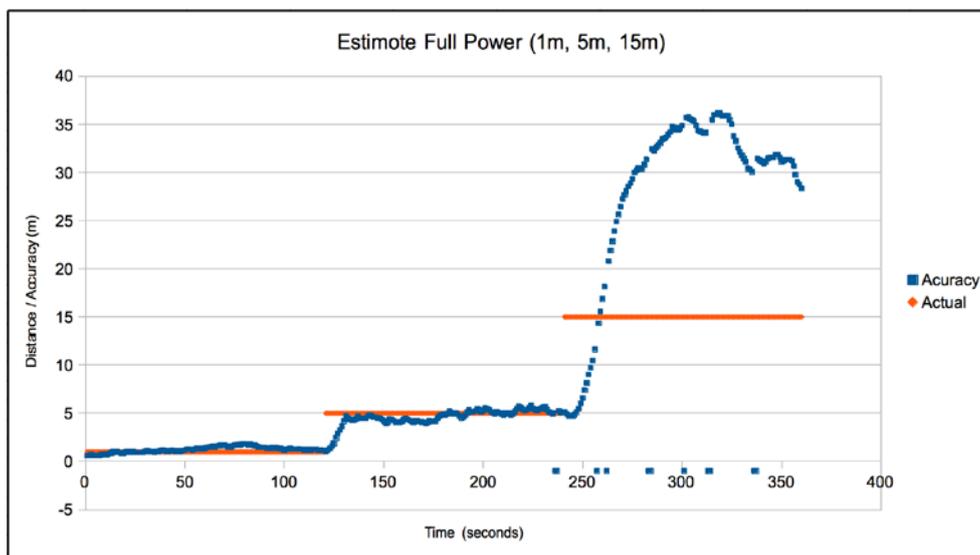


Рисунок 1 – Ожидаемые результаты измерений RSSI

Как видно из рисунка 1 трудно добиться большой точностью при больших расстояниях. Перед собой стоит задача отработать лучше алгоритм чтобы более точно определить расстояние.

### 3 Формат данных

Рассмотрим формат выдаваемых маячком данных. С заданной периодичностью, циклически, маячок выдает один и тот же набор данных. Общая структура пакета представлена в рисунке 2 [6].

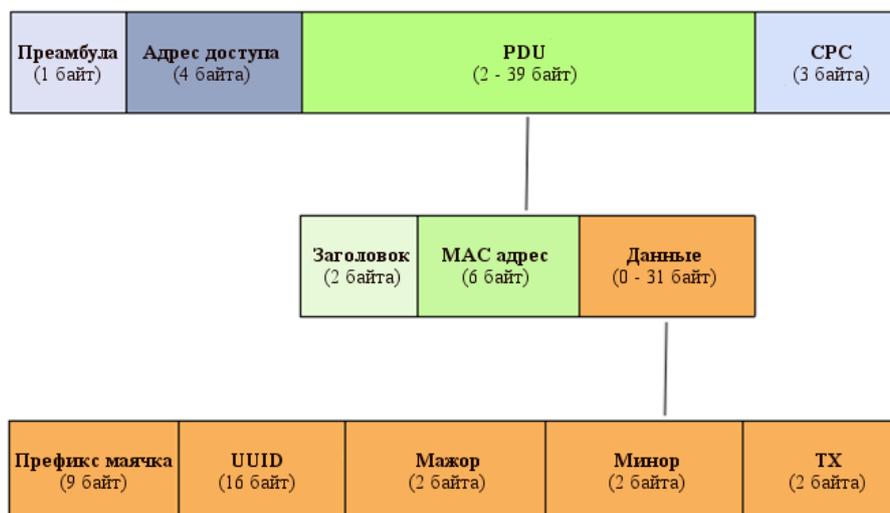


Рисунок 2 – Структура пакета данных

Самый важный блок для нас является PDU данных. В нем содержится вся необходимая информация для идентификации маячка – PDU данные. Это именно то, что отправляют маячки с определенной частотой. В листинг 1 представлен пример формата сообщения PDU данных.

Листинг 1 – пример данных PDU

```
02 01 06 FF 1A 4C 00 02 15 // Префикс маячка
B9 40 7F 30 F5 F8 46 6E AF F9 25 55 6B 57 FE 6D // UUID
00 49 // мажор
00 0A // минор
00 C5 /* дополнения измеряемой
        мощности TX */
```

Поясним смысл каждого блока:

- префикс маячка – это 9 байт, которые определяют устройство как BLE маячок;
- мажор – используется для группировки набора маячков;
- минор – используется для идентификации отдельных маячков;
- TX – сила сигнала, измеренный на расстоянии 1 метра от маячка. Это число затем используется, чтобы определить, насколько пользователь близки к маячку. Расчет основан на сравнение TX и текущей RSSI (Received Signal Strength Indication). На Листинг 2 показан пример кода для определения расстояния от маячка [7].

Листинг 2 – Код функции для определения расстояния от маячка

```
protected static double calculateAccuracy(int tx, double rssi) {
    if (rssi == 0) {
        return -1.0; // if we cannot determine accuracy, return -1.
    }
    else {
        double accuracy = Math.pow(10,(tx - rssi)/20) + 0.111;
        return accuracy;
    }
}
```

#### 4 Предлагаемый маячок

По сути любое устройство с Bluetooth 4.0 может выполнять функцию маячка описан на данной статье. Но есть одна важная характеристика, которая должна всегда присутствовать – низко энергопотребление. С другой стороны маячки предназначены чтобы расположить в самых разнообразных местах, поэтому также хочется, чтобы они были как можно меньше по размерам, почти незаметными. С связи с этими и другими пожеланиями предлагается проект маячка на базе микропроцессора nRF51822 от компании Nordic Semiconductor. На рисунке 3 можно увидеть структурную схему маячка.

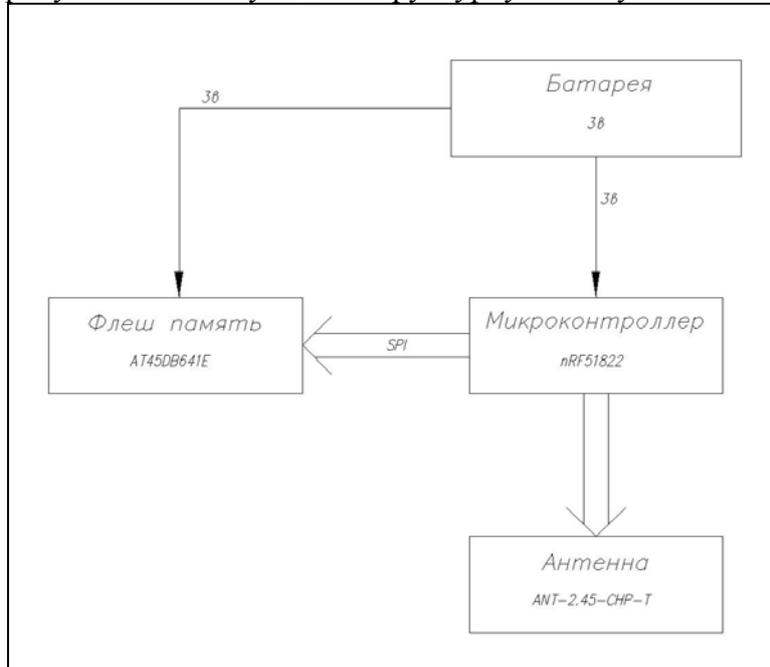


Рисунок 3 – структурная схема маячка на МК nRF51822

В процессе проектирования учитывался как важный фактор расположение антенны на маячке. Известно, что много факторов влияют на электромагнитные волны, более того если электромагнитные волны не очень мощные, то могут быть сильные искажения. Также важно учитывать направление самой антенны на плате. Эти и другие особенности конструкции можно увидеть в Рисунке 4.

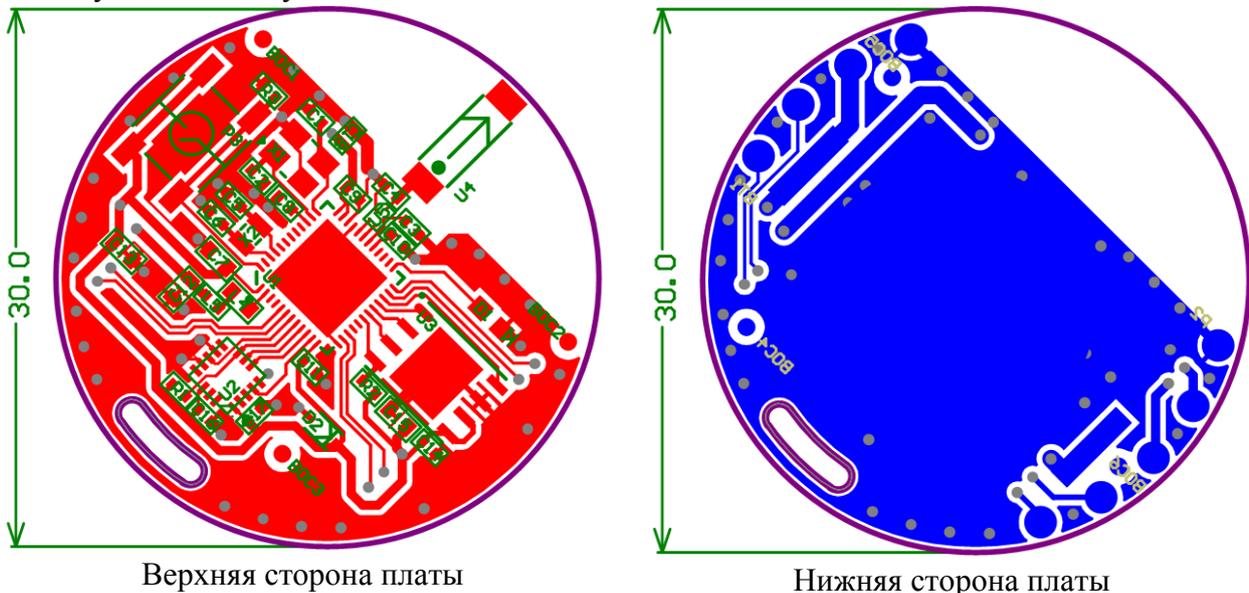


Рисунок 4 – РСВ предлагаемого маячка

Представлены изображения в рисунке 4 были получены в пакете Altium Designer с учетом размеров всех компонентов. От него также представлен в рисунке 5 модель 3D предлагаемого маячка.

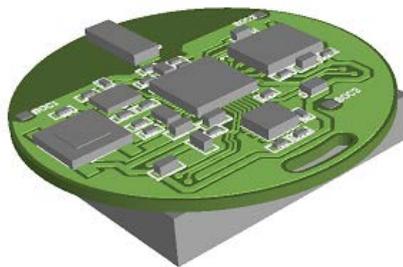


Рисунок 5 – 3D модель предлагаемого маячка

### **Заключение**

В ходе работы были рассмотрены разные варианты, используемые в рынке для определения расстояния телефона или планшета от фиксированных точек. Перечисленные их основные характеристики и некоторые недостатки. Была избрана одна из этих систем, которая в изучаемых обстоятельствах дает больше вероятности успешного определения требуемых параметров. Была поставлена задача проектировать маленький по габаритом, маломощный маячок, с помощью которого качественно определить расстояние от телефона или планшета.

Теоретические характеристики BLE маячков и особенности технологии позволяют гарантировать качественную работу таких устройств в контролируемой атмосфере, изученные результаты подобных систем показывает необходимость отработать новый алгоритм определения расстояния с лучшими показателями при больших расстояниях. Представлен алгоритм на основе формулы передачи Фрииса оказывается недостаточный точный.

Дальнейшее развитие проекта требует конструирования прототипа предлагаемого маячка, анализа полученных от него сигналов для совершенствования данной модели и для разработки лучше алгоритм определения расстояния. В перспективе имеет место проектировать также систему навигации внутри помещений.

### **Литература**

1. Статья из журнала "Вестник ГЛОНАСС", INDOOR-навигация, как вариант монетизации ГЛОНАСС. – Электронный ресурс. Режим доступа: [http:// vestnik-qlonass.ru/~aG1Ee](http://vestnik-qlonass.ru/~aG1Ee) - Проверено 20.12.2014г.
2. Carlos Galvan-Tejada, Juan García-Vazquez. Magnetic Field Feature Extraction and Selection for Indoor Location Estimation. Journal Sensors. ISSN 1424-8220. 20 June 2014
3. Bluetooth developer portal. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://developer.bluetooth.org> - Проверено 20.02.2015г.
4. Charalampos Papamantou, Franco P. Preparata, and Roberto Tamassia. Algorithms for Location Estimation Based on RSSI Sampling. ALGOSENSORS 2008, LNCS 5389, pp. 72–86.
5. Chaise Hocking, The Beacon Experiments: Low-Energy Bluetooth Devices in Action. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://blog.shinetech.com/2014/02/17/the-beacon-experiments-low-energy-bluetooth-devices-in-action/> - Проверено 22.02.2015г.
6. ARMmbed developer site. BLE\_iBeacon. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://developer.mbed.org/teams/Bluetooth-Low-Energy/code/BLE\\_iBeacon/?platform=Nordic-nRF51822](http://developer.mbed.org/teams/Bluetooth-Low-Energy/code/BLE_iBeacon/?platform=Nordic-nRF51822) - Проверено 20.01.2015г.
7. Android developers. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le.html> - Проверено 20.02.2015г.

# ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

*Артемьев И.Б.<sup>1</sup>, инженер; Агапов Д.П.<sup>2</sup>*

(1) ЗАО НИИИИ МНПО СПЕКТР

(2) МГУ ИМ. ЛОМОНОСОВА, Физический факультет, Москва

## REMOTE CONTROL X-RAY THICKNESS

*Artemyev I.B.<sup>1</sup> engineer; Agapov D.P.<sup>2</sup>*

(1) JSC RII SPECTRUM

(2) MOSCOW STATE UNIVERSITY. FACULTY OF PHYSICS, MOSCOW

### Аннотация

С вступлением в информационную эру, массивы данных, обрабатываемые человечеством, достигли колоссальных размеров. Для эффективной работы с информацией, были созданы и создаются различные эффективные методы анализа. Например, системный анализ, в основе которого лежит исследования любых объектов посредством представления их в качестве систем. При этом, полученные системы могут оказаться различной сложности. Сложность может быть как математической, так и структурной (существуют и другие виды). Проблема управления сложными системами состоит в определении функции-вектора, обеспечивающего эффективный выход системы. В данной работе рассмотрен системный анализ, в рамках которого возникают системы различной сложности.

### Abstract( DieInhaltsangabe )

With the entry into the information age, data sets processed by humanity reached colossal proportions. To work effectively with information developed various effective methods of analysis. For example, system analysis, which is based on the study of any object by presenting them as systems. In this case, the resulting system may be of varying complexity. Complexity can be both mathematical and structural (there are other types). The problem of managing complex systems is to determine the function of the vector, which provides an effective output the system. In this paper we will consider a systematic analysis, in which there are systems of varying complexity.

Если искать ответ на вопрос « Что такое система? », то результат поиска можно выразить следующими словами. Система – это упорядоченная пара (O,L), где O– это множество объектов (objects); L–множество связей между ними (links).

Чтобы работать в рамках системного анализа, необходимо иметь ясное представление, о том, что это. Системный анализ – это методология общей теории систем, базирующаяся на исследовании любых объектов представляя их в качестве систем. При этом ставятся вполне конкретные задачи:

1. Представление систем в виде подсистем, состоящих из элементов, более простых, чем на предыдущем уровне структуризации (задача декомпозиции).
2. Поиск различного рода свойств системы, её элементов и окружающего пространства с целью обнаружения закономерностей в поведении системы (задача анализа).
3. На основе решения первых двух задач, создать модель системы, определить структуру и параметры (задача синтеза).

Для решения этих задач, используется множество методов, что значит, существует набор инструкций, выполнение которых, приведет к цели. Назовем некоторые методы: абстрагирование и конкретизация, линеаризация и выделение нелинейных элементов, тестирование.

Рассмотрим некоторые примеры применения этих методов.

Введем понятие абстракции, как совокупность характеристик четко определяющих особенности объекта с точки зрения дальнейшего рассмотрения и анализа. Тогда, абстрагирование – это замещение системы или объекта моделью. Примером использования абстрагирования может служить квантово-механическая модель атома водорода. Экспериментальное обнаружение квантовых свойств, как ядра, так и электрона привело к

созданию понятия «атом водорода». Заключающего в себе особые характеристики одноэлектронного атома.

Для пояснения другого примера, дадим определение линеаризации. Это метод приближенного представления замкнутых нелинейных систем, при котором их исследование заменяется анализом линейных систем. Если говорить о динамических процессах, то имеется в виду использование линейной системы для описания поведения нелинейной системы, в положении близком к равновесию.

Так, например, при отклонении пружинного маятника от положения равновесия, возникает возвращающая сила. Причем, эта сила является линейной функцией от смещения,  $|F(x, t)| = |kx(t)|$  где  $x$  – смещение от положения равновесия. Подставляя это выражение в уравнение движения, получим простое дифференциальное уравнение, решая его, решаем задачу о малых колебаниях. Однако стоит заметить, что если отклонение велико, возникнут нелинейные особенности, связанные с коэффициентом жесткости и построенная модель кажется неверной. Более того, существует критическое напряжение, при воздействии которого на систему возникает пластическая деформация.

После сбора информации о системе, её обрабатывают, то есть создают алгоритм получения одних информационных объектов из других.

Если система окружена некоторой внешней средой и в системе есть подходящий преобразователь (глаз, фотодатчик т.п.), то можно говорить о передаче информации. Получаемый поток данных обрабатывается. Причем, если мы говорим о человеке или компьютере, это выполнение созданных нами алгоритмов.

В целом обработку можно представить в виде совокупности трех множеств. Первое из них это входная информация. Затем идет некоторый набор правил. И наконец, выходная информация.

Например, рассмотрим цепь инвертирующего усилителя (рис 1). Тогда, в качестве входной информации будет напряжение на входе. Набор правил, это формула для расчета передаточной функции. И, конечно же, выходное напряжение, это выходная информация.

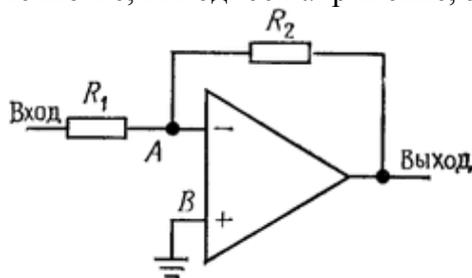


Рисунок 1 - Инвертирующий усилитель

Сложной называется система, адекватное моделирование которой требует учета отсутствующей или недоступной информации. Такое определение является классическим. В процессах управления сложными системами, как правило, используя кибернетический подход, т.е. циклический процесс, осуществляемый в замкнутом контуре для достижения установленной цели действий.

Задача управления – целенаправленно, с учетом цели, свойств объекта и возмущений, вырабатывать управляющие воздействия. При этом, если она выполняется человеком, то это ручное управление. Если техническим устройством, то автоматическое. Элементом управления называется совокупность формальных правил (алгоритмы, если многоэтапные, законы, если одноэтапные), по которым информация, используемая для управления, перерабатывается в управляющие воздействия. Закон выражается формулой или таблицей (таблица истинности). Алгоритм – это последовательность действий.

По принципам управления системы делятся на: работающие в реальном масштабе времени и работающие по предварительно разработанному плану. Если система сложная, то мы имеем дело со вторым типом управления, использующему в качестве элементов управления алгоритмы. На каждую ситуацию управления заранее подготовлен соответствующий набор

управляющих воздействий. Это задача сложная, поскольку ситуаций может быть очень много. Облегчается она тем, что в большинстве случаев между ситуациями и целесообразными, т. е. ведущими к цели управления, управляющими воздействиями существует функциональная зависимость – закон управления. Эта зависимость устанавливается на основе следующего подхода: контур управления в целом рассматривается как динамическая система, поведение которой определяется как характеристиками объекта, так и характеристикой устройства управления – законом управления.

### **Литература**

1. Казиев В.М. Введение в системный анализ.
2. Артемьев И.Б., Артемьев Б.В., Созонтов А.А. Дистанционное сервисное обслуживание и авторский надзор за системами неразрушающего контроля на производстве// Ремонт, восстановление, модернизация. 2014. № 6. С. 27-31.
3. Воронов А.А Теория автоматического управления - Ч.І с. 33 – 34.
4. Бешенков С.А., Лыскова В.Ю., Ракитина Е.А. Информация и информационные процессы.

# ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ ДЛЯ РЯДА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

**Алексеев Д.А.**

**Научный руководитель: Юдин А.В.**

Центр детского творчества «На Вадковском», мастерская «Спортивная робототехника»  
НИТУ «МИСиС», лаборатория цифрового производства «FabLab»

## REMOTELY CONTROLLED MOBILE ROBOT FOR A NUMBER OF PRACTICAL TASKS

**Alekseev D.A.**

**Supervisor: Yudin A.V.**

Children's activity center “Na Vadkovskom”, “Sports robotics” workshop  
NUST “MISIS”, digital fabrication laboratory “FabLab”

### **Аннотация**

В работе рассматривается комплекс электромеханических устройств на базе мобильной платформы, управляемой по проводу через пульт. Данный комплекс призван решить ряд практических задач в русле перспективного направления сервисной робототехники. Решаемые задачи сформулированы в игровой форме и объединены соревновательными правилами для оценки технических решений автора. Автором также проанализированы задания и разработана аргументированная схема их решения. Полученная в итоге система является уникальной платформой для отработки механики решения сложных задач сбора, комбинации, сортировки и перемещения объектов среды. Эта система будет интересна не только разработчикам, работающим в аналогичном направлении, но и простым пользователям в силу простоты освоения управления.

### **Abstract**

This paper considers a complex of electromechanical devices based on a mobile platform and controlled over wire with a control box. This complex system is designed to solve a number of practical tasks in line with long-term direction for service robotics. Tasks are formulated in a game form and united with competitive rules for assessment of author's technical solutions. Author also analyzed the tasks and developed a scheme of their reasoned solving. The resultant system is a unique platform for testing mechanics through solving complex problems of collection, combination, sorting and moving of objects. This system will be of interest not only to developers working in the same direction, but also to ordinary users because of a simple control learning curve.

### **Введение**

Цель работы – разработать мобильного робота, управляемого посредством проводного пульта, и выполняющего ряд практических заданий, оговоренных специальными правилами [1].

Задачи проекта включают следующие шаги:

- проанализировать правила практических заданий;
- выбрать выполняемые практические задания на основании анализа;
- разработать стратегию и тактику выполнения заданий;
- разработать конструкции и схему управления для выполнения заданий;
- разработать мобильную платформу для робота;
- разработать пульт управления мобильным роботом и механизмами.

Общая тематика практических заданий – обслуживание роботом нужд кинотеатра.

Правила сформулированы в игровой форме и их полное содержание доступно для ознакомления через Интернет [1]. Далее приводятся выдержки из правил в том объеме, который необходим для выполняемой работы.

На рис.1 представлена площадка для выполнения практических заданий.

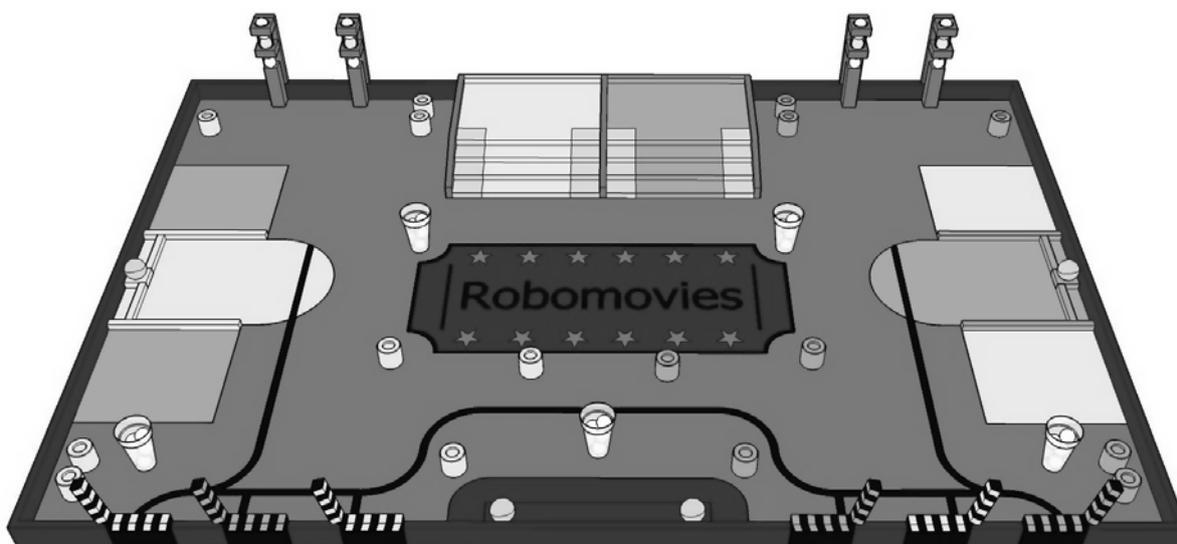


Рисунок 1 – Общий вид на площадку для практических заданий

Первое задание связано с перемещением стаканов с малыми мячами (диаметр каждого около 40 мм). В простом варианте стакан необходимо переместить по плоскости в специально обозначенную зону (рис.2). В более сложном варианте в стакан можно добавить мячей из специального раздатчика-дозатора (рис.3).

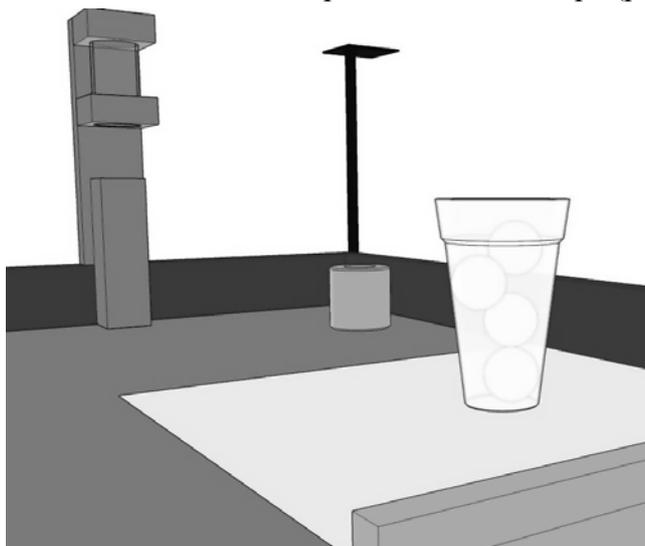


Рисунок 2 – Задание по перемещению стакана с малыми мячами

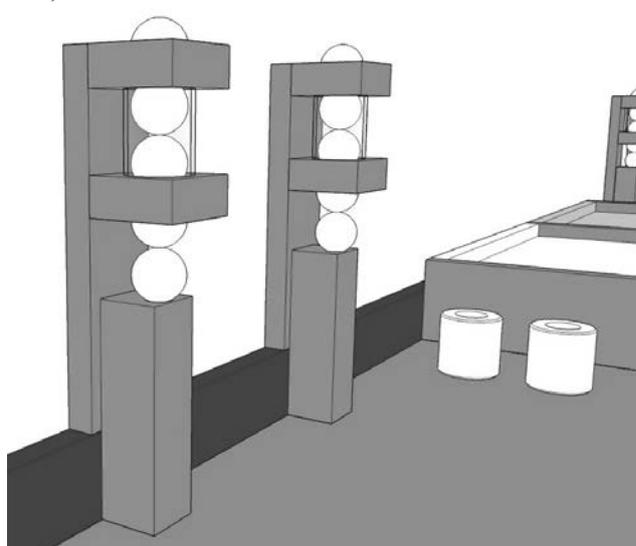


Рисунок 3 – Раздатчик-дозатор малых мячей

Второе задание связано с построением башни из небольших деревянных цилиндров и больших мячей (для большого тенниса). В простом варианте цилиндры необходимо переместить по плоскости в специальную зону. В среднем варианте на цилиндр необходимо поместить мяч (рис.4). В сложном варианте построение уже состоит из нескольких цилиндров и мяча наверху.

Третье задание связано с заездом на лестничную площадку (рис.5). Роботу необходимо преодолеть 4 ступеньки, каждая высотой около 22 мм.

Четвертое задание связано с размещением куска ткани на лестнице (рис.6). Роботу необходимо расположить ткань так, чтобы укрыть все 4 ступени лестницы.

Последнее задание связано с закрыванием хлопушки (рис.7). Роботу необходимо воздействовать на брусок, расположенный изначально вертикально, так, чтобы привести его в горизонтальное положение.

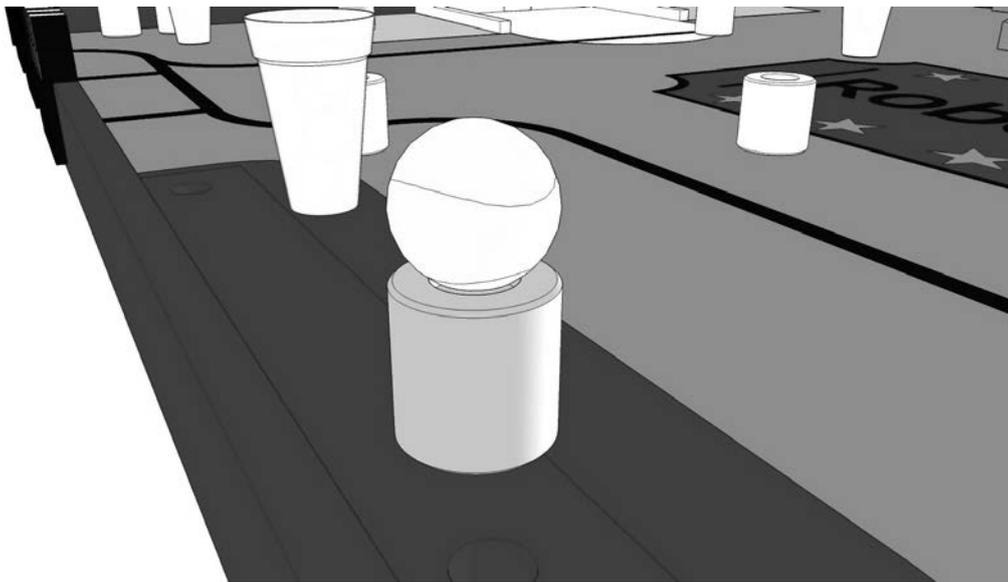


Рисунок 4 – Составная конструкция из подставки и большого мяча

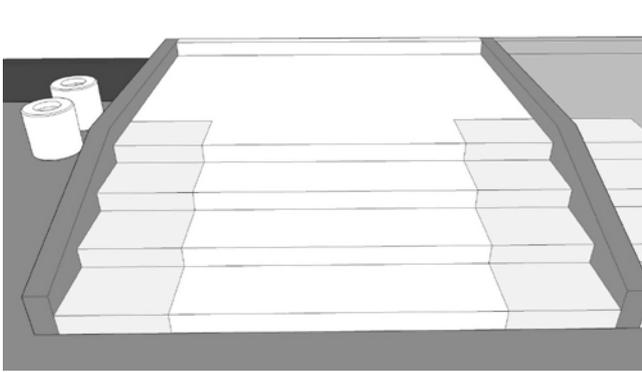


Рисунок 5 – Лестница с лестничной площадкой

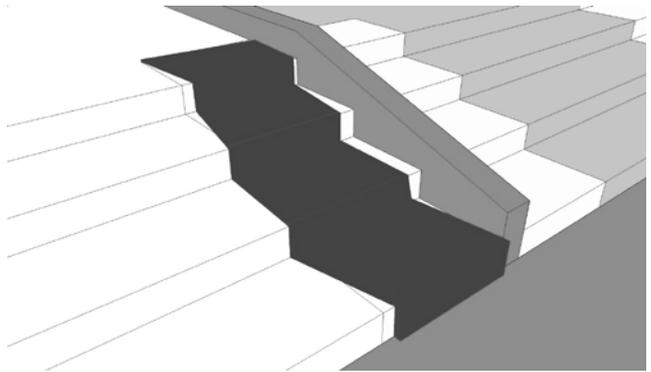


Рисунок 6 – Ткань на лестнице

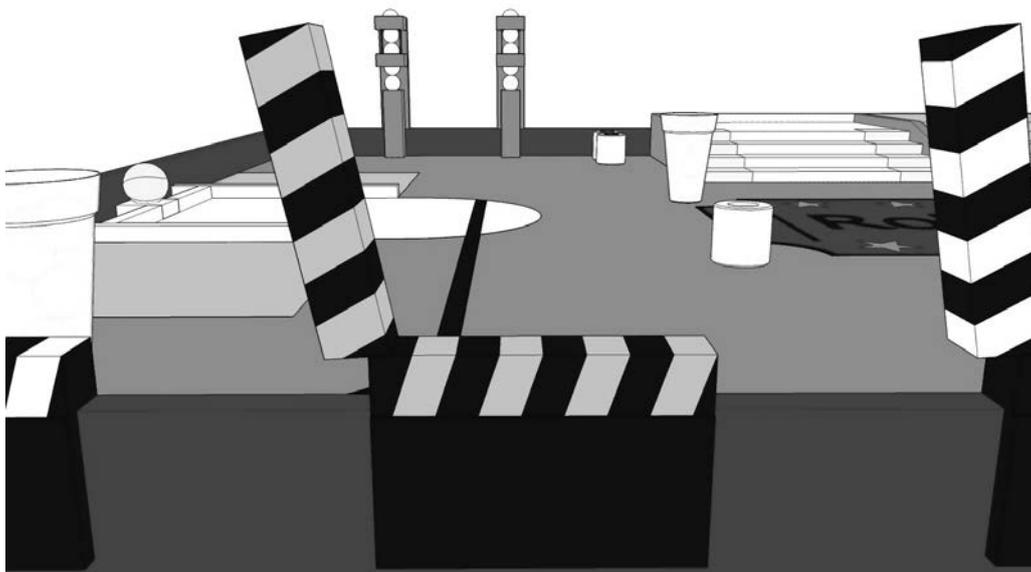


Рисунок 7 – Хлопушка

Эффективность технических решений, используемых в работе, оценивается путем присуждения баллов за выполненные задания, а время на выполнение заданий

ограничивается 90 секундами. При этом не требуется выполнять все задания, а требуется набрать максимальное количество баллов.

Мобильный робот, создаваемый для решения указанных практических задач, является по сути сервисным мобильным роботом для помощи человеку в повседневных задачах (не промышленного характера). Сервисная робототехника такого рода является ключевым направлением развития техники в ближайшие годы [2]. Кроме того, немаловажным фактором является наглядность получаемых результатов, которые можно использовать для обучения техническим наукам.

### 1 Модель для анализа и выбора задач для робота

Обилие изначально предлагаемых разработчику заданий и временное ограничение на их выполнение требует тщательного анализа с целью выявить те задания, выполнение которых роботом будет максимально эффективно.

Для проведения анализа используется предлагаемая разработчику сторонняя бальная система оценки, а также собственная оценка автором сложности разработки каждого механизма и времени на его выполнение в течение 90 секунд теста. Во втором случае опосредованно учитываются факторы доступных технологий для изготовления механизмов и знания автора.

Для начала, оценим максимальные баллы за выполнение отдельных заданий. Затем укажем субъективную оценку автора по сложности создания механизма для решения данного задания. Результаты представим в виде таблицы ниже.

Таблица 1 – оценки задач для робота

	Задание 1 “мячи”	Задание 2 “башня”	Задание 3 “лестница”	Задание 4 “ткань”	Задание 5 “хлопушка”
Макс. баллы	40	40	15	24	15
Сложность	4	4	3	2	1
Время	60 сек.	60 сек.	5 сек.	10 сек.	20 сек.

Из таблицы можно увидеть, что наиболее «дорогие» задания выполнить полностью вместе в отведенный срок не удастся.

Попробуем оценить привлекательность каждого задания по количеству баллов, зарабатываемых за 1 секунду.

(1)

Для заданий 1 и 2, скорость будет равна 0.66 баллам в секунду, для 3го задания – 3 баллам, для 4го задания – 2.4 балла, и для 5го – 0.75 балла в секунду.

Теперь найдем «максимальную» скорость набора баллов:

(2)

Задания 3 и 4 по скорости набора баллов выигрывают у остальных и превышают скорость набора баллов в (2), кроме того, механизм подъема на лестницу необходим для раскладывания ткани. Выбираем эти два задания.

Оставшееся время распределяем в порядке приоритета между заданием 5 и простыми решениями задания 1 и 2. В итоге максимальное количество баллов, на которое рассчитываем  $15+24+15+16+20 = 90$  баллов.

## 2 Анализ мобильного робота

Рассмотрим состав базового варианта разрабатываемого робота (рис.8). На рисунке представлены следующие объекты (и их связи):

- Шасси робота – несущая конструкция для всех механизмов, включая колеса и двигатели для них.
- Пульт – размещает в себе органы управления роботом и подачу электропитания на шасси.
- Блок управления – преобразует сигналы от кнопок пульта в силовое воздействие на механизмы шасси.
- Двигатель 1 – движет шасси по плоскости.
- Двигатель 2 – движет шасси по плоскости.
- Переходник на провод – упрощает разъединение пульта и блока управления.
- Блок исполнительных механизмов – служат решению заданий.
- Провод – служит для передачи сигналов с пульта на шасси.
- Переходник на провод – упрощает разъединение пульта и блока управления.
- Кнопка управления двигателем 1 – обеспечивает реверсивное управление двигателем 1.
- Кнопка управления двигателем 2 – обеспечивает реверсивное управление двигателем 2.
- Блок кнопок исполнительных механизмов – запускают двигатели исполнительных механизмов.
- Схема управления питанием – позволяет подать электропитание.
- Аккумулятор – один из вариантов источника электропитания.
- Сетевой адаптер – один из вариантов источника электропитания.

Кроме того, на схеме представлены колеса робота, необходимые для его движения и розетка промышленной сети электропитания на 220В.

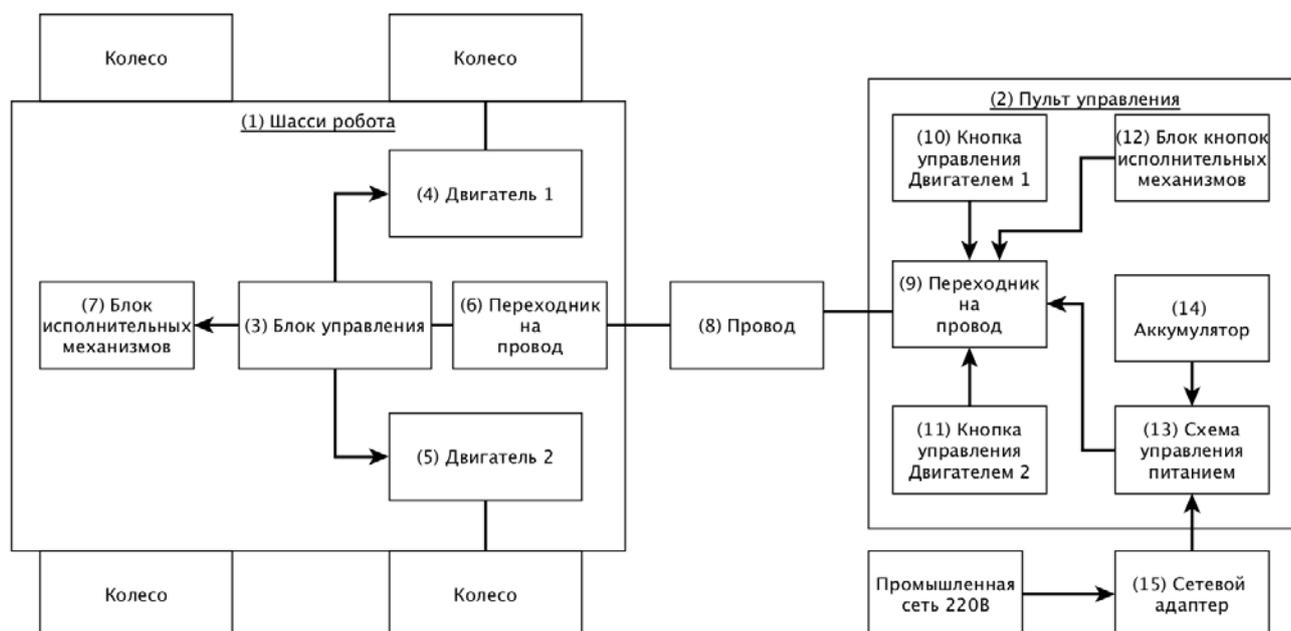


Рисунок 8 – Структурная схема мобильного робота с пультом управления

Размеры шасси и установленных механизмов и колес ограничены максимальным периметром описанного выпуклого многоугольника вокруг вертикальной проекции шасси на

плоскость, по которой он движется. Величина этого периметра – 1200 мм. Размер пульта определяется в основном количеством кнопок на лицевой панели, что в свою очередь связано с количеством исполнительных механизмов. Для удобства тестирования характеристик движения и отладки длина провода – 5 м.

Рассмотрим принцип работы мобильного робота и исполнительных механизмов (рис.9).



Рисунок 9 – Машина состояний мобильного робота с исполнительными механизмами

Из состояния бездействия робот может перейти в состояние движения шасси, при этом возможны несколько направлений движения в зависимости от того, какая кнопка и как нажата. Возможны движения вперед-назад, вперед-направо, вперед-налево, назад-направо, назад-налево (рис.10). Если необходимо запустить двигатель одного из исполнительных механизмов, решающих практические задания – это происходит из положения бездействия (стоянки) робота посредством нажатия специально выделенной для этого кнопки на пульте управления. Таким образом, предполагается, что робот выполняет все задачи последовательно – нет совмещения и параллельного (одновременного) выполнения действий.

Рассмотрим упрощенную стратегию поведения робота при выполнении заданий, а именно последовательность выполнения практических заданий и набора баллов (Рисунок 11).

Логика порядка выполнения заданий частично уже была описана ранее при анализе баллов. Имея в виду временные ограничения выполняются 1 и 2 задания, затем полностью выполняем задание 5 и в конце заезжая на лестницу (задание 3) выполняем задание 4. Такой порядок обусловлен еще и тем, что после заезда на лестницу робот должен оставаться в этом положении на момент истечения 90 секунд теста.

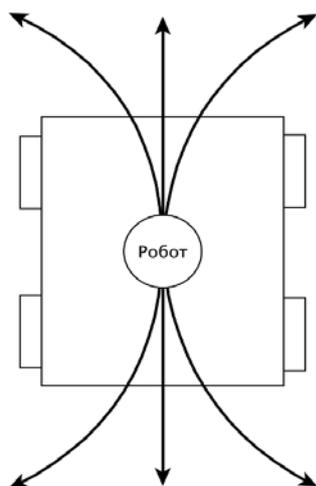


Рисунок 10 – Направления возможного движения робота



Рисунок 11 – Алгоритм выполнения заданий и набора баллов

На Рисунок 12 и 13 можно видеть общий вид первой версии разработанной системы. Конструкция полностью соответствует структурной схеме на Рисунок 8. В левой части рисунков изображено шасси робота, в правой – пульт. Пульт и шасси соединяются проводом (изображен между ними в верхней части рисунка). Данная версия системы является рабочим прототипом и не имеет реализованных исполнительных механизмов.

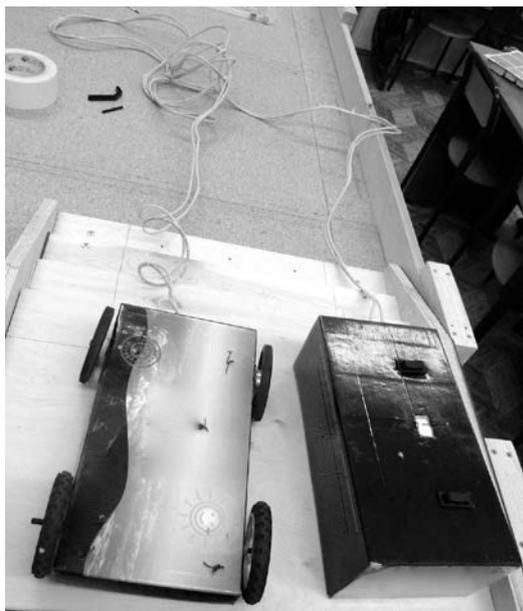


Рисунок 12 – Внешний вид системы

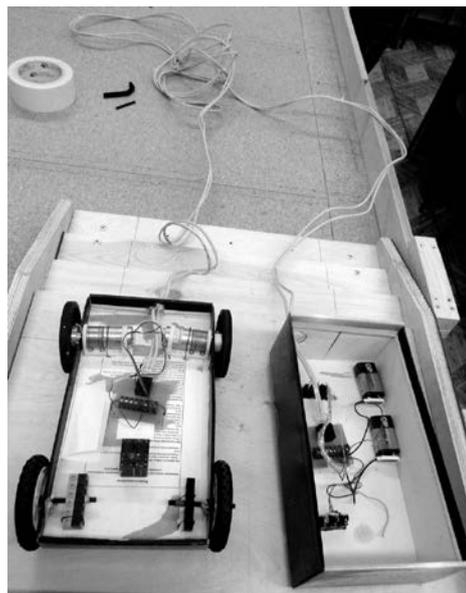


Рисунок 13 – Детали устройства системы

Вторая (текущая) версия системы представлена на Рисунок 14 и 15. Можно видеть, что изменения значительны: изменилась кинематическая схема шасси (расположение и количество колес, добавлена скользящая подпорка); используются другие, более прочные материалы (фанера); в качестве источника питания используется компьютерный блок питания (отсутствует необходимость замены или зарядки батарей); полностью переработан силовой блок управления двигателями, а соединительные провода приведены в порядок.

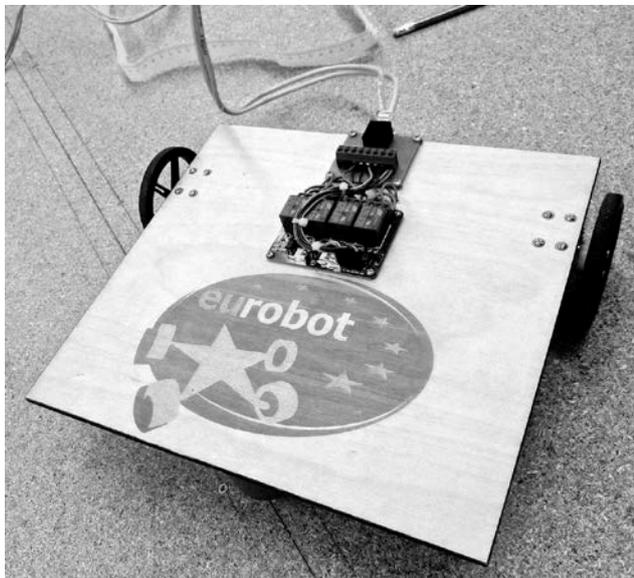


Рисунок 14 – Шасси робота с электроникой управления двигателями



Рисунок 15 – Проводной пульт управления

На момент написания данной работы автор работает над реализацией исполнительных механизмов для выполнения роботом выбранных ранее заданий. Полностью готовое решение планируется представить на соревнованиях Евробот 2015.

### **Заключение**

Реализованная и описанная в данной работе система полностью отвечает поставленной цели, обозначенной во введении.



Рисунок 16 – Автор продолжает работать над проектом

Следует отметить, что работа на данный момент носит характер рабочего прототипа. Срок сдачи проекта – апрель 2015 года. В этой связи не все элементы полноценно реализованы. Автор постарался задокументировать как текущее состояние проекта, так и план дальнейшей работы. Из наиболее ответственных задач еще предстоит разработать конкретные исполнительные механизмы и тактику выполнения заданий.

На данном этапе движение и управление шасси отлажено, доведено до рабочей версии и как сама конструкция, так и электроника на нем не требуют доработок.

## Литература

1. Правила молодежных соревнований роботов Евробот Юниор 2015: «РобоФильмы»: Пер. с англ. с дополнениями НОК Евробот России. / Общ. ред. А.В. Юдина. – М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2014. – 33с., ил.
2. Режим доступа: <http://eurobot-russia.org/main/eurobot-2015> – Проверено 10.01.2015г.
3. Стратегическое исследование развития рынка робототехники международной ассоциацией EUrobotics. Режим доступа: [http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020\\_SPARC.pdf](http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020_SPARC.pdf) – Проверено 10.01.2015г.
4. Team Development of an Autonomous Mobile Robot: Approaches and Results / Andrey Kuturov, Anton Yudin, Igor Pashinskiy, and Mikhail Chistyakov // Research and Education in Robotics, CCIS 161, pp. 187-201. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
5. Ванройе Н.К. Анализ механики поворота шасси мобильного колесного робота в целях организации его управления // Сборник научных трудов. 16-я Молодежная научно-техническая конференция «Научно-технологические и интеллектуальные системы 2014». – Москва. 23 апреля 2014 г. – С.303-312.
6. Ваганов А.Л. Прототипирование мехатронного устройства в условиях современного цифрового производства // Сборник научных трудов. 16-я Молодежная научно-техническая конференция «Научно-технологические и интеллектуальные системы 2014». – Москва. 23 апреля 2014 г. – С.310-313.
7. А.А.Андреев, А.И.Власов, В.Н.Гриднев и др. Методические указания по организации и проведению итоговой государственной аттестации бакалавров и магистров по направлению «Конструирование и технология электронных средств»: учебное пособие под ред. В.А.Шахнова. – М.: Изд-во НИИ РЛ МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2015. – 164 с.: ил.

# АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Алексеев М.А.

*Научный руководитель: Власов А.И.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

## ARCHITECTURE OF PRODUCTION PROCESSES CONTROL SYSTEM

Alekseev M.A.

*Supervisor: Vlasov A.I.*  
MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматриваются основные принципы построения архитектуры системы управления автоматическими производственными процессами, таких как, фрезерование или установка компонентов на печатную плату. Показана архитектура такой системы управления построенная в соответствии с рассмотренными принципами.

### Abstract

The article discussed main principles of building architecture of production processes control system. The architecture built based on considered principles is shown.

### Введение

Требования, предъявляемые к современным производственным системам с каждым годом становятся всё выше, что непосредственно сказывается на требованиях, предъявляемых к системам управления такими системами. Так, для получения более высокой точности фрезеровки или установки компонента на печатную плату обычно используют более точные двигатели и детали, однако в таком случае программное обеспечение, осуществляющее управление данным станком, должно учитывать все особенности управляемого оборудования иначе точность работы не только не улучшится, но и может понизиться. Поэтому встаёт необходимость создания таких систем управления, которые позволили бы учитывать все особенности механических конструкций которыми осуществляется управление.

### 1 Основные принципы построения системы управления производственным оборудованием

Основные принципы, которые необходимо учитывать при разработке системы управления производственным оборудованием – это модульность, настраиваемость, кроссплатформенность и расширяемость. Модульность обеспечит возможность изменения логики работы системы в зависимости от решаемых задач. Настраиваемость позволит изменять определённые модули таким образом, чтобы они лучше соответствовали новым условиям работы. Кроссплатформенность обеспечит возможность применения разрабатываемой системы на различных аппаратных платформах, под управлением различных операционных систем, что положительно скажется на удобстве использования. Расширяемость необходима для повышения универсальности системы и возможности использовать одну и ту же систему управления в различных условиях, для различных конфигураций оборудования.

Рассмотрим основные составляющие части системы, необходимые для успешного решения разного рода задач. Первый случай является самым простым и заключается в том, что у нас уже имеется чётко заданная траектория движения, допустим, двух степенного манипулятора. В таком случае система управления будет иметь архитектуру, показанную на рисунке 1.

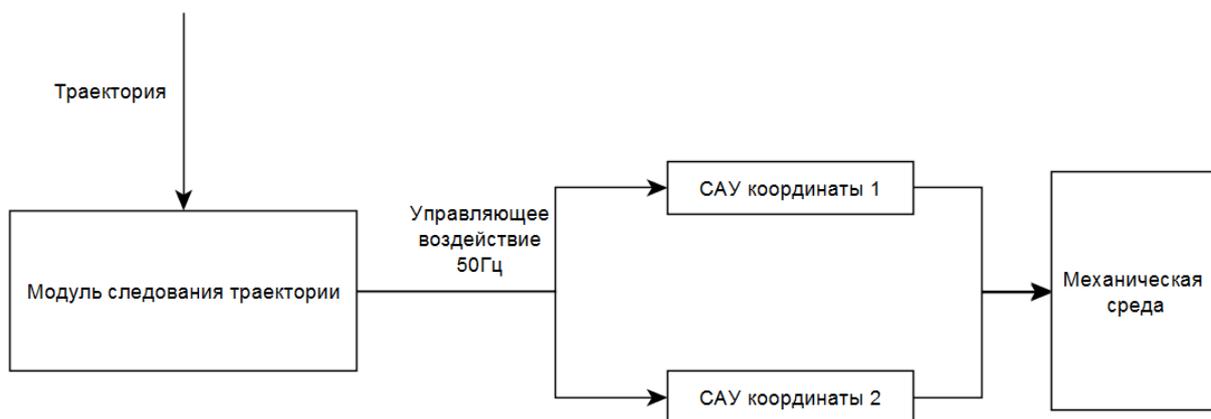


Рисунок 1 – Архитектура системы управления двух степенного манипулятора

Как видно из рисунка 1 траектория загружается в модуль следования траектории, который с определённой частотой, например, как показано на рисунке, 50 Гц, выдаёт управляющие воздействия на две автоматические системы управления манипулятора по двум координатам. Рассмотрим преимущества и недостатки данного подхода. Наибольшим недостатком, конечно, является необходимость построения системы автоматического управления, что требует наличия точных математических моделей используемых технических средств, как то двигатели и подвижные механизмы. Без наличия точных математических моделей, или хотя бы построенных с достаточной точностью, система управления будет довольно бесполезна. Однако в случае удачного построения необходимых математических моделей их можно будет использовать при построении САУ, что даст возможность улучшить характеристики переходных процессов и времени отработки управляющих воздействий, что в свою очередь приведёт к повышению качества работы всей системы целиком.

В системе, показанной на рисунке 1, нет ничего принципиально нового, поэтому она может быть расширена для решения более широкого спектра задач. Тут надо отметить тот факт, что принципы управления, применяемые в производственных станках, роботизированных манипуляторах и робототехнике в целом крайне похожи, потому разработку системы управления производственным станком можно относительно легко расширить до разработки системы управления роботами. В месте с тем повышение самостоятельности производственного оборудования ни в коем случае не навредит, а наоборот, повысит его производительность путём исключения множества аварийных и исключительных ситуаций, когда оборудованию не придётся ждать решения человека по устранению проблемы. В данном случае сразу сказывается преимущество в виде сменных систем автоматического управления. Конечную систему управления соответствующую, например, станку установки компонентов на печатную плату, можно заменить на систему управления промышленным манипулятором и при неизменных остальных модулях получить систему управления абсолютно другим оборудованием. Таким образом, проектируемая система при минимальных изменениях может решать широкий диапазон задач.

Произведём дальнейшее расширение схемы на рисунке 1. Для повышения самостоятельности системы управления добавим модуль генерации траектории (рисунок 2).

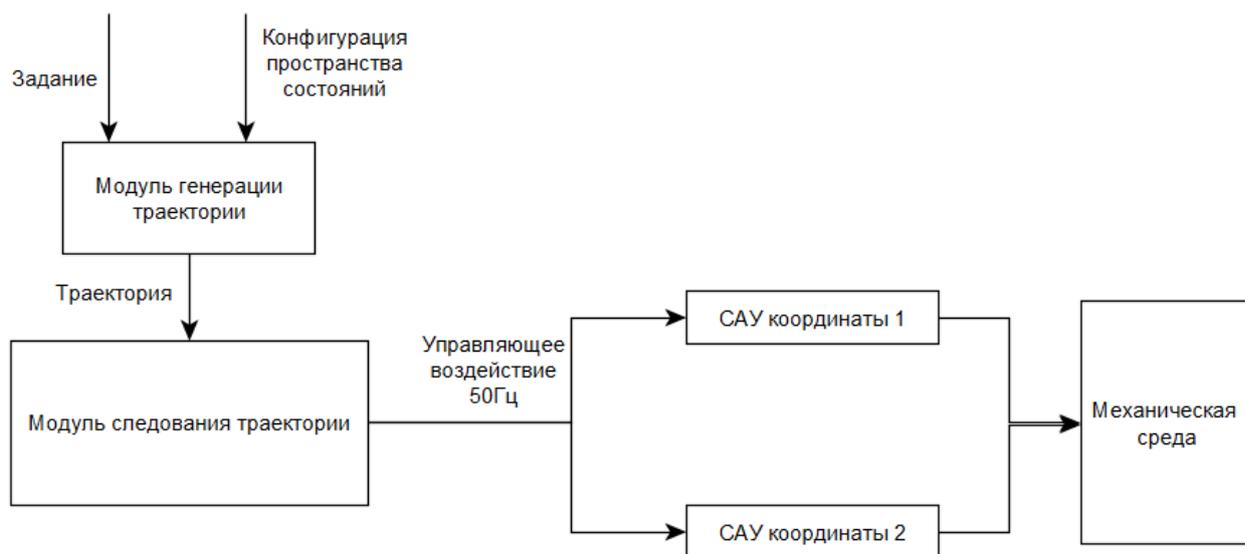


Рисунок 2 – Расширенная система управления двух степенного манипулятора

Как видно из рисунка 2, архитектура системы управления двух степенного манипулятора была расширена модулем генерации траектории. Данный модуль получает на вход список действий которые необходимо сделать, без конкретизации каким образом их надо выполнять, также, он получает на входе конфигурацию пространства состояний или, другими словами, карту окружения. Данная карта может быть как двумерной, так и трёхмерной в зависимости от выполняемых задач. На основе получаемых на входе данных модуль генерации траектории производит генерацию траектории которая передаётся дальше в модуль следования траектории. Преимущество данной схемы в том, что при возникновении каких-либо проблем в рабочем поле, система управления сможет оперативно и, главное, самостоятельно продолжить выполнение задания без вмешательства человека. Также, эта особенность является крайне важной в задачах робототехники. Однако данная система имеет и ряд недостатков один из которых – необходимость с достаточной точностью строить конфигурацию пространства состояний, что требует довольно больших вычислительных мощностей и дорогостоящих датчиков, однако текущий уровень развития техники уже в данный момент предоставляет достаточно экономичные решения данной проблемы.

## 2 Построение системы управления производственным оборудованием

В соответствии со схемой из рисунка 2, рассмотрим способы решения задач построения составных модулей системы управления. Две основные задачи, которые необходимо решить, - это построение траектории движения и системы автоматического управления. Построение траектории движения решается с помощью известных алгоритмов планирования движения, входящих в состав различных программных библиотек. Так, например, библиотека OMPL (Open motion planning library) имеет в своём составе порядка 6 различных алгоритмов планирования движения.

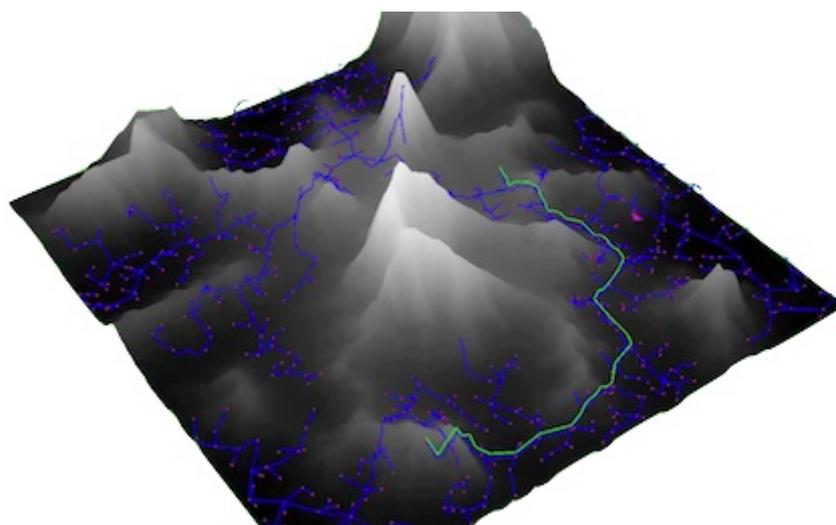


Рисунок 3 – Результат работы библиотеки OMPL

Однако необходимо учесть правильность использования различных алгоритмов в конкретных условиях работы.

Построение систем автоматического управления может производиться в среде Matlab Simulink от компании Mathworks. Данная среда имеет прикладной программный интерфейс для различных языков программирования, что позволяет создавать приложения с использованием возможностей этой среды. Также возможен экспорт исходного кода полученной системы управления в различные языки программирования и даже в языки описания аппаратуры.

Остальные части описанной системы управления могут быть реализованы с использованием любого из широко распространённых языков программирования.

### **Заключение**

Система управления, построенная в соответствии с принципами, описанными в данной работе удовлетворяет четырём основным требованиям – настраиваемость, модульность, расширяемость и кроссплатформенность. Выполнение данных требований гарантирует, что разработанная система управления будет иметь применение не только в широком спектре производственного оборудования, но и в области робототехники.

### **Литература**

1. Steven M. LaValle. Planning Algorithms. - Cambridge University Press, 2006. – 1023с.
2. Кормен, Томас Х., Лейзерсон, Чарльз И., Ривест, Рональд Л., Штайн, Клиффорд. В24 Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. : Пер. с англ. — М. : Издательский дом Вильямс", 2005. — 1296 с. : ил. — Парал. тит. англ.
3. Robert Laganière. OpenCV 2 computer vision application programming cookbook. – Packt Publishing, 2011. – 298 с.
4. <http://ompl.kavrakilab.org>

# ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ РЕНТГЕНОВСКИХ ТОЛЩИНОМЕРОВ

Артемьев И.Б.<sup>1</sup>, инженер; Агапов Д.П.<sup>2</sup>

*Руководитель Артемьев Б.В.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор*

(1) ЗАО НИИИИ МНПО СПЕКТР

(2) МГУ им. Ломоносова, Физический факультет, Москва

## REMOTE CONTROL X-RAY THICKNESS

**Artemyev I.B.<sup>1</sup> engineer; Agapov D.P.<sup>2</sup>**

**Head Artemiev B.V.<sup>1</sup>, Ph.D., professor**

(1) JSC RII SPECTRUM

(2) MOSCOW STATE UNIVERSITY. FACULTY OF PHYSICS, MOSCOW

### **Аннотация**

В статье описаны основные принципы построения системы дистанционного контроля за рядом бесконтактных рентгеновских толщиномеров, установленных на поточном прокатном производстве завода по обработке цветных металлов. Основное внимание уделено организации системы дистанционного контроля состояния приборов, позволившей сократить время простоя толщиномеров, а так же снизить стоимость ремонта оборудования.

### **Abstract**

The article describes the basic principles of remote control systems for a number of non-contact X-ray thickness, mounted on rolling in-line production at the factory for processing non-ferrous metals. Focuses on the organization of remote condition monitoring devices would reduce downtime thickness gauges, as well as reduce the cost of repair and maintenance of equipment.

Сегодня большая часть современного оборудования для неразрушающего контроля и технической диагностики работает на базе цифровых технологий [1,2]. Это позволяет дистанционно контролировать техническое состояние оборудования, а так же проводить дополнительное тестирование [3]. Любая современная фирма заинтересована в увеличении продаж производимого оборудования. Обычно за этим следует расширение географии поставок, а наметившаяся в последние десятилетия международная интеграция позволяет поставлять производимое оборудование в различные страны.

Самым рациональным с точки зрения производителя можно считать решение дистанционного контроля систем НК. В тоже время Заказчик не может дать полный доступ к прибору представителям сторонней организации, так как по результатам работы прибора не составит труда получить полную информацию о сортаменте и номенклатуре и даже о качестве выпускаемой продукции, что является коммерческой тайной Заказчика. В целях безопасности и стабильности технологического процесса производства необходимо исключения возможности вмешательства сторонних лиц, особенно конкурентов, которые желают нарушить стабильность выпуска продукции и снизить ее качество. Следовательно, система должна обеспечивать высокий уровень безопасности. Вместе с тем необходимо устранить: последствия ошибок, возникающих при передаче данных по сети, таймауты, вызываемые временными задержками при передаче информации по линиям связи, в той мере, что бы они не могли влиять на работу рентгеновских толщиномеров [4,5] и технологический процесс производства при любом стечении обстоятельств. Система, дополняющая конструкцию рентгеновского толщиномера [6], изображенная на рисунке 1 удовлетворяет всем приведенным выше требованиям. Для ее функционирования необходим единственный внешний сетевой адрес с уникальным номером порта для всех приборов Производителя оборудования.

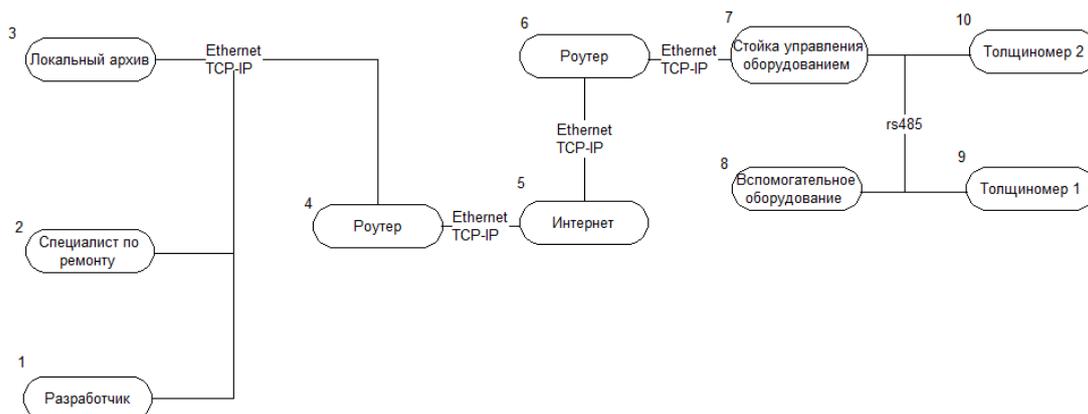


Рисунок 1 - Схема подключения толщиномеров с единым IP адресом и дополнительной защитой от стороннего вмешательства в технологический процесс предприятия

(1 – компьютер **Разработчика** системы, 2 – компьютер специалиста по ремонту оборудования, 3 - сетевой архив (размещенный в локальной сети разработчика и не доступный для внешних клиентов), 4 –маршрутизатор сети **Разработчика**, 5 – глобальная сеть, 6 – маршрутизатор сети **Заказчика**, 7 – стойка управления рентгеновскими толщиномерами РИТ10, 8 – дополнительное технологическое оборудование (кондиционеры, насосы и др.), 9 – толщиномер цеха 1, 10 – толщиномер цеха n)

Существуют три режима работы системы «Тестирование», «Калибровка» и «Измерение». Переключение между режимами осуществляется с локального пульта управления толщиномерами сотрудником Заказчика.

В режиме «Тестирование» доступ к толщиномерам предоставляется разработчику, который последовательно опрашивает все электронные узлы и информация об их состоянии выводится в окне «Тест» и сохраняется в архиве kalibr.chf, который так же доступен специалисту, работающему в дистанционном приложении. В каждое поле окна выводится имя модуля, в случае если все тесты прошли успешно или сообщение о возникшей ошибке, если выполнение, какого либо теста привело к появлению таковой. Выбрав интересующее нас поле, Разработчик может получить более подробную информацию о интересующем его модуле системы.

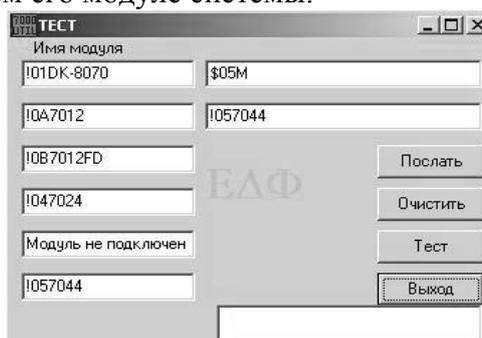


Рисунок 2 - Окно «Тест» после выполнения тестирования

В режиме «Калибровка» рентгеновский толщиномер последовательно измеряет толщину эталонных образцов (смотри рис.3) и сравнивает измеренное значение сигнала с эталонным. Для каждого сигнала заданы два уровня: минимальный и максимальный. Если результаты измерений выходят за пределы допустимых значений, то производится коррекция режима работы системы. При меньшем значении сигнала ток рентгеновского источника увеличивается, а при большем уменьшается, после чего проводится повторная калибровка. Измеренные значения сигнала, сравниваются с эталонными значениями и если отличаются от них частично, на пример на малых толщинах значения совпадают с эталонными, а на больших - меньше, то анодное напряжение источника излучения

увеличивается, а если наоборот сигнал занижен на малых значениях толщины и завышен на больших толщинах, то анодное напряжение уменьшается для чего на ЦАП1 и ЦАП2 подается соответствующий код. Таким образом, измерительная система подстраивается под внешние изменения, исправляя нелинейность, чувствительность и смещение точки начала отсчета, что позволяет получать погрешность измерения не хуже 0,2% во всем диапазоне измерения толщины проката. В случае сложных неисправностей анализируются значения линейного коэффициента ослабления, среднеквадратичного отклонения сигнала и приведенная чувствительность. Наличие в измерительном тракте (рис.3) двух детекторов с различным эффективным значением атомного номера 13 и 83, т.е. имеющих различные спектральную чувствительность, позволяет контролировать не только поток первичного ионизирующего излучения, но и оценивать значение анодного напряжения рентгеновской трубки, сравнивая его с задаваемым, что позволяет не только лениризовать зависимость толщины от измеряемого сигнала, но и судить о состоянии рентгеновского источника и стабильности работы системы в целом.

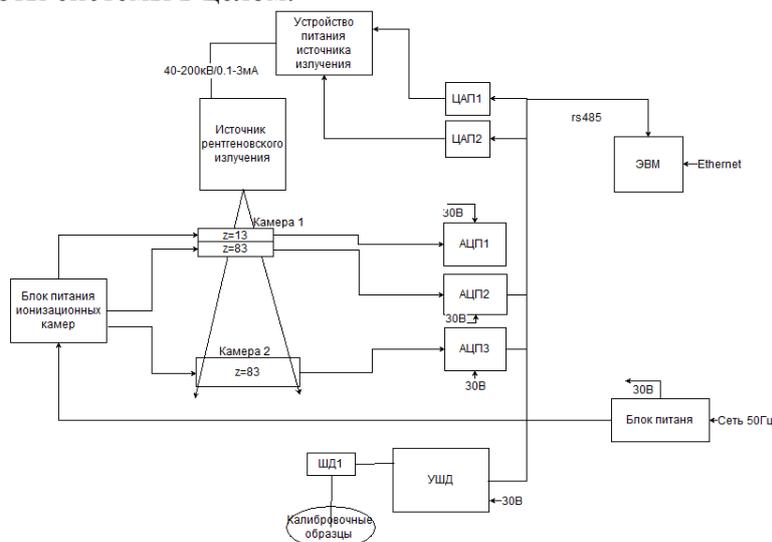


Рисунок 3 - Измерительный тракт рентгеновского толщиномера

Внедрение подобных технологий на производстве позволяет существенно снизить вероятность простоя возникающего после отказа до завершения ремонта оборудования. Участие в процессе диагностирования разработчика системы приводит к повышению качества ремонта при одновременном снижении финансовых и временных затрат на его проведение. Данное решение позволяет практически все ремонтные работы, за исключением явных аварий, свести к профилактическому обслуживанию.

### Литература

1. Артемьев Б.В. Рентгеновская толщинометрия металлов. - Машиностроение, 2002 г., 125 стр.
2. Артемьев Б.В., Буклей А.А. Радиационный контроль. - И.Д. СПЕКТР, 2011, Москва, 192 стр.
3. Артемьев И.Б., Артемьев Б.В., Созонтов А.А. Дистанционное сервисное обслуживание и авторский надзор за системами неразрушающего контроля на производстве // Ремонт, восстановление, модернизация. 2014. № 6. С. 27-31.
4. Артемьев Б.В. Рентгеновские толщиномеры // Контроль. Диагностика, №4, 2009 г., стр.22-25
5. Артемьев Б.В., Шубочкин А.Е. Рентгеновская толщинометрия // Контроль. Диагностика. 2014. № 2. С. 24-31.
6. Маслов А.И., Запускалов В.Г., Артемьев Б.В. Рентгеновский измеритель параметров проката // Патент на изобретение RUS 2221220 15.11.2002.

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

**Аваева Л.Г., Миронова Ж.А.**  
*Научный руководитель: к.т.н., доц. Гриднев В.Н.*  
МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## MANUFACTURING MICROSECTIONS FOR VISUAL MONITORING OF HIGH- DENSITY MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS

**Avaeva L.G., Mironova Z.A.**  
*Supervisor: prof. Gridnev V.N.*  
BMSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Миниатюризация печатных элементов и увеличение количества слоев печатных плат (ПП) определяют сложность контроля таких изделий. Для качественного анализа причин отказа, проверки и подтверждения требуемой надежности аппаратуры ракетно-космической техники необходимы не только электроконтроль и оптический контроль слоев ПП, но и оптический контроль внутренней структуры многослойных ПП. Для оценки состояния сквозных металлизированных отверстий проводящего рисунка и материала основания печатной платы используется метод «Микрошлиф», заключающийся в визуальном контроле размеров на микрошлифе. Для качественного снятия аналитической информации с микрошлифа в данной статье рассматривается технология изготовления микрошлифов с указанием важных операций, влияющих на конечный результат.

### **Abstract**

The miniaturization of printed circuit elements and the increase in the number of layers of printed circuit boards (PCB) determine the complexity of their control. For qualitative analysis of the causes of failure, verification and confirmation the required reliability of the rocket and space equipment not only an electrical and optical control of PCB's layers, but also an optical inspection of the internal structure of multilayer PCB are needed. To assess the state through plated holes of the conductive pattern and the base material of the PCB the method "Microsection", which consists of visual inspection of microsections' sizes, is used. For qualitative analysis of the information from a microsection the technology of microsections' manufacturing indicating the important operations that affect the final result is described in this article.

Микрошлиф – специально подготовленный образец для микроскопического исследования. Согласно [1] существует большое количество методов испытаний печатных плат. При производстве МПП с металлизацией сквозных отверстий важную роль играет качество металлизации, которое напрямую зависит от адгезии металла к поверхности отверстий и однородности металлизации по всей внутренней поверхности отверстия. Для оценки состояния сквозных металлизированных отверстий, проводящего рисунка и материала основания печатной платы используется метод «Микрошлиф», заключающийся в визуальном контроле ее поперечного сечения. Возможности метода ограничены способом изготовления образцов и разрешающей способностью микроскопа. Испытания проводят на тест-купоне, расположенном в технологическом поле платы. Обычно тест-купон представляет собой набор металлизированных отверстий с диаметрами соответствующими представленным на плате, расположенными на одной оси.

Процесс подготовки образцов для визуального контроля по методу «Микрошлиф» состоит из 2 этапов: фрезеровка тест-купона заданного размера (рис.1) и сверловка отверстий под штифты (рис.2).

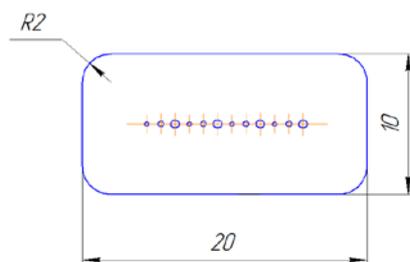


Рисунок 1 – Образец после фрезеровки (геометрические размеры заготовки зависят от используемого в технологическом процессе оборудования)

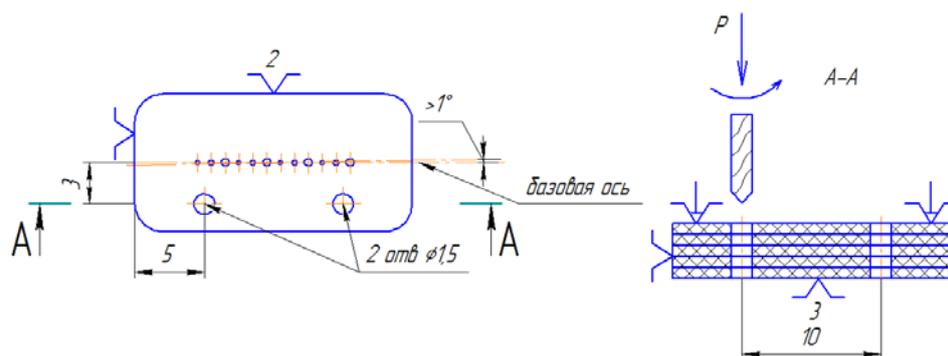


Рисунок 2 – Совмещение осей и сверловка (геометрические размеры заготовки зависят от используемого в технологическом процессе оборудования)

Следует отметить, что точное совмещение осевой линии металлизированных отверстий с базовой осью является важным этапом технологического процесса. В случае неточного совмещения наблюдается неполное или чрезмерное «открытие» отверстий на микрошлифе, что ведет к некорректным выводам относительно толщины и качества металлизации [2].

В одном микрошлифе может находиться до 3 различных исследуемых образцов. При сборке пакета производится штифтование образцов через просверленные в них технологические отверстия. Оси штифтов должны быть параллельны друг-другу и строго перпендикулярны плоскости образцов во избежание отклонения от перпендикулярности сечения микрошлифа. В случае исследования нескольких образцов на одном микрошлифе, расстояние между ними в пакете должно составлять несколько миллиметров для обеспечения затекания эпоксидной смолы в отверстия всех образцов. Собранные пакеты устанавливаются в ячейки (рис.3), с предварительно вставленными резиновыми вкладышами, обработанными силиконовой смазкой (для предотвращения прилипания микрошлифа к ячейке) и заливаются эпоксидной смолой (предварительно смешанной с растворителем).

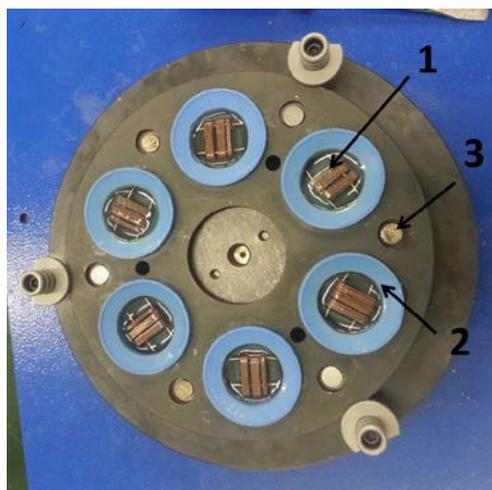


Рисунок 3 - Круг с заготовками для микрошлифов (1 – пакеты в эпоксидной смоле, 2 – резиновый вкладыш, 3 – упор)

Все металлизированные отверстия должны быть полностью заполнены смолой, чтобы не допустить повреждения металлизации при шлифовании и полировании.

Упоры (рис.3 поз.3) регулируются. После отверждения смолы устанавливается высота упоров относительно поверхности круга с заготовками на величину, равную расстоянию между линиями центров металлизированных отверстий и штифтов.

При механической обработке микрошлифа на каждом этапе на шлифовальный круг (рис.4 поз.3) наклеивается круг наждачной бумаги различной шероховатости (начиная с более грубой и заканчивая более мягкой). Круг с заготовками устанавливается в поз. 4 рис.4. На панели управления (рис.4 поз.1) задаются параметры шлифования, такие как время шлифования, скорость, подача воды. После каждого этапа круг с заготовками снимается для измерения высоты ячеек относительно упоров (рис.3 поз.3) и определяется требуемая шероховатость наждачной бумаги для следующего этапа.

Когда высота ячеек относительно упоров приближается к 0, оператор наклеивает на шлифовальный круг специальный круг из мягкого материала для полировки поверхности микрошлифа. Полировка необходима для того, чтобы минимизировать число дефектов, которые могут затруднить последующий визуальный контроль.

При полировке на мягкий круг наносится смесь из суспензии, содержащей микрочастицы различного размера и лубриканта в концентрации 1:5. Подача воды при полировке отсутствует.

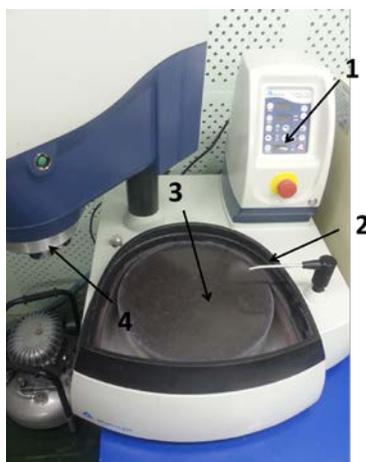


Рисунок 4 - Шлифовальный аппарат (1 – панель управления, 2 – кран подачи воды, 3 – шлифовальный круг, 4 – место для установки круга с заготовками)

Эскиз микрошлифа для визуального контроля качества металлизации переходных отверстий представлен на рис.5.

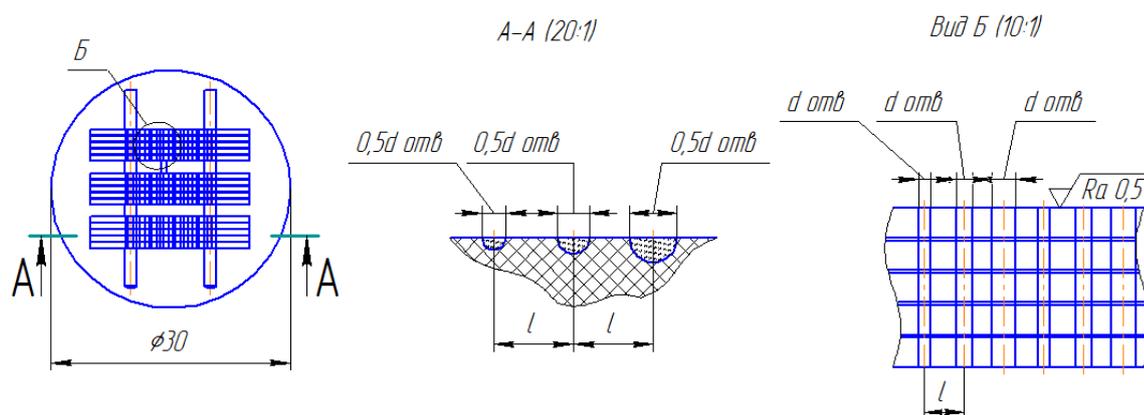


Рисунок 5 – Эскиз микрошлифа

Для корректной оценки качества металлизации переходных отверстий к микрошлифу предъявляются строгие требования. Поверхность микрошлифа должна быть гладкой и блестящей, не содержать посторонних включений. На поверхности должна четко просматриваться плоскость сечения металлизированных отверстий по диаметру. Если плоскость сечения, полученная на поверхности микрошлифа, не совпадает с плоскостью сечения отверстий по диаметру, то это свидетельствует об ошибке позиционирования тестовых образцов в микрошлифе, что ведет к некорректной оценке толщины и качества металлизации [2].

При необходимости исследования большого количества тестовых плат возможно размещение в одном микрошлифе до трех образцов (сборка пакета). Расстояние между образцами в пакете должно составлять несколько миллиметров для обеспечения затекания эпоксидной смолы в отверстия всех образцов. При сборке пакета из большого числа образцов, погрешности в их базировании приводят к низкому качеству микрошлифов (будет наблюдаться неполное или чрезмерное открытие отверстий). Размеры ошибок, связанных с отклонением от перпендикулярности сечения микрошлифа (неправильная сборка пакета) и несоосностью реза (ошибка при сверловке отверстий под штифты) приведены на рис.6.

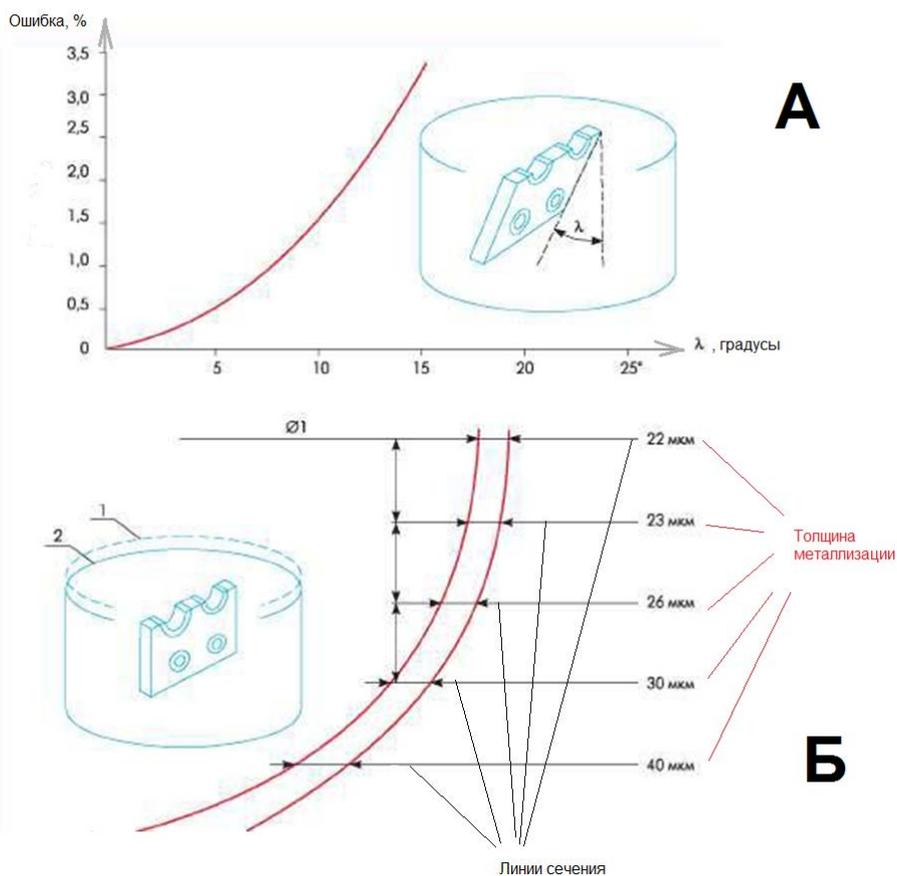


Рисунок 6 – Размеры ошибок при неправильной сборке пакета (А) и неправильной сверловке отверстий под штифты (Б)

После полировки микрошлифы извлекают из ячеек и приступают к визуальному контролю металлизации в отверстиях. Для более четкого выявления микроструктуры образца, микрошлиф подтравливают в травильных растворах (например, 3-процентный раствор перекиси водорода и 25-процентный водный раствор аммиака в концентрации 1:1). На рис.7 представлены образцы микрошлифа без подтравки (справа) и с подтравом (слева).

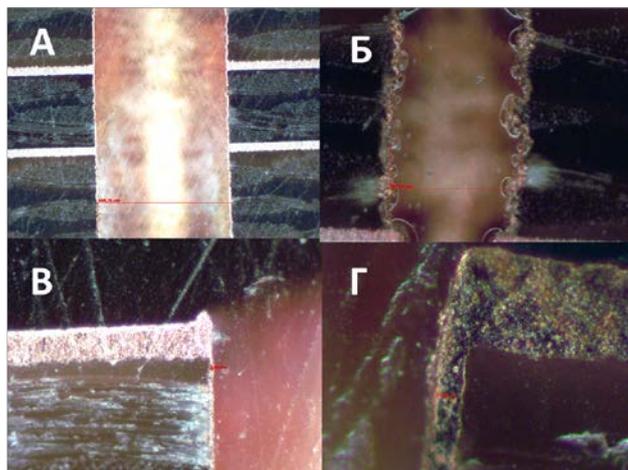


Рисунок 7 – Микрошлиф под микроскопом (А – увеличение 5X, Б – увеличение 10X, В – увеличение 20X, Г – увеличение 50X)

## **Заключение**

При оптическом контроле качества металлизации отверстий печатных плат к качеству подготовки микрошлифа предъявляются строгие требования, такие как минимальное отклонение от перпендикулярности сечения микрошлифа, соосность реза и качество обработки поверхности. Для достижения требуемого качества подготовки микрошлифа определены следующие рекомендации:

- 1) центры исследуемых металлизированных отверстий в образце должны располагаться на одной линии;
- 2) при сверловке отверстий под штифты линии центров отверстий образцов должны располагаться параллельно линии центров штифтов;
- 3) в одном микрошлифе рекомендуется располагать не более 3 образцов;
- 4) при сборке пакета все образцы должны располагаться перпендикулярно к осям штифтов;
- 5) для полного заполнения отверстий необходимо соблюдать технологический зазор между образцами;
- 6) операцию шлифования рекомендуется проводить на автоматическом оборудовании при помощи абразивов с различной шероховатостью при подаче воды для охлаждения обрабатываемой поверхности;
- 7) для увеличения контраста поверхности микрошлиф рекомендуется обрабатывать травильным раствором.

## **Литература**

1. ГОСТ 23752.1 – 92
2. И. Анчевский, А.Медведев Металлографический анализ многослойных печатных плат – Москва: Технологии в электронной промышленности, № 2, 2005.
3. Печатные платы: Справочник в 2-х книгах. Книга 1/ под редакцией Кумбза – Москва: Техносфера, 2011. – 1016 с.

# КОМПЬЮТЕРНАЯ ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ ЖИЛЬЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

Авдеев В.С., Фомин Ф.В.  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

## COMPUTER EVALUATION AFFORDABLE HOUSING FOR POPULATION

Avdeev V.S., Fomin F.V.  
MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

Цель работы – разработка методики компьютерной оценки доступности жилья для населения, обеспечивающей расчет отношения медианной стоимости жилья к медианному размеру дохода домохозяйства за год. При помощи разработанной методики оценить реальный уровень доступности жилья для населения на примере города Москвы с учетом и без учета ипотечного кредитования при помощи специальной программной разработки.

### Abstract

Purpose - development of methods of computer housing affordability for households , providing payment ratio of median home price to median household income for the size of the year. With the help of the developed method to evaluate the real level of affordability of housing for the population on an example of Moscow and without allowance for mortgage lending with a special software development.

### Введение

На сегодняшний день обеспечение граждан современным и комфортным жильем является одной из приоритетных задач социально-экономического развития России. Жилище выступает фундаментальным активом семей, залогом их благополучия и улучшения социального климата в стране. С каждым годом потребность в жилье среди населения возрастает. Человек, нуждающийся в жилье, хочет его приобрести по доступной цене и по качеству соответствующему современным требованиям жильца. Однако эти требования зависят от обеспеченности данного потребителя. Население дифференцируют на следующие группы доходности: средний класс (нижняя граница среднедушевых доходов: превышают в 6 раз уровень прожиточного минимума региона, доля населения среднего класса составляет 25%), малообеспеченный класс - доходы выше прожиточного минимума, но ниже доходов среднего класса (59,1%), низкая прослойка населения (нищие, доходы ниже прожиточного уровня (12,9%)). Мой проект ориентирован на помощь в приобретении недвижимости.

### 1 Измерение доступности жилья

В мировой практике существует несколько видов измерителей доступности жилья, которые основываются на сопоставлении доходов и расходов домашних хозяйств, текущих цен на жилье и параметров ипотечного жилищного кредитования. В настоящее время эти индикаторы активно внедряются в российскую практику. Например, одним из конечных результатов реализации ФЦП «Жилище» 2002-2010 гг. является повышение доступности приобретения жилья, когда средняя стоимость стандартной квартиры общей площадью 54 кв. м будет равна среднему годовому совокупному денежному доходу семьи из 3 человек за 3 года. В целях повышения объективности и надежности результатов целесообразно выполнять мульти вариантную оценку уровня доступности жилья.

Одним из самых простых измерителей уровня доступности жилья является величина площади жилого помещения, которое может быть приобретено физическим лицом на одну месячную заработную плату:

$$H = \frac{w}{p}, \text{ где}$$

H – уровень доступности жилья;

w – среднемесячная заработная плата;

p – рыночная стоимость 1 кв. м жилья.

Среди социальных характеристик отечественного жилищного рынка широкое распространение получил так называемый коэффициент доступности жилья – Housing Affordability (НА), рассчитываемый как отношение средней рыночной стоимости стандартной квартиры общей площадью 54 кв. м к среднему годовому доходу семьи из 3-х человек:

$$НА = \frac{S}{R}, \text{ где}$$

НА – коэффициент доступности жилья;

S – среднерыночная стоимость квартиры площадью 54 кв. м;

R – средний годовой доход семьи из 3-х человек.

Этот индикатор показывает время (количество лет), за которое семья может накопить средства для приобретения квартиры, откладывая все свои доходы. Данный показатель не учитывает расходы на потребление, а также возможности приобретения жилья с помощью ипотечных кредитов, поэтому отражает лишь сложившееся соотношение между средними ценами на жилье и средними доходами.

Делая поправку на текущее потребление семьи посредством вычета из ее среднегодового дохода величины прожиточного минимума, получаем модифицированный коэффициент доступности жилья:

$$НА_m = \frac{S}{R - M}, \text{ где}$$

НА<sub>m</sub> – модифицированный индекс доступности жилья;

M – прожиточный минимум семьи;

S – среднерыночная стоимость квартиры площадью 54 кв. м;

R – средний годовой доход семьи из 3-х человек.

Модифицированный коэффициент доступности жилья показывает время (количество лет), за которое семья может накопить средства для приобретения квартиры, откладывая все свои доходы, превышающие минимальные средства, тратящиеся на питание и удовлетворение базовых потребностей.

## **2 Что такое доступность жилья для населения?**

Доступность жилья – это показатель приемлемости квартиры на рынке жилья, который показывает, сколько лет среднестатистическое домохозяйство должно копить весь свой семейный доход, чтобы купить стандартную квартиру по рыночной цене. В международной практике термин «доступность жилья» (housing affordability) означает возможность приобретения жилья потребителем. Основное влияние на доступность жилья оказывают следующие факторы: стоимость жилья; стоимость ипотечного кредита (процентная ставка) и другие условия ипотечного кредитования; совокупный доход домохозяйства, а также величина налога на недвижимость, уровень платы за жилищно-коммунальные услуги, размер страховых выплат и т. д.

### **Заключение**

Основной результат работы – реализация и апробация компьютеризированной методики оценки доступности жилья для населения на примере статистической информации о предложении квартир на вторичном рынке жилья и доходах различных категорий населения города Москвы.

Обеспечивается:

- Импорт данных риэлтерских агентств о предложении квартир с автоматической пространственной привязкой
- Расчет средневзвешенных цен за 1 м<sup>2</sup> жилья в разрезе территориальных единиц
- Расчет различных видов коэффициентов доступности
- Формирование сводной информации об уровне цен и доступности жилья
- Ведение статистики о динамике коэффициентов доступности жилья, цен предложения и объемах рынка жилья

## Литература

1. Гусев А.Б. Жилищное неравенство российских домашних хозяйств: естественный путь к сегрегации // Капитал страны. – 2009
2. Гусев А.Б. Формирование в России рынка доступного жилья. – М.: 2007
3. Московский статистический ежегодник. 2010: Стат. сб. – М.: Мосгорстат, 2010
4. Ноздрина Н.Н., Шевяков А.Ю., Шнейдерман И.М. Жилье в Москве: реалии и перспективы: Монография / Под ред. чл.-корр.РАН Д.Е.Сорокина. – М.: ИСЭПН РАН, 2009
5. Постановление Правительства РФ от 17 сентября 2001 г. № 675. "О федеральной целевой программе "Жилище" на 2002-2010 годы"
6. Региональная статистика: Учебник. – М.: Московский издательский дом, 2001
7. Социальные аспекты жилищной политики. Часть I (Зарубежный опыт). – М.: Центр "Социальное партнерство", Издательская группа "Вестком", 2001

# ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗИСТИВНОЙ МАСКИ ДЛЯ ОБЛАСТЕЙ КОНТАКТА К КАРМАНУ КНИ ТРАНЗИСТОРОВ

Благова С.В.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

## FORMATION RESISTIVE MASKS OF CONTACT REGION TO POCKET SOI TRANSISTORS

**Blagova S.V.**

*Supervisor: Candidate of technical science, assoc.prof/ Makarchuk V.V.*  
MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассмотрена и описана структура КНИ транзистора. Описан один из нежелательных эффектов КНИ структуры – кинк-эффект и его проявление. Рассмотрены варианты борьбы с данным эффектом и описан наиболее распространенный вариант. Представлена топология А-транзистора и его 3D модель. Рассмотрена литографическая проблематика формирования резистивной маски для областей контакта к карману. Построено процессное окно для воспроизведения варианта топологии с OPC-коррекцией.

### Abstract

The article discusses and describes the structure of the SOI transistor. Described one of the adverse effects of the SOI structure - the kink effect and its manifestation. Considered options for dealing with the effect and describes the most common option. A topology is presented transistor and its 3D model. We consider the problems of lithographic masks for forming a resistive contact areas to afford. Built Process Organization window to play topologies with OPC correction.

### Введение

В последнее время отчетливо прослеживается тенденция по ужесточению требований к электронной аппаратуре общего и специального назначения. Это выражается в необходимости повышать надежность и быстродействие СБИС при снижении их энергопотребления и габаритных размеров, увеличивать радиационную стойкость, уменьшать технологические нормы. [1]

Для достижения лучших технических характеристик современные СБИС выполняются на пластинах с КНИ структурами. Данные схемы получают надежнее аналогичных схем, созданных по технологии объемного кремния, поскольку полная изоляция элементов диэлектриком более совершенна, чем изоляция *p-n*-переходами. Радиационная стойкость и плотность компоновки элементов в схемах на основе структур КНИ существенно выше стойкости микросхем, произведенных по технологии объемного кремния. Кроме того, в КНИ-схемах отсутствуют эффекты влияния общей подложки, как это имеет место в схемах объемной КМОП технологии.

В настоящее время наибольшее распространение получили КНИ-подложки, в которых в качестве изолирующего слоя используется диоксид кремния.

На рисунке 1 представлена вертикальная структура КНИ транзистора.

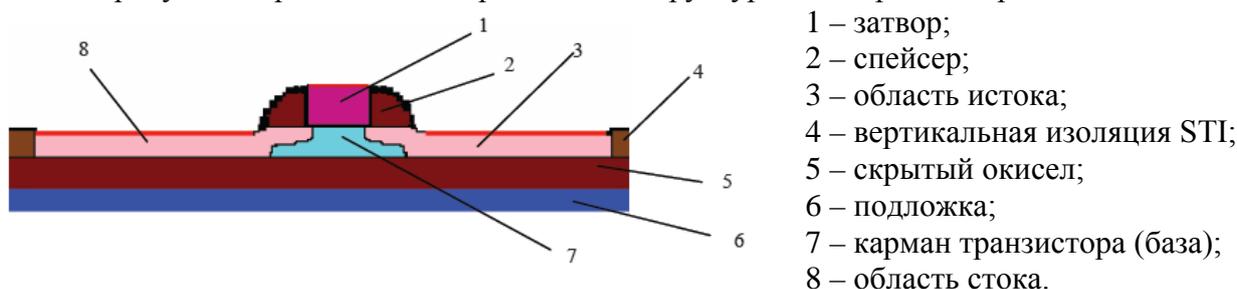


Рисунок 1 – Вертикальная структура КНИ МОП-транзистора

Активная область КНИ МОП-транзистора, представляет собой кремниевую область между контактами стока 8 и истока 3, изолированную со всех сторон окислом. При этом скрытый окисел 5 в КНИ структурах изолирует активную область прибора от подложки 6 – главное отличие КНИ технологий, а вертикальная изоляция 4 делает невозможными токи утечки.

Потенциал базы в таких КНИ транзисторах не фиксирован и является плавающим, что может приводить к нежелательным эффектам плавающей базы. Такие эффекты приводят к нестабильностям выходных и передаточных характеристик.[2]

### 1 Кинк-эффект

Одним из нежелательных эффектов, присущих структуре КНИ МОП-транзистора, является кинк-эффект, который проявляется следующим образом: при достаточно большом напряжении сток-исток электроны вблизи области стока разгоняются до больших скоростей, вызывая процесс ударной ионизации и образования электронно-дырочных пар. Электроны уходят в сток, а дырки накапливаются в базе. Избыточный заряд дырок (основных носителей) за очень малое время достигает своего стационарного значения, распределяясь по объему базы и уменьшая толщину обедненного слоя и плотность заряда в нем.[2, 3]

В результате на выходной ВАХ транзистора образуется скачок тока (рисунок 2).

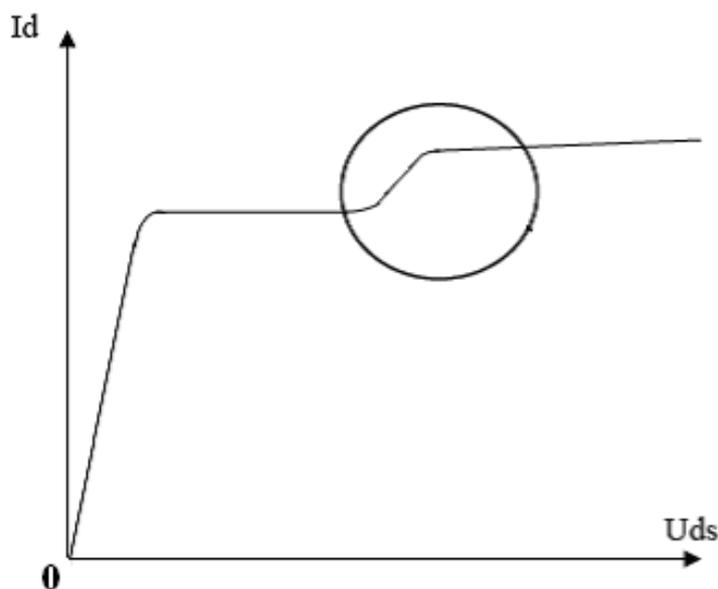


Рисунок 2 – Проявление Кинк-эффекта в КНИ МОП-транзисторе

Для борьбы с кинк-эффектом используют более сложные конструкции транзисторов, а также вставки сильнолегированных областей для обеспечения контакта к карману. Топологии КНИ МОП-транзисторов с прямым (А-типа) и непрямым (Н-типа и О-типа) затвором представлены на рисунке 3 [4].

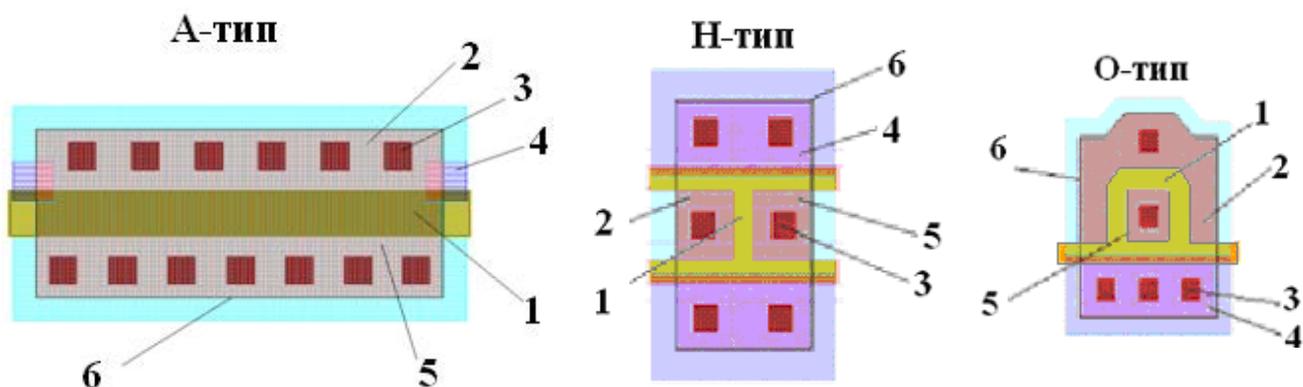


Рисунок 3 – Варианты топологической реализации КНИ МОП-транзисторов:

- 1 – область затвора, 2 – область истока, 3 – область контактного окна,
- 4 – сильнолегированная область для обеспечения контакта к карману,
- 5 – область стока, 6 – граница области транзистора

Однако, чем сложнее конфигурация затвора, тем труднее воспроизвести его топологию и тем больше влияние процесс литографии оказывает на получаемую структуру. Поэтому наиболее широкое распространение в микросхемах получили, так называемые, А-транзисторы, имеющие сильнолегированные области (“вставки”), с помощью которых реализуется контакт к карману.

## 2 Топология А – транзистора

Основной особенностью КНИ транзисторов этого типа является наличие контактов к карману для подавления паразитных эффектов, связанных с электрической изоляцией транзисторных элементов от общей подложки. Транзистор А-типа (рисунок 4) малочувствителен к литографическим искажениям по причине отсутствия изгибов в геометрии затвора. На рисунке 5 представлена трехмерная структура n-канального КНИ МОП-транзистора.

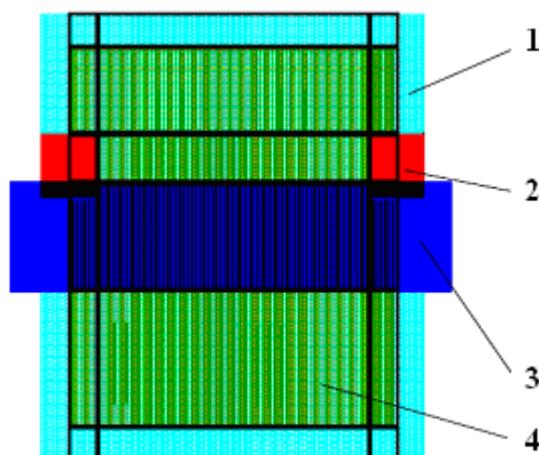


Рисунок 4 – Топология А – транзистора с каналом n-типа:

- 1 – область  $n^+$ -легирования истока-стока, 2 – область  $p^+$ -легирования контакта к карману,
- 3 – поликремний, 4 – область транзистора

Контакты к карману транзистора А-типа расположены по границам проводящего канала и представляют собой сильнолегированные области того же типа проводимости, что и карман транзистора, в данном случае  $p^+$ - типа.

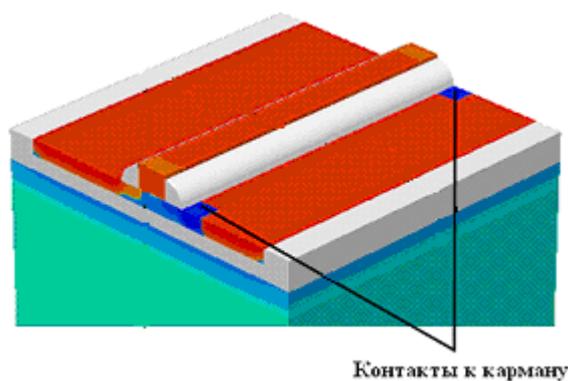


Рисунок 5 – Трехмерная структура А – транзистора

Характеристики КНИ транзисторов А-типа чувствительны к рассовмещению между фотошаблонами легирования контактов к карману и легирования областей истока-стока. Это следует из того, что в топологии транзистора А-типа сильнолегированные области противоположного типа проводимости расположены вплотную друг к другу.

### **3 Литографическая проблематика формирования фоторезистивной маски для областей контакта к карману**

При уменьшении проектных норм микроэлектронных изделий (0.25 мкм) размеры областей контактов к карману транзистора соответственно уменьшаются. При формировании фоторезистивной маски (получение фигур «вставка» и инверсных им фигур «столбик») для легирования областей контакта появляется проблема ухода их размеров друг относительно друга, а также проблема подбора параметров экспонирования маски для данных объектов (дозы экспонирования и фокуса) при комбинации их в один топологический, а соответственно и фотолитографический слой.

Был проведен эксперимент, в процессе которого были обработаны пластины с проходом по дозе  $E = 230 \pm 10$  мДж/см<sup>2</sup> и фокусу  $F = -0.2 \pm 0.1$ . Размер элемента «столбик» должен находиться в интервале 0.41-0.47 мкм. Размер элемента «вставка» должен находиться в интервале 0.95-1.05 мкм. В результате эксперимента было установлено, что при дозе экспонирования меньшей 220 мДж/см<sup>2</sup> наблюдается недопрояв резиста в широких светлых областях (рисунок 6).

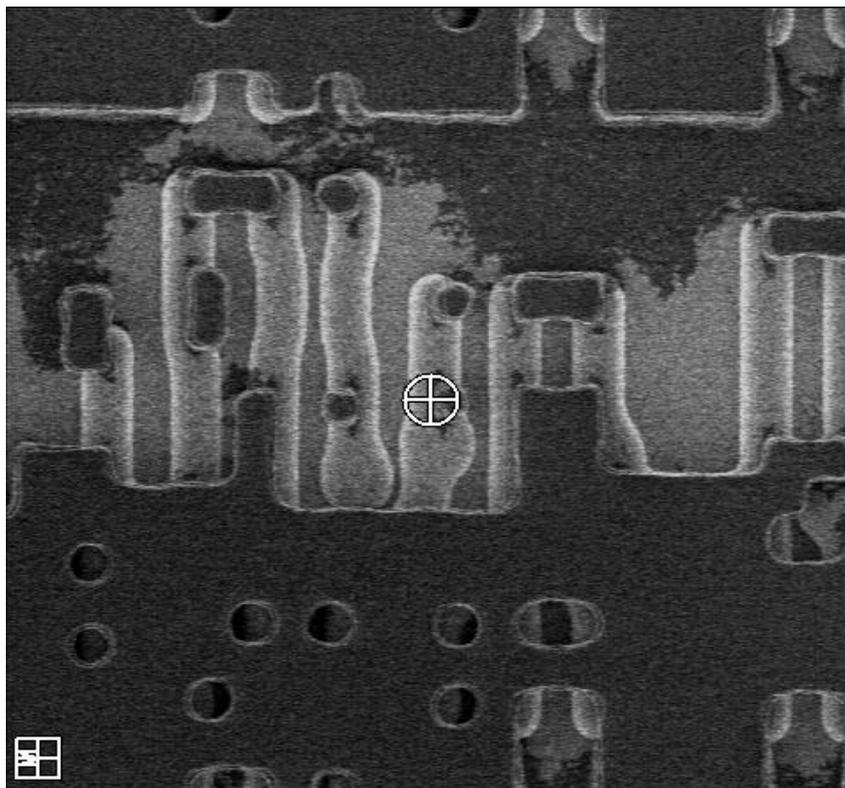


Рисунок 6 – Зоны недопроява при дозе экспонирования  $E = 210 \text{ мДж/см}^2$

Поэтому рабочая доза  $E = 220 \text{ мДж/см}^2$  была определена как минимальная (отсутствие недопроявленного резиста), а фокус определен в пределах от  $-0.1$  до  $-0.2$ .

На рисунке 7 показан рисунок исходного топологического слоя и соответствующее ему изображение, полученное на электронном микроскопе NanoSEM 3D (CD-SEM).

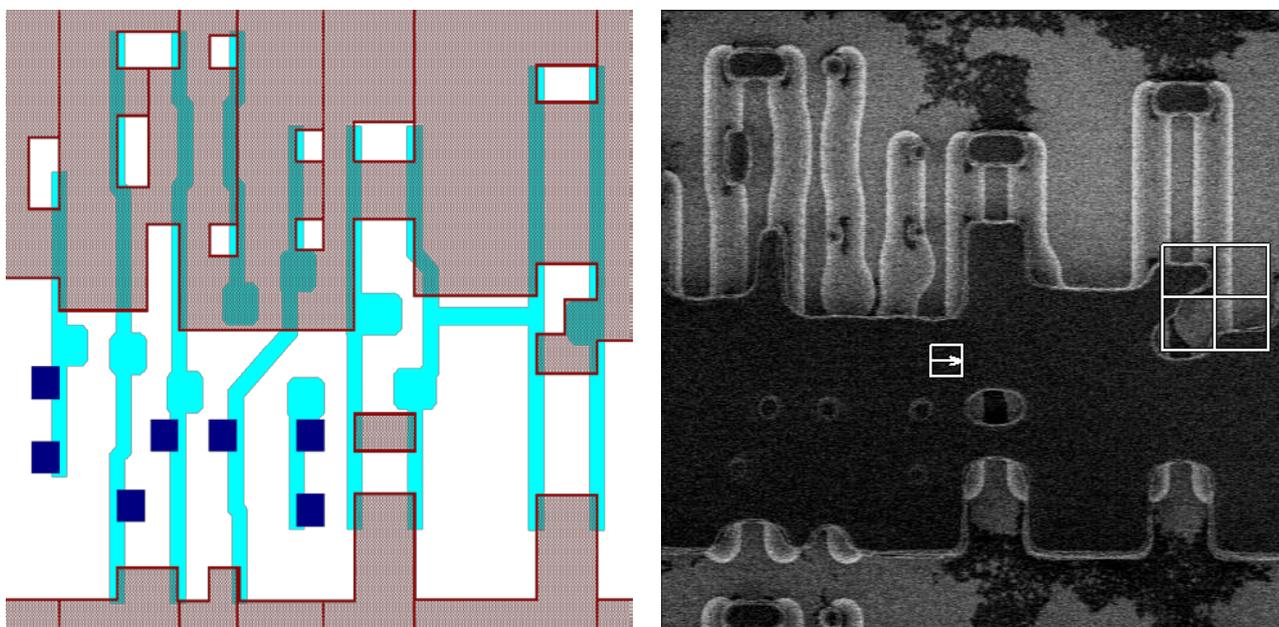


Рисунок 7 – Фрагмент исходной топологии (слева) и соответствующее ему SEM изображение (справа)

Как видно из представленного фрагмента, при таких параметрах процесса экспонирования отсутствует стабильная воспроизводимость «вставок» и «столбиков». «Вставки» непроработаны или отсутствуют. «Столбики» меньшего размера отсутствуют. В

связи с этим, построение процессного окна для стандартного варианта топологии является нецелесообразным.

На рисунке 8 представлена топология этого слоя с OPC-коррекцией фигурами типа serif и соответствующее ему изображение, полученное на электронном микроскопе NanoSEM 3D (CD-SEM).

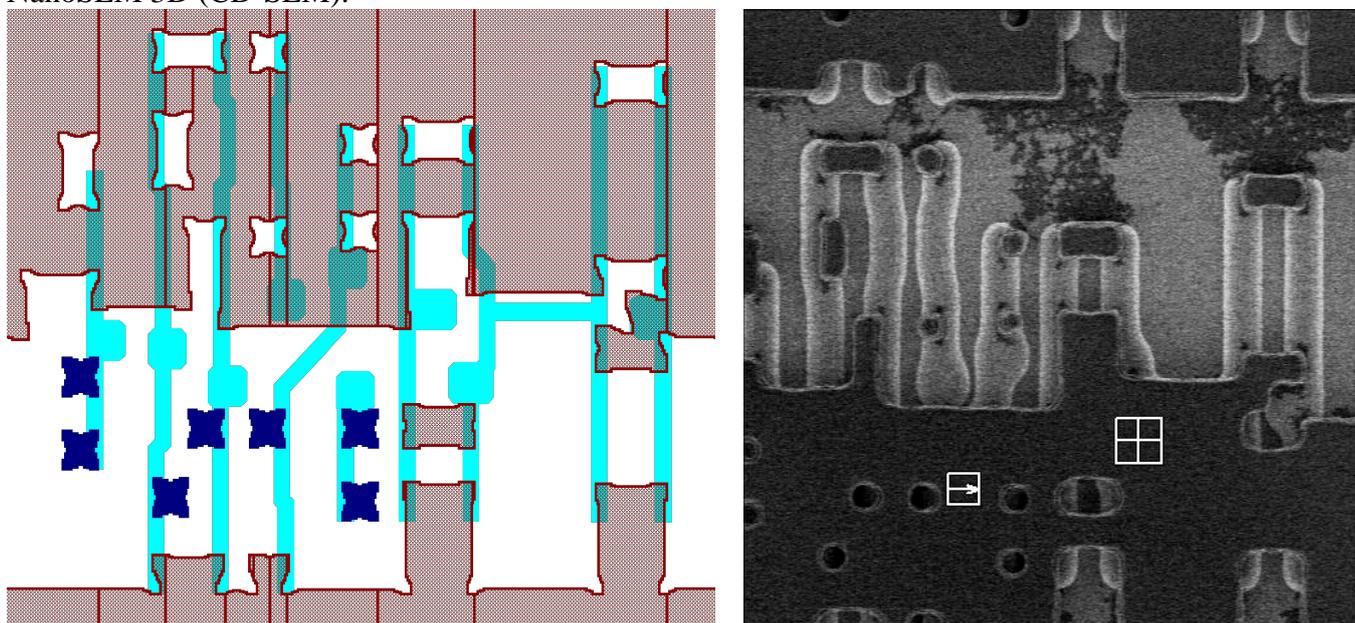


Рисунок 8 – Фрагмент топологии с OPC-коррекцией (слева) и соответствующее SEM изображение (справа)

Для варианта топологии с OPC-коррекцией было построено процессное окно. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Процессное окно для варианта топологии с OPC коррекцией

Фокус	Доза	Размер «столбика»	Размер «вставки»
-0.1	180	0.50	0.90
-0.1	190	0.47	0.90
-0.1	200	0.43	0.93
-0.1	210	0.41	0.95
-0.1	220	0.38	1.00
-0.1	230	0.36	1.20
-0.1	240	0.35	1.31
-0.2	180	0.48	0.88
-0.2	190	0.47	0.91
-0.2	200	0.44	0.93
-0.2	210	0.35	0.96

Как видно из представленной таблицы размер фигуры «столбик» находится в допустимых пределах в диапазоне доз меньше 210 мДж/см<sup>2</sup>. В то же время, размер фигуры «вставка» удается воспроизвести при дозах больших 220 мДж/см<sup>2</sup>. Видно, что использованной коррекции размеров фигур топологического слоя оказалось недостаточным для пересечения разрешенных диапазонов доз экспонирования, в котором удалось бы удовлетворить требованиям как по размеру фигуры «вставуа», так и фигуры «столбик», с тем, чтобы иметь возможность воспроизвести их в одном литографическом процессе.

## **Заключение**

В результате уменьшения проектных норм изделий микроэлектроники для улучшения выходных характеристик СБИС современные схемы выполняются на пластинах с КНИ структурами.

Одним из нежелательных эффектов, протекающих в КНИ структуре, является кинк-эффект. Чтобы избавиться от него используют более сложные конструкции транзисторов, а также вставки сильнолегированных областей для обеспечения контакта к карману. Но чем сложнее конфигурация затвора, тем труднее воспроизвести его топологию. Поэтому наиболее широкое распространение в КМОП микросхемах получили А-транзисторы с сильнолегированными областями для контакта к карману.

При формировании резистивной маски (получение «вставок» и инверсных им «столбиков») для легирования областей контакта появляется проблема ухода размеров «вставок» и «столбиков» друг относительно друга, а также проблема подбора параметров экспонирования маски для данных объектов (дозы экспонирования и фокуса) при комбинации их в один топологический, а соответственно и фотолитографический слой.

Однако при воспроизведении исходной топологии видно, что отсутствует стабильная воспроизводимость «вставок» и «столбиков» в заданном диапазоне параметров экспонирования.

При использовании ОРС-коррекции топологического слоя удалось подобрать размер фигуры «вставка», который удовлетворяет заданному диапазону. Но при данных параметрах процесса экспонирования размер фигуры «столбик» находится вне допустимых пределов. Соответственно, использованной коррекции размеров элементов топологических слоев оказалось недостаточно для пересечения разрешенных диапазонов доз экспонирования.

Для обеспечения размеров элементов в рамках одного литографического процесса предлагается изменить условия коррекции: либо модифицировать элемент «столбик» за счет большего увеличения его размера на каждую сторону при сохранении типа коррекции, либо изменить тип ОРС-коррекции.

## **Литература**

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / Под общ. редакцией В. А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, – 568 с.: ил.
2. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники. М.: МИФИ, 2008. 288 с.
3. Tsvividis Y.P. Operation and Modeling of the MOS Transistor. New York: McGraw-Hill, 1999. 620 p.
4. Глушко А.А. Методы моделирования элементов КНИ КМОП СБИС с субмикронными проектными нормами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — М: МГТУ, 2011.

---

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (*грант НШ-2903.2014.9*).

# ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА СПОСОБОВ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

**Борисов Н.О.**

*Научный руководитель: Журавлева Л.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ

# ELECTRONIC LIBRARY OF THE WAYS TO INSTALL COMPONENTS ON A PRINTED CIRCUIT BOARD

**Borisov N.O.**

*Scientific adviser: Zhuravleva L.V.*

BMSTU, Moscow, RF

## **Аннотация**

В работе представлена разработанная версия электронной библиотеки способов установки электронных компонентов на печатную плату. Основное внимание уделено функциям, выполняемым с помощью разработанного приложения. В работе рассмотрены также возможности дальнейшего развития приложения-библиотеки.

## **Abstract**

This paper presents a developed version of an electronic library of the methods of installation of electronic components on a printed circuit board. The main focus is on the functions performed with the developed application. Also the possibilities of further development of the application library are considered.

## **Введение**

**Объектом исследования** является разработанное приложение-библиотека по выбору способов установки электронных компонентов на печатную плату.

**Актуальность данной работы** определяется тем, что в современных условиях производства, как предприятию-изготовителю электронной аппаратуры, так и обычному радиолюбителю необходимо удобное и практичное программное обеспечение для быстрого поиска способов установки компонентов, что сокращает затраты времени на разработку конструкции ячеек электронных и комплекта конструкторской документации.

Качественные изменения в области развития современных информационных технологий и средств передачи данных привели к необходимости поиска новых подходов и решений проблем создания хранилищ информационных ресурсов, их организации, средств и способов доступа к ним пользователей. В обобщенном виде такие подходы сегодня стали трактовать как создание “электронных” библиотек. На смену информационному обслуживанию на печатных носителях приходит обеспечение пользователей, основанное на электронном представлении самой разнообразной информации, тиражируемой в неограниченном количестве[1].

Существуют различные технические стандарты, в которых содержится большое количество способов установки и монтажа электронных компонентов на печатную плату. Однако при конструировании большинства типовых изделий электронной аппаратуры применяется ограниченное количество способов установки компонентов. Разработанная электронная библиотека позволяет пользователю легко и быстро найти среди большого количества способов установки компонентов на плату соответствующий для конкретной конструкции ячейки электронной.

**Целью данной работы** является представление функций и возможностей разработанного программного продукта, а также краткое описание методов и средств его разработки. Дается анализ разработанной электронной библиотеки, функционал и спектр предоставляемых возможностей рассматриваемого программного обеспечения.

## Общие сведения о программном продукте

Программа «Электронная библиотека способов установки электронных компонентов на печатную плату» предназначена для оперативного и эффективного поиска необходимого способа монтажа компонента на плату.

Целевой аудиторией разработанной электронной библиотеки являются специалисты в области проектирования электронной аппаратуры (инженеры-конструкторы и инженеры-технологи), студенты, изучающие технологию производства электронной аппаратуры и использующие библиотеку в процессе работы над курсовой работы по этой дисциплине, и радиолюбители.

## Краткие сведения о методах и средствах разработки программы

Программа написана на языке C++ с использованием среды разработки Visual Studio 2013. База данных, по которой производится поиск нужного пользователю способа установки компонента, создана в системе управления базами данных Oracle MySQL. Концептуальная модель базы данных спроектирована в программном пакете AllFusion ERwin Data Modeler.

## Функциональные возможности и интерфейс программы

Программа осуществляет поиск необходимого способа установки компонента по ключевому слову, ввод которого осуществляется в поисковом поле. После процедуры ввода поискового запроса в окне программы выводится результат поиска (рис.1).

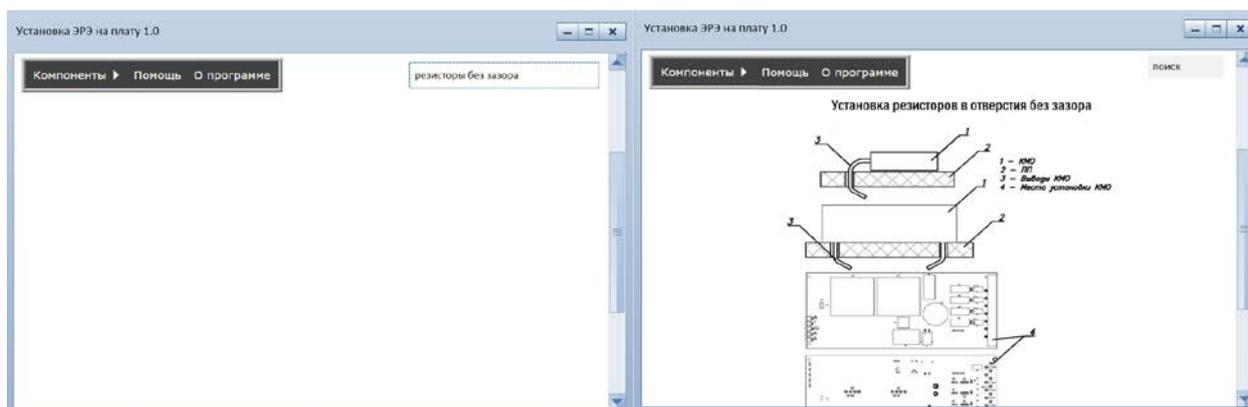


Рисунок 1 – Поиск необходимого способа установки по ключевому слову

Программа позволяет пользователю самому выбирать электронный компонент и соответствующий ему нужный способ установки на плату из раскрывающегося меню на главной странице электронной библиотеки. После выбора компонента и способа его установки на плату в окне программы выводится следующая информация о выбранном способе установки (Рисунок 2):

- подробное изображение эскиза этого способа с условными обозначениями и описанием;
- перечень действий, из которых состоит способ установки;
- средства, необходимые для осуществления этих действий.

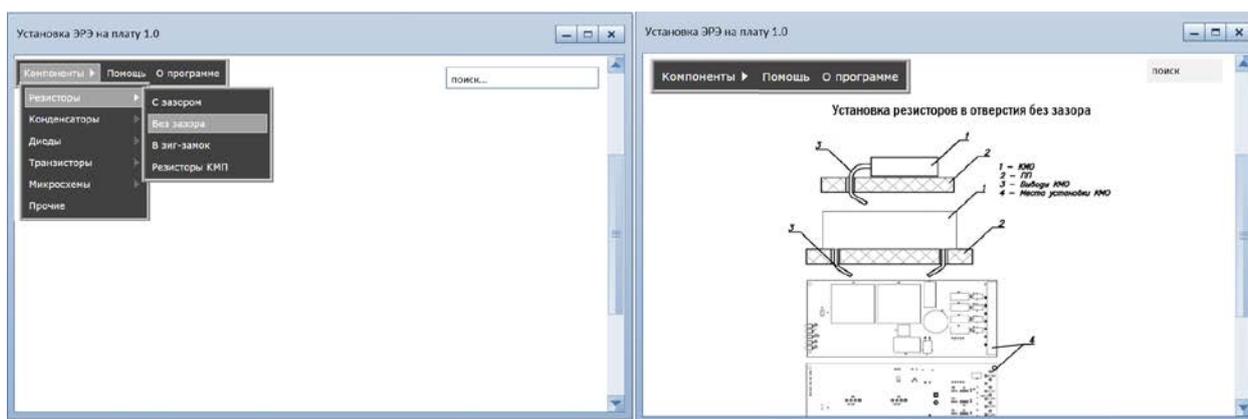


Рисунок 2 – Выбор компонента и способа его установки на плату

Для более удобного использования электронной библиотекой ее интерфейс спроектирован максимально простым и удобным. Навигация в программе осуществляется с помощью раскрывающегося меню, разделы которого содержат названия компонентов (резисторы, конденсаторы, транзисторы и т.д.), а их подразделы – различные способы установки этих компонентов на печатную плату (установка с зазором, в зиг-замок, установка на поверхность или отверстия и т.д.)

### **Перспективы развития электронной библиотеки**

В дальнейшем планируется, помимо создания приложения для персональных компьютеров, создание веб-ресурса в сети Интернет для поддержки электронной библиотеки с возможностями ее регулярного обновления путем добавления новых записей, зарегистрировавшимися пользователями и скачивания последней доступной версии библиотеки, а также создание аналогичного приложения по типу «тонкий клиент» для мобильных устройств на платформах Android, iOS, Windows Phone и им подобным.

### **Заключение**

В рамках данной работы были рассмотрено разработанное программное обеспечение, реализующее функцию поиска нужного способа установки и монтажа компонентов на печатную плату. Также был приведен краткий обзор методов и средств проектирования электронной библиотеки и перспективы ее дальнейшего развития.

### **Литература**

1. Технология создания электронной библиотеки. – Электронный ресурс. Режим доступа - <http://www.gpntb.ru/win/inter-events/crimea2002/trud/sec4/Doc10.HTML> - Проверено 08.02.2015.
2. ГОСТ 19.402-78. Описание программы. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 3 с.

# КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

**Чернухин М. В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Резчикова Е.В.*  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## CONCEPTUAL SOLUTIONS OF THE INCREASE IN RELIABILITY OF IMAGE RECOGNITION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

**Chernuhin M. V.**

*Supervisor: Ph.D. Rezchikova E. V.*  
MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматриваются методы для увеличения качества распознавания изображений искусственной нейронной сетью. Освещены актуальные проблемы возникающие при использовании нейронных сетей для распознавания изображений, а также указаны векторы развития искусственных нейронных сетей и области их применения. В заключении даны рекомендации по выбору методов повышения качества распознавания образов нейросетью.

### **Summary**

This article considers methods of increasing the quality of image recognition with artificial neural network. The author highlights up-to-date issues arising from using neural networks for image recognition as well as specifies the vectors of the development of neural networks and the areas of their application. In conclusion, some recommendations on the choice of methods of increasing the quality of image recognition with artificial neural network are illustrated.

### **Введение**

Последние несколько лет наблюдается большой интерес к искусственным нейронным сетям (ИНС), которые успешно применяются в самых различных областях - бизнесе, медицине, технике, геологии, физике. Нейронные сети вошли в практику везде, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации или управления. ИНС является мощным методом моделирования, позволяющим воспроизводить сложные процессы, ИНС не зависит от размерности входных данных, что является актуальной (а зачастую непреодолимой) проблемой для большинства других методов обработки данных.

Одними из основных преимуществ ИНС является:

- возможность решения задач при неизвестных закономерностях. Используя способность обучения на множестве примеров, нейронная сеть способна решать задачи, в которых неизвестны закономерности развития ситуации и зависимости между входными и выходными данными;
- устойчивость к шумам во входных данных. Возможность продуктивной работы при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов;
- потенциальное сверхвысокое быстродействие. Нейронные сети обладают потенциальным сверхвысоким быстродействием за счёт эффективной организации структуры, в частности, использования массового параллелизма обработки информации.

Не смотря на огромную универсальность ИНС в них есть свои недостатки, такие как:

- отсутствие строгой теории по выбору структуры ИНС, вследствие этого необходимость специалиста высокого класса для настройки и создания нейронной сети;
- практическая невозможность извлечения приобретённых знаний из обученной ИНС, так как нейронная сеть практически всегда «чёрный ящик»;
- отсутствие общей методики, позволяющей осуществлять оптимальный выбор количества нейронов и слоёв ИНС.

Возможности преодоления некоторых из перечисленных недостатков можно сформулировать, если выявить технические противоречия, возникающие при синтезе ИНС.

## 1 Основы построения ИНС

Основу искусственной нейронной сети составляет нейрон (рисунок 1), который является бинарным пороговым элементом, вычисляющим взвешенную сумму  $n$  сигналов и формирующим на выходе сигнал 0 или 1.

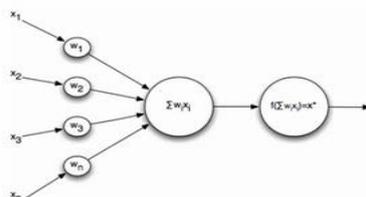


Рисунок 1 - Формальный нейрон Маккалока — Питтса

$w_1..w_n$  — сигналы поступающие на вход нейрона;  $\sum w_i x_i$  — функция взвешенного суммирование сигналов, где  $x$  — вес;  $f(\sum w_i x_i)$  — нелинейная функция активации нейрона.

ИНС может рассматривать как направленный граф со взвешенными связями, в котором искусственные нейроны являются узлами. ПО архитектуре связей ИНС можно сгруппировать в два класса:

Сети прямого распространения, в котором графы не имеют петель;

Рекуррентные сети, или сети с обратными связями [1].

В наиболее распространённом семействе сетей первого класса, называемом многослойным перцептроном (рисунок 2) [1], нейроны расположены слоями и имеют однонаправленные связи между слоями. Слоем перцептрона называется группа нейронов, не имеющих между собой связи и удалённых на одинаковое расстояние от входов ИНС.

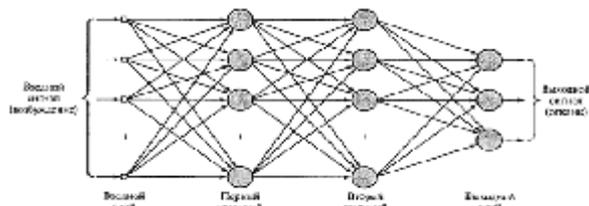


Рисунок 2 - Многослойный перцептрон с двумя скрытыми слоями (Хайкин, 2006)

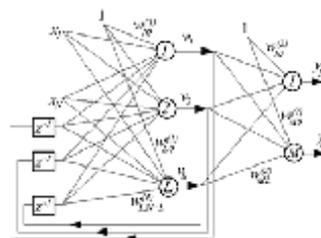


Рисунок 3 - Рекуррентная сеть Эльмана

Сети первого класса являются статическими в том смысле, что они реагируют на заданный вход не зависящим от предыдущего состояния сети выходным набором значений.

Рекуррентные сети (Рисунок 3) являются динамическими, так как из-за обратных связей в них модифицируются потоки сигналов по входу нейронов, что приводит к изменению состояния сети.

## 2 Обучение искусственной нейронной сети

Обучать ИНС можно несколькими способами:

Обучение с учителем. Обучение с учителем предполагает, что для каждого входного вектора существует целевой вектор, представляющий собой требуемый выход. Вместе они называются обучающей парой. Обычно сеть обучается на некотором числе таких обучающих пар. Предъявляется выходной вектор, вычисляется выход сети и сравнивается с соответствующим целевым вектором, разность (ошибка) с помощью обратной связи

подаётся в сеть, и веса изменяются в соответствии с алгоритмом, стремящимся минимизировать ошибку;

Обучение без учителя — нейронная сеть формирует выходное пространство решений только на основе входных воздействий. Такие сети называют самоорганизующимися. Как правило, это пригодно только для задач, в которых известны описания множества объектов (обучающей выборки), и требуется обнаружить внутренние взаимосвязи, зависимости, закономерности, существующие между объектами;

Обучение с подкреплением — система назначения штрафов и поощрений от среды. При обучении с подкреплением запоминается соответствие между ситуациями и действиями, которые объект управления должен выполнить в той или иной ситуации. При обучении с учителем необходима выборка для обучения, в случае обучения с подкреплением начальная выборка зачастую не нужна – она появляется в ходе работы объекта[2].

### **3 Некоторые способы повышения надежности распознавания образов ИНС**

При синтезе ИНС можно выявить наличие несовместимых друг с другом требований к ней со стороны разных нормативных систем. Эта ситуация характеризуется техническим (или физическим) противоречием. Суть противоречия в том, что с каждым новым уровнем нейронов, ИНС должна выделять все более обобщенные признаки и понятия, но для этого ей необходим все более широкий охват наблюдаемых свойств, что затрудняет её обучение, сильно увеличивает время, и требует всё большего количества данных для обучения[1].

Для решения этой проблемы и увеличения доли верно распознанных объектов (при обеспечении универсальности) далее представлены некоторые концептуальные решения, которые в дальнейшем могут быть реализованы в виде программ.

Одна из идей заключается в том, что, если при распознавании образов сеть будет работать с расфокусированными изображениями, необходимо применить алгоритмы по восстановлению смазанных изображений или при обучении использовать пары одинаковых картинок, где на одной из них объект будет чётко изображён, а на другой - расфокусирован. При подборе расфокусированной копии оригинала, необходимо быть внимательным, потому что ИНС для распознавания изначально не нужна очень высокая чёткость изображения, пример (Рисунок 4), но так бывает не всегда.



Рисунок 4 - Слева оригинал, справа картинка при, которой нейронная сеть свяжет образ, поступивший на вход, с летящим павлином

Также для увеличения процента верно опознанных объектов необходимо делать подряд несколько снимков с разной выдержкой, после чего их склеивают, применяя корреляционные алгоритмы обработки, вследствие чего они приобретают более высокую чёткость, и их можно будет подать на вход нейронной сети рисунок 5.

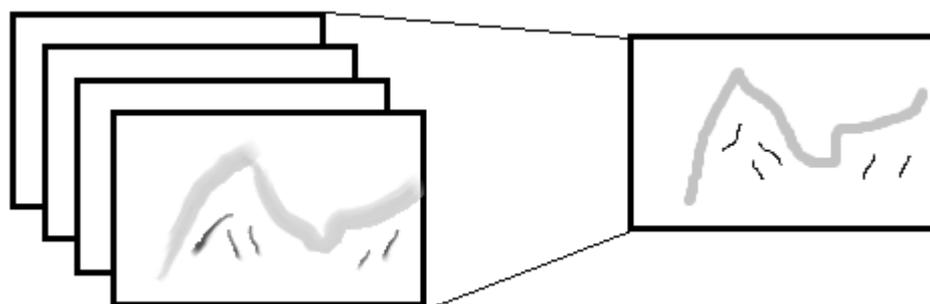


Рисунок 5. Способ повышения качества изображения.

Ещё один способ увеличения качества распознавания ИНС заключается в том, что предлагается после первого распознанного объекта подавать информацию о полученном результате на вход сети вместе со вторым объектом. Такая связь позволит повысить долю верно распознанных образов благодаря достаточной уникальности из встречи вместе. Например, в автомате продаются какие-либо предметы, цена одного из них 160 руб. Если покупатель, подойдя к автомату выберет предмет за 160 руб. и всунет купюру в купюроприёмник номиналом 100 руб., то после успешного распознавания первой купюры, становится очевидным, что следующая скорее всего будет номиналом 50 руб. или же с меньшей вероятностью 100 руб., так как у человека не оказалось пятидесятирублёвой купюры рисунок 6.

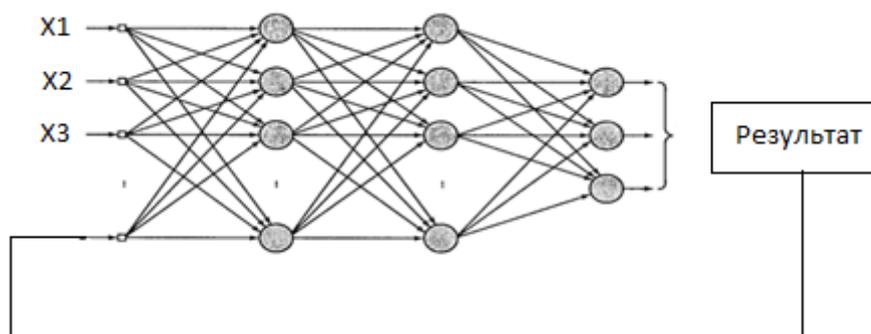


Рисунок 6 - Результат работы ИНС подаются на её вход со следующим изображением

Следующий предлагаемый в работе способ заключается в выборе метода преобразования картинки во входные сигналы для нейронной сети. Способ заключается в следующем: картинка делится на наборы подряд идущих пикселей, длина набора характеризуется числом  $k$ , при большом изображении  $k$  может быть от 7 до 10 при маленьком от 2 до 5.

Если перед распознаванием объекта идёт съёмка на фотоаппаратуру, то можно делать это специальной камерой, которая делает снимок с разным фокусом, а в процессе его просмотра фокус можно менять. Это позволит избежать смазанных изображений и даст дополнительную информацию о объекте.

И наконец, в работе рассматривается вариант, заключающийся в том, чтобы использовать потоки сопутствующей информации. Если это видеофайл, то можно анализировать и звуковую дорожку, что даст возможность правильно распознать объект. Дополнительные возможности создаёт использование снимков инфракрасных камер или других источников получения информации из внешнего мира. Работает это так, если какой-либо роботизированной системе необходимо найти одного человека среди животных людей, то отличительным признаком будет температура тела, которая приблизительно равна  $36.6 \pm 2^\circ$  в отличие от других объектов, это значительно сократит объём работы и останется поиск только среди людей по форме лица.

Большая часть практических приложений теории ИНС сосредоточена сейчас в медицине, в ее очень молодой и очень перспективной области, называемой нейропротезированием. Так как известны принципы кодирования сенсорной информации, поступающей в мозг, естественным образом возникла идея эмулировать сигналы пораженных болезнью, травмированных или ампутированных органов чувств и подавать их через электроды на нервы, идущие от этих органов чувств или даже непосредственно в регионы коры головного мозга, ответственные за обработку соответствующей сенсорной информации. Аналогично этому знание кодирования команд, поступающих от мозга к мышцам, дает возможность их интерпретации специальными протезами, управляемыми микропроцессорами, которые воспроизводят действия, в нормальном случае выполняемые здоровой конечностью. Это направление сейчас активно развивается.

Так же в настоящее время ведутся исследования в области создания ИНС на аппаратном уровне, например компания IBM выпустила нейрочип TrueNorth. В его состав входит миллион программируемых нейронов и 256 миллионов программируемых синапсов, которые могут образовывать структуры, подобные ансамблям нейронов отделов мозга, отвечающих за обработку зрительной информации. Чип полностью цифровой. Моделирование обеспечивается 4096 параллельно работающими ядрами на каждом чипе. Он является чемпионом во многих отношениях, содержит 5,4 миллиарда транзисторов и потребляет всего 70 милливатт энергии! По экономичности этот показатель уже приближается к биологическим нейронным сетям.

Использование нейронных сетей так же активно используется при создании искусственного интеллекта. Многие крупные корпорации, такие как Google, Facebook и Microsoft тратят огромные ресурсы на исследования в этой области. Например в компании Google создали нейронную сеть для распознавания табличек с номерами домов. Тренировка этой сети заняла около шести дней и осуществлялась на материалах общедоступной базы Street View House Numbers, которая уже содержит примерно 200 000 таких же номеров. В итоге после обучения точность распознавания системы Google составила 96%, что сравнимо с человеческим показателем аналогичной работы в 98% — эта цифра и будет целью для дальнейших исследований, как заявили инженеры компании.

Учитывая огромный рост в этой молодой, но бурно развивающейся области науки, возможно уже нам посчастливится увидеть успешное прохождение теста Тьюринга.

### **Заключение**

Задача повышения надёжности распознавания изображений может быть решена многими способами, а в данной статье в виде концепций представлены лишь некоторые из их немалого количества. Но следует помнить что при выборе методов которые приведут к повышению доли верно распознанных объектов, необходимо учитывать имеющиеся в распоряжении, доступные ресурсы и область в которой практическая задача будет решаться. Очень часто для специфических областей можно предложить достаточно простые и эффективные решения, некоторые из них были рассмотрены в статье.

### **Литература**

1. Цикл статей «Логика мышления» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/214241/> свободный. — Проверено 31.01.2015.
2. Роберт Каллан Основные концепции нейронных сетей — М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. 287 с.

---

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта РФФИ грант 13-07-0073-а

# АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Чистяков М.Г.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, Макаrchук В.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Российская Федерация

*Руководитель группы проектирования ИМС Морозов С.А.*

НИИ Системных исследований РАН, Москва, Российская Федерация

## ARCHITECTURE OF STEPPER MOTOR CONTROL SYSTEM

Chistyakov M.G.

*Supervisor: candidate of technical science, reader Makarchuk V.V.*

MSTU named after N.E. Bauman, faculty IU4, Moscow, Russia

*Head of group of design IC Morozov S.A.*

SRI of System Analysis RAS, Moscow, Russia

### Аннотация

Рассмотрены основные направления развития архитектур системы управления шаговым двигателем. Предложена новая архитектура цифровой системы управления шаговым двигателем и описана отладочная плата, позволяющая протестировать работу такой системы управления, а также приведены результаты тестирования.

### Abstract

The main directions of development of system architectures stepper motor control. A new architecture of digital control system stepper motor and described a development board that allows you to test the operation of a control system, as well as the results of such testing.

### Введение

Одной из наиболее важных проблем обеспечения работы шагового двигателя является выбор и разработка его системы управления. Для управления работой шагового двигателя в его обмотках приходится задавать токи различной, часто достаточно сложной формы. Более подробно этот процесс изложен и описан в работе [1].

Как показано в [1], так называемый «микрошаговый» способ управления двигателем позволяет минимизировать негативные последствия, вызванные явлением резонанса, которые ведут к резкому снижению момента на валу шагового двигателя, вследствие чего его использование является предпочтительным. Однако для реализации микрошагового способа управления в обмотках двигателя необходимо задавать ток, имеющий форму синусоиды (рисунок 1), что в ряде случаев бывает затруднительным.

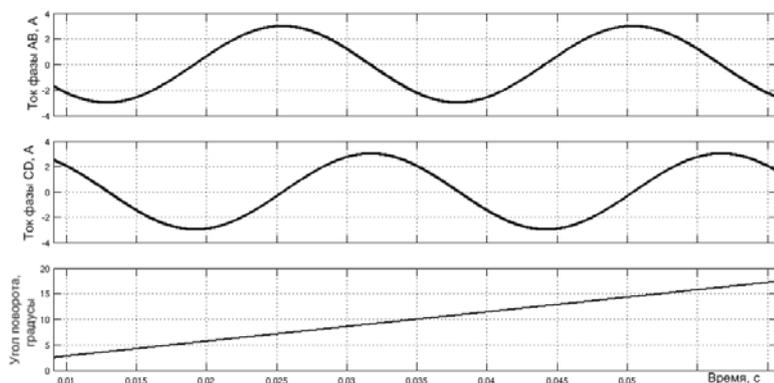


Рисунок 1 – Токи через обмотки и угол поворота ротора при «микрошаговом» способе управления

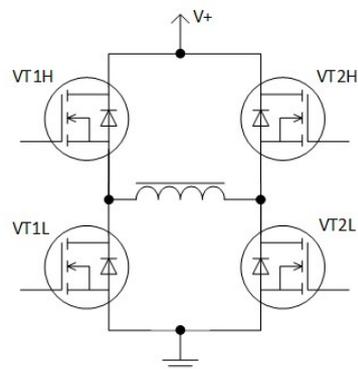


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема «Н-моста»

Для задания тока такой формы применяют схемы так называемых «Н-мостов», рисунок 2. Управление «Н-мостом» возможно с помощью нескольких комбинаций входных сигналов.

## 1 Особенности работы «Н-моста»

Когда транзисторы VT1H и VT2L открыты, а транзисторы VT1L и VT2H закрыты, ток через обмотку шагового двигателя протекает так, как показано на рисунке 3а. Поскольку сопротивление обмотки шагового двигателя имеет индуктивный характер, то при протекании тока через нее происходит процесс накопления энергии даже в том случае, когда все транзисторы Н-моста закрыты. В этом случае ток будет продолжать течь через защитные диоды транзисторов VT1L и VT2H так, как показано на рисунке 3б. Когда открыт транзистор VT2L, ток будет продолжать течь, как показано на рисунке 3в, а при открытом транзисторе VT1H – как показано на рисунке 3г. В последних двух случаях ток в обмотке изменяется более плавно, что позволяет избежать резкого броска тока.

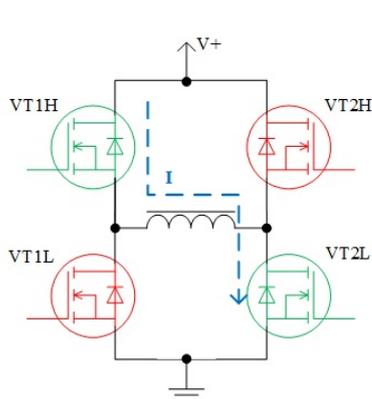


Рисунок 3а – Направление протекания тока при открытых транзисторах VT1H и VT2L

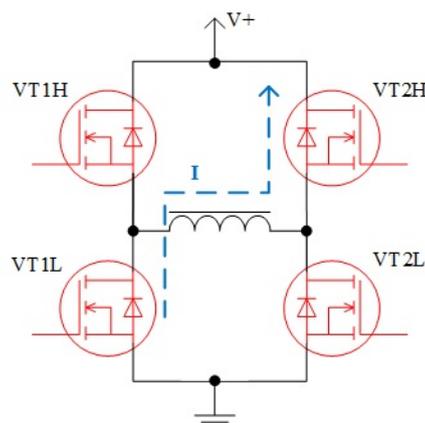


Рисунок 3б – Направление протекания тока через защитные диоды транзисторов VT1L и VT2H

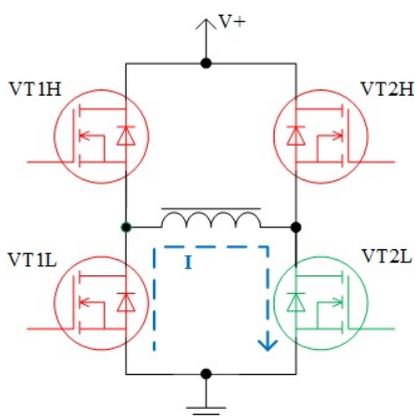


Рисунок 3в – Направление протекания тока при открытом транзисторе VT2L

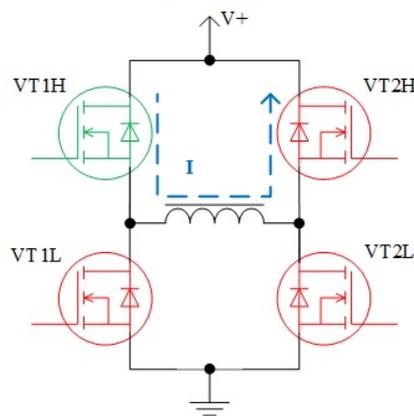


Рисунок 3г – Направление протекания тока при открытом транзисторе VT1H

Тот же самый подход применим и в том случае, когда ток через обмотку двигателя протекает в обратном направлении. Например, когда транзисторы VT1H и VT2L закрыты, а транзисторы VT1L и VT2H открыты, ток будет протекать в направлении, противоположном показанному на рисунке 3а.

## 2 Выбор архитектуры системы управления

Существует два основных направления построения системы управления шаговым двигателем. Первый базируется на обработке аналогового сигнала [2], рисунок 4, а второй - на построении цифровой системы обработки сигнала [3], рисунок 5.

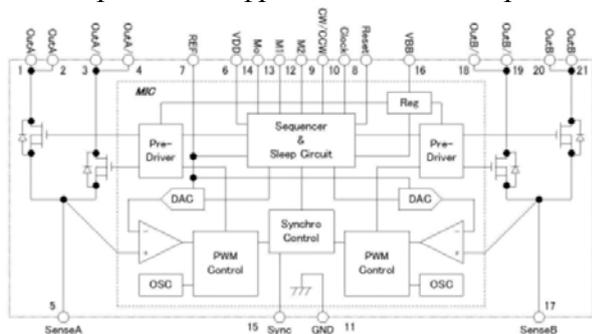


Рисунок 4 – Функциональная схема контроллера шагового двигателя SLA7062M фирмы «Allegro». Микросхема обрабатывает аналоговый сигнал

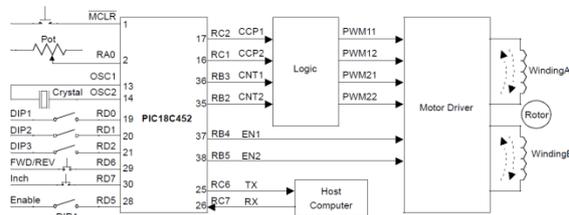


Рисунок 5 – Структурная схема контроллера шагового двигателя на базе микросхемы PIC18C452 фирмы «Microchip». Микросхема обрабатывает сигнал в цифровом виде

Обработка аналогового сигнала накладывает высокие требования на точность элементов, входящих в состав тракта обработки. Сохранение высокой точности параметров элементов при воздействии спецфакторов затруднительно. При обработке системы в цифровой форме не требуется сохранение высокой точности параметров элементов, входящих в состав системы управления. Поэтому в качестве элемента управления предпочтительным является выбор микроконтроллера.

## 3 Выбор архитектуры микроконтроллера

За основу системы управления была взята архитектура и система команд микроконтроллера семейства PIC16 [4]. Она предпочтительнее при использовании в условиях воздействия спецфакторов, так как обладает малым объемом команд (35 штук), длина команды 14 бит.

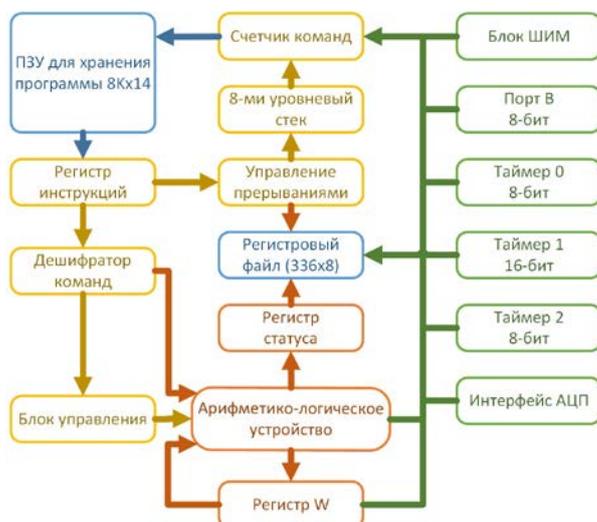


Рисунок 6 – Структурная схема разрабатываемого микроконтроллера управления шаговым двигателем

Количество команд и длина команды прямо пропорциональны количеству логических элементов, необходимых для их обработки. В свою очередь, увеличение количества логических элементов увеличивает вероятность сбоя одного из них, что ведет к сбою всего микроконтроллера. Также увеличение количества логических элементов, входящих в состав микроконтроллера, увеличивает площадь кристалла микроконтроллера, что приводит к увеличению вероятности воздействия внешних факторов и также увеличивает вероятность сбоя [5]. На рисунке 6 представлена структурная схема разрабатываемого микроконтроллера.

Для управления шаговым двигателем критическим является время выполнения операций, таких как управление «Н-мостом» с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и получение данных с аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Основным недостатком предложенной исходной архитектуры является отсутствие специализированных блоков выполнения данных операций. В предложенную архитектуру добавлены специализированные блоки, такие как блок ШИМ и интерфейс АЦП.

#### 4 Разработка платы тестирования контроллера

Отладка работы микросхемы контроллера управления шаговым двигателем осуществлялась с помощью тестовой платы, принципиальная электрическая схема которой показана на рисунке 7.

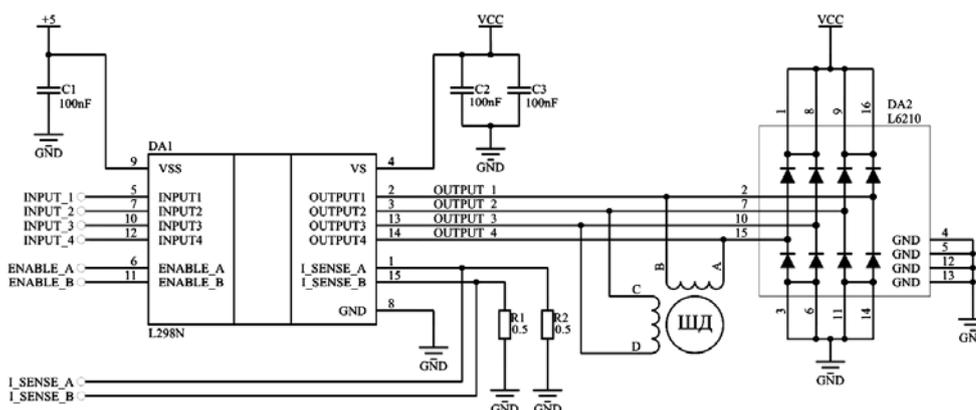


Рисунок 7 – Принципиальная схема платы, используемой для тестирования методов управления шаговым двигателем

Как видно из представленного рисунка, ее ядром является микросхема L298N фирмы «STMicroelectronics», которая функционально представляет собой сдвоенный «Н-мост» [6]. Ее функциональная схема приведена на рисунке 8. Поскольку в ней отсутствуют защитные диоды, то для защиты её силовых транзисторов были взяты диоды из микросхемы L6210 фирмы «STMicroelectronics», которая представляет собой двойной диодный мост (рисунок 9) [7].

Таблица 1 – Характеристики шагового двигателя LDO-36HT20-0504MA

Количество обмоток, ед.	2	Угол шага, град	0,9 ±5%
Максимальное напряжение, В	6,5	Максимальный ток через обмотку, А	0,5
Сопротивление обмотки, Ом	13±10%	Индуктивность обмотки, мГн	10±20%
Момент удержания, мНм	95	Крутящий момент, мНм	5
Момент инерции ротора, г*см <sup>2</sup>	19,6	Вес, кг	0,16

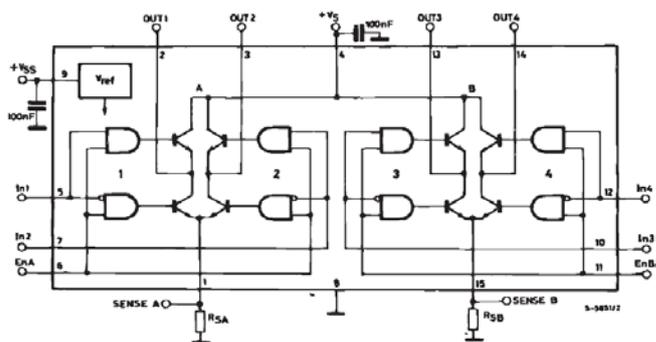


Рисунок 8 – Функциональная схема микросхемы L298

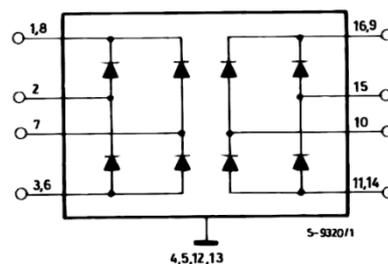


Рисунок 9 –  
Принципиальная схема микросхемы L6210

Данная плата позволяет отладить режимы работы системы управления на маломощных шаговых двигателях. Для отладки был выбран двигатель LDO-36HT20-0504MA, характеристики которого приведены в таблице 1.

## 5 Результаты тестирования

На разработанном контроллере были реализованы «полношаговый» способ управления шаговым двигателем, рисунок 10а. Помимо этого был реализован «микрошаговый» способ управления с делением шагов на 32, рисунок 10б. На рисунках 10а и 10б токи представлены без учета направления, так как измерения проводились на резисторах R1 и R2 разработанной платы, рисунок 7.

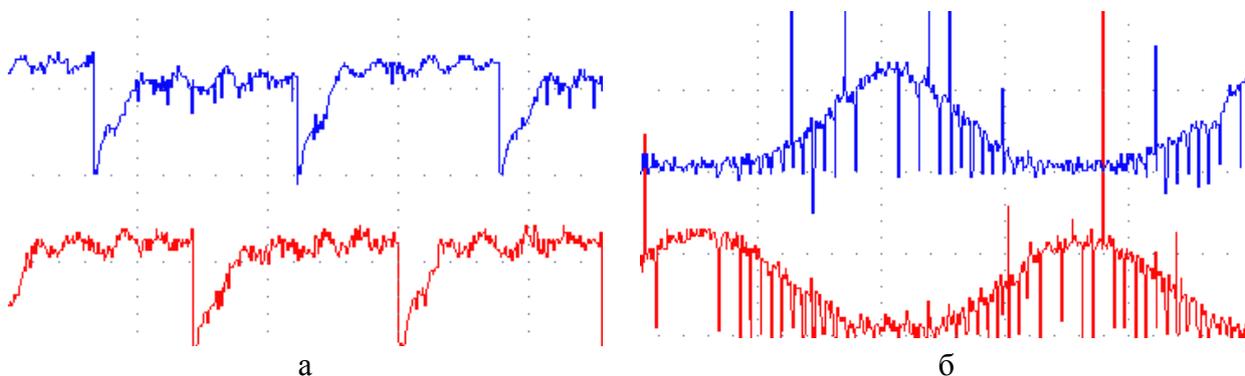


Рисунок 10 – Временные зависимости токов на резисторах R1 и R2  
а – при «полношаговом» способе управления  
б – при «микрошаговом» способе управления

Из рисунка 10б видно, что при данном способе управления в моменты переключения обмоток шагового двигателя имеют место выбросы токов. Это явление обусловлено резким изменением направления тока, протекающего через обмотки двигателя, сопротивление которых имеет индуктивный характер. Проведенный анализ показал, что причиной выбросов является использование в схеме управления микросхемы L298N, в которой невозможно подключить каждый транзистор цепи управления отдельно от других. Тем не менее, ее использование позволило провести тестирования блока ШИМ.

Замена микросхемы L298N другой микросхемой, в которой каждый ее транзистор может быть подключен отдельно, позволит устранить выбросы и, тем самым, реализовать режимы плавного спада тока. А это в свою очередь позволит минимизировать амплитуду импульсов, которые неизбежно возникают при изменении полярности напряжения, подаваемого на обмотку шагового двигателя, имеющего индуктивный характер.

## Заключение

Предложенная архитектура обладает возможностью реализации алгоритмов, имеющих обратную связь для поддержания необходимой формы токов во всем диапазоне скоростей вращения ротора шагового двигателя. Дополнительно предлагаемая архитектура позволяет реализовать алгоритм, обладающий свойствами энергоэффективности и высокопроизводительности, поскольку аппаратный модуль ШИМ реализован таким образом, что позволяет отключать отдельные транзисторы в целях сохранения энергии на обмотках двигателя.

## Литература

1. Чистяков М.Г. Анализ способов управления шаговыми двигателями как основы разработки алгоритмов работы микроконтроллера системы управления // XVI международная молодежная научно-техническая конференция «Научоёмкие технологии и интеллектуальные системы 2014»: Сборник докладов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 23-24 апреля 2014г. – с. 149-153.
2. SLA7060M THRU SLA7062M Unipolar stepper-motor translator/drivers / Allegro MicroSystems LLC // Datasheet – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Sanken/Datasheets/SLA7060M-SLA7061M-SLA7062M-Datasheet.ashx> - Проверено 26.01.2015.
3. AN822. Stepper Motor Microstepping with PIC18C452 / Microchip Technology Incorporated Chandler // Application note – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00822a.pdf> - Проверено 26.01.2015.
4. EP 2 296 087 B1. Microcontroller instruction set / Microchip Technology Incorporated Chandler // European patent specification – Date of publication: 16.03.2011 – 125p.
5. К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств /под общ. редакцией В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. 568 с. (серия: Информатика в техническом университете, второе издание).
6. L298 - Dual full-bridge driver / STMicroelectronics // Datasheet – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000240.pdf> - Проверено 26.01.2015.
7. L6210 - Dual schottky diode bridge / STMicroelectronics // Datasheet – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000091.pdf> - Проверено 26.01.2015.

---

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ  
(*НШ-2903.2014.9*)

# МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ БИБЛИОТЕКИ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Дельцов И.Л.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, Макаrchук В.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Российская Федерация

*Руководитель группы проектирования ИМС Морозов С.А.*

НИИ Системных исследований РАН, Москва, Российская Федерация

## THE METHODS OF TESTING STANDARD CELL LIBRARIES FOR THE VLSI DESIGN ON THE EFFECTS OF HEAVY CHARGED PARTICLES

Deltsov I.L.

*Supervisor: candidate of technical science, reader Makarchuk V.V.*

MSTU named after N.E. Bauman, faculty IU4, Moscow, Russia

*Head of group of design IC Morozov S.A.*

SRI of System Analysis RAS, Moscow, Russia

### Аннотация

Рассмотрена методика проведения испытаний стандартных элементов библиотеки проектирования СБИС при воздействии тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ). Предложены рекомендации по разработке алгоритма исследования и сравнительного анализа элементов библиотеки КНИ КМОП СБИС на устойчивость к указанным эффектам.

### Abstract

The article considers the methods of testing standard cell libraries for the VLSI design when exposed to heavy charged particles. Present recommendations for the development of algorithm research and comparative analysis of the standard cell library SOI CMOS VLSI for resistance to these effects.

### Введение

К специализированным СБИС, применяющимся в бортовой аппаратуре космических аппаратов, предъявляются особые требования по надежности и устойчивости к воздействию спецфакторов. Чтобы проектировать такие СБИС необходимо в первую очередь добиться надежности и устойчивости библиотеки стандартных КМОП-элементов, на базе которых эта СБИС разрабатывается.

Актуальность работы определяется необходимостью разработать алгоритм и методологию моделирования элементов библиотеки с целью выявления в ее составе таких элементов, которые не удовлетворяют условиям построения на них специализированных СБИС. Такой подход позволит классифицировать элементы библиотеки по реакции на воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ): подверженные сбою, большим вносимым задержкам, полностью устойчивые и т.д. Выявление уязвимых мест в схемотехнике стандартных элементов библиотеки позволяет предложить меры по их защите, увеличению сбоеустойчивости и надежности.

В настоящей статье приводится метод и алгоритм практической реализации моделирования некоторых логических устройств на воздействие, так называемых эффектов однократного действия, то есть прохождения тяжелой заряженной частицы через область отдельного транзистора в этой схеме.

## **1 Общие сведения о тяжелых заряженных частицах и вызываемых ими сбоях**

СБИС, функционирующие в условиях космического пространства, испытывают значительное радиационное воздействие. В настоящее время они проектируются на элементах с субмикронными размерами, а потому имеют меньшие емкости в узлах, меньшую величину заряда для хранения информации, а также меньшие рабочие напряжения и токи. Все эти эффекты отрицательно сказываются на устойчивости микросхемы к радиационным воздействиям[1]. Эти воздействия обусловлены тяжелыми заряженными частицами космического происхождения, способные вызвать различные сбои в работе схемы, даже частица с относительно малой энергией может привести к непоправимым сбоям.

Все специализированные СБИС, применяемые в бортовой аппаратуре, работающей в условиях космического пространства, по стойкости к внешним воздействующим факторам разделяют на два класса [2]:

- по стойкости к накопленной дозе ионизирующего излучения;
- по стойкости к эффектам однократного действия или единичным событиям.

В полупроводниковых приборах, испытывающих длительное радиационное воздействие, существенно изменяются их электрические характеристики, что приводит к постепенному отказу аппаратуры, в которой они работают: изменяется пороговое напряжение, токи утечки, потребляемая мощность, а также временные характеристики.

Эффект однократного действия – это эффект, связанный с прохождением единичной заряженной частицы через объем кремния. Заряженная частица проходит через полупроводниковый материал, генерируя в нем дополнительные электронно-дырочные пары (свободные носители заряда), в результате чего возникает импульс тока, который может привести к сбою в работе всего библиотечного элемента. Основные источники этих эффектов – космическое излучение, содержащее протоны, нейтроны и тяжелые ионы, а также альфа-частицы [3].

## **2 Методика проведения моделирования элементов библиотеки для проектирования СБИС в условиях воздействия тяжелых заряженных частиц**

Для того чтобы провести сравнительный анализ уровня стойкости различных элементов библиотек к воздействию ТЗЧ, необходимо провести моделирование эффектов однократного действия.

При проведении неспециализированного анализа функционирования какой-либо схемы за основу берутся стандартные используемые в данной схеме модели транзисторов. Для этих моделей на реальных структурах получены все необходимые параметры, а отклонение этих значений относительно реальных не превышает 5%. Параметры импортируются в модель транзистора, а она, в свою очередь, подключается к анализируемой схеме. Результатом моделирования становятся на достаточном уровне достоверные данные: значения токов и напряжений во всех узлах схемы в определенный момент времени при известных входных воздействиях и параметрах.

В случае испытания электрической схемы на единичные воздействия ТЗЧ моделирование несколько усложняется. В данном случае, как и при обычном неспециализированном моделировании, за основу берется модель транзистора, на котором построен исследуемый логический элемент и его измеренные параметры. Но при этом, ключевым фактором, реализующим в модели результаты воздействия ТЗЧ на МОП-транзистор, является специальная подключаемая библиотека, содержащая описание единичного воздействия на него, которое рассчитывается по определенной методике в специализированной САПР [4] и содержит в себе величину тока, возбуждаемого в каждой из областей (затворе, истоке, стоке и «теле») МОП-транзистора при прохождении через него некоторой частицы, от времени пролета этой частицы через тело транзистора. В модели воздействие реализуется идеальными источниками тока, подключаемыми к областям

транзистора и генерирующими ток в соответствии с описывающей данную область транзистора при определенных параметрах воздействия функцией. Сгенерированные воздействием ТЗЧ в каждой из областей МОП-транзистора импульсы тока, складываясь в узлах с номинальными рабочими токами, распространяются по схеме и могут привести к ее ложным переключениям. Функциональная схема моделирования МОП-транзистора на воздействие ТЗЧ приведена на рисунке 1. Функции генерируемых в каждой из его областей токов при пролете ТЗЧ приведены на рисунках 2-5.

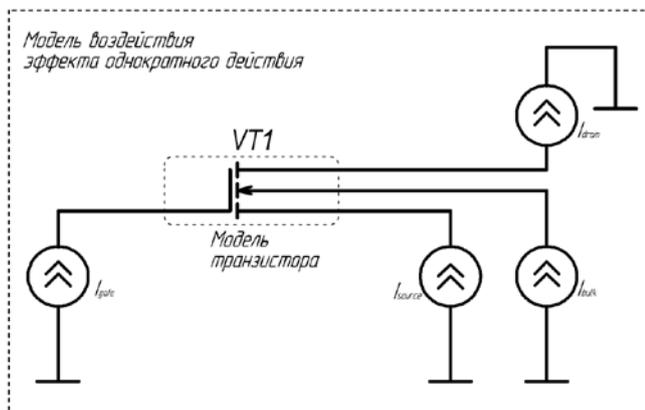


Рисунок 1 – Функциональная схема моделирования МОП-транзистора на воздействие эффекта однократного действия

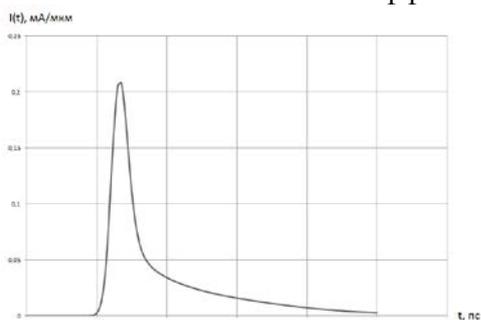


Рисунок 2 – Временная зависимость импульса тока, генерируемого в истоке МОП-транзистора при попадании в него иона аргона с энергией 500 МэВ, для случая логической «1» на затворе и стоке и логическом «0» на истоке и контакте к «телу» транзистора

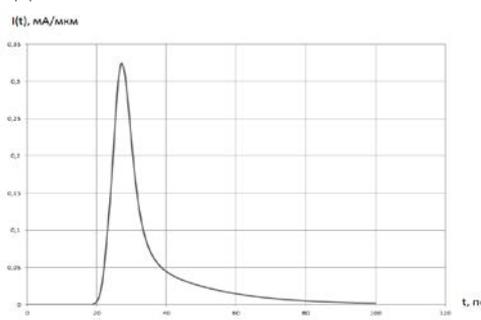


Рисунок 3 – Временная зависимость импульса тока, генерируемого в стоке МОП-транзистора при попадании в него иона аргона с энергией 500 МэВ, для случая логической «1» на затворе и стоке и логическом «0» на истоке и контакте к «телу» транзистора

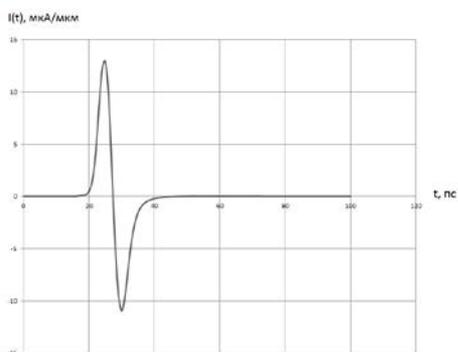


Рисунок 4 – Временная зависимость импульса тока, генерируемого на затворе МОП-транзистора при попадании в него иона аргона с энергией 500 МэВ, для случая логической «1» на затворе и стоке и логическом «0» на истоке и контакте к «телу» транзистора

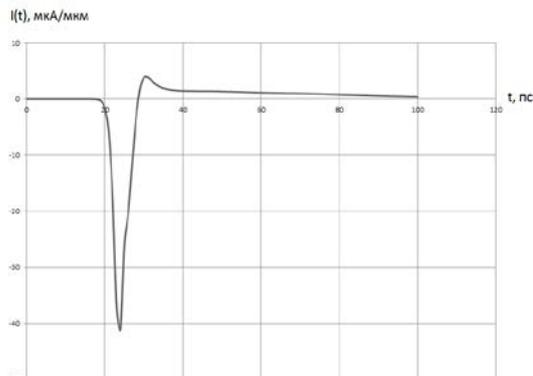


Рисунок 5 – Временная зависимость импульса тока, генерируемого на контакте к «телу» МОП-транзистора при попадании в него иона аргона с энергией 500 МэВ, для случая логической «1» на затворе и стоке и логическом «0» на истоке и контакте к «телу» транзистора

Данные временные зависимости (рисунок 2) рассчитаны для всех комбинаций напряжений на внешних контактах транзистора, соответствующих уровням логического «0» и «1». Расчет единичного воздействия проводится при различных исходных данных, таких как тип внедряемой частицы, её энергия, угол пролета, образованный с горизонтальной поверхностью пластины, и координаты точки, в которой произошло проникновение тяжелой заряженной частицы в транзистор. Выходные характеристики могут существенно отличаться при различных исходных данных.

### 3 Основные факторы при разработке алгоритма моделирования электрических схем

При проведении полного и максимально корректного моделирования уровня стойкости различных элементов библиотеки и отборе тех из них, которые обладают достаточной или повышенной относительно других элементов сбоеустойчивостью, верным решением будет исследование на воздействие ТЗЧ всех транзисторов в каждом из элементов и вентилях библиотеки.

Для возможности наиболее полно оценить каждый элемент библиотеки важно определить конкретные допустимые рамки и значения для результатов моделирования. То есть необходимо задаться такими параметрами, как максимально возможная задержка распространения сигнала или максимально допустимое время паразитного переключения, не распространяющегося в схему.

В случае специализированных СБИС, к которым предъявляются дополнительные требования к режиму работы, например, функционирование при повышенной температуре окружающей среды и при снижении напряжения питания, моделирование и анализ получаемых результатов необходимо проводить, учитывая эти возможные условия работы будущей микросхемы.

В случае последовательных устройств – триггеров и любых элементов, обладающих памятью, появляется дополнительная сложность в необходимости воспроизведения всех возможных состояний, в которых может находиться данное последовательное устройство, так как от этого зависит, произойдет сбой при прочих равных условиях или нет.

В качестве примера полученных результатов приведем временные диаграммы при моделировании относительно простого D-триггера на воздействие ТЗЧ. Принципиальная схема триггера и схема его моделирования приведены на рисунках 6 и 7 соответственно.

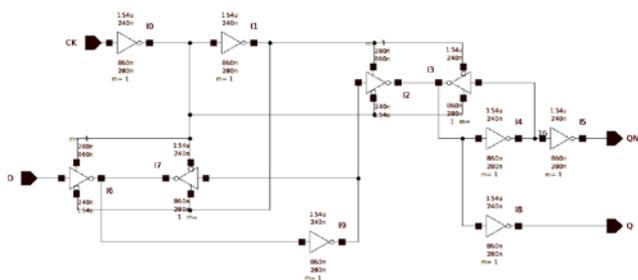


Рисунок 6 – Принципиальная схема исследуемого триггера

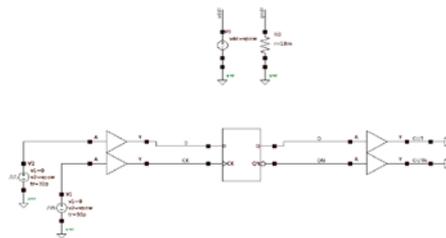


Рисунок 7 – Принципиальная схема моделирования триггера

Пусть воздействию ТЗЧ подвергается  $n$ -канальный МОП-транзистор в инверторе I9. Для воспроизведения разных возможных состояний моделирование проводится для двух случаев входных импульсов – период тактирующего сигнала СК в два и четыре раза короче периода управляющего сигнала D, соответственно. Напряжение питания схемы – номинальное 3.3 В, температура окружающей среды 27°C. Временные диаграммы, представленные на рисунках 8-13, иллюстрируют как пример сбоя, распространившегося по

схеме, так и пример сохранения верного значения на выходе D-триггера после воздействия ТЗЧ.

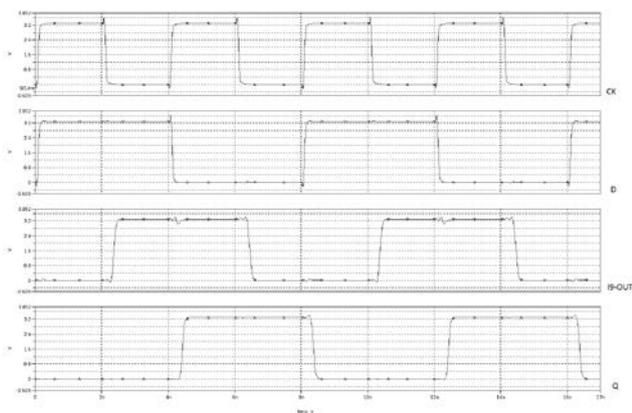


Рисунок 8 – Временные диаграммы триггера при отсутствии воздействия,  $D=2CK$



Рисунок 9 – Временные диаграммы триггера при отсутствии воздействия,  $D=4CK$



Рисунок 10 – Временные диаграммы триггера под воздействием тяжелой заряженной частицы, не приведшей к сбою

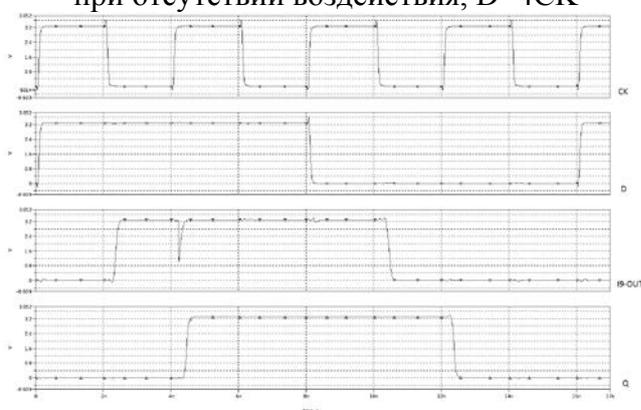


Рисунок 11 – Временные диаграммы триггера под воздействием тяжелой заряженной частицы, не приведшей к сбою



Рисунок 12 – Временные диаграммы триггера под воздействием тяжелой заряженной частицы иллюстрирующие сбой

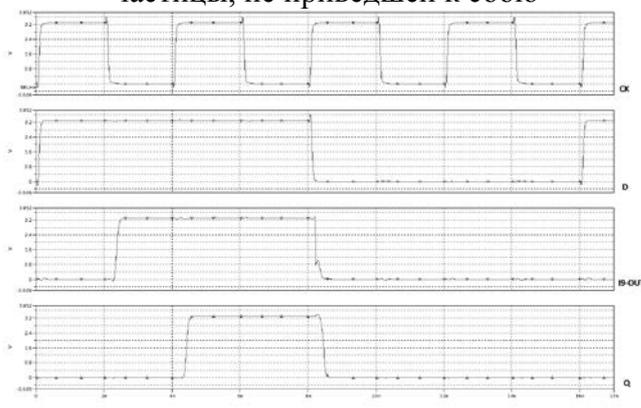


Рисунок 13 – Временные диаграммы триггера под воздействием тяжелой заряженной частицы иллюстрирующие сбой

Из приведенных временных диаграмм видно, что в зависимости от входных управляющих сигналов результат моделирования существенно меняется. Однократная импульсная помеха в одном случае может привести к сбою, а в другом – не внести существенных изменений в функционирование D-триггера. Как видно из диаграмм наиболее опасным случаем для него является момент перехода тактирующего сигнала из состояния логического «0» в «1», то есть момент «защелкивания» D-триггера.

Библиотеки стандартных элементов для проектирования СБИС, как правило, насчитывают в себе до 200 и более элементов. Поэтому при необходимости ее проверки на

воздействие ТЗЧ возникают сложности в структурировании выходных данных и их анализе. Также необходимо отметить, что подобное моделирование связано со значительными временными затратами.

### **Заключение**

Описаны методы и принципы схмотехнического моделирования библиотеки стандартных элементов на воздействия эффектов однократного действия. Даны рекомендации к разработке алгоритма исследования целой библиотеки стандартных элементов КМОП СБИС на сбоеустойчивость к воздействию ТЗЧ. Показаны сложности, возникающие при этом исследовании. В продолжение данной работы необходимо разработать автоматизированную систему для моделирования и анализа КМОП-библиотеки.

Предложенную методику предполагается взять в качестве основы для создания автоматизированного программного комплекса, который позволил бы исследовать библиотеку КНИ КМОП СБИС на воздействие тяжелых заряженных частиц.

### **Литература**

1. С.А. Морозов, С.А. Соколов. Радиационные эффекты при воздействии тяжелых заряженных частиц КНИ СБИС и способы их моделирования. // Труды НИИСИ РАН. Математическое и компьютерное моделирование систем: прикладные аспекты. Т.1. №2. – Москва, Издательство «НИИСИ РАН», 2011. – с. 47-51.
2. LABEL K. et al. Commercial Microelectronics Technologies for Applications in the Satellite Radiation Environment. In: <http://flick.gsfc.nasa.gov/radhome.htm>, Nov. 1999.
3. O'BRYAN M., LABEL K., REED R., BARTH J., SEIDLECK C., MARSHALL P., MARSHALL C., CARTS M. Single Event Effect and Radiation Damage Results for Candidate Spacecraft. – IEEE NSREC Conference, 1998.
4. Глушко А.А., Родионов И.А., Макаручук В.В. Возможности моделирования технологических процессов изготовления субмикронных КМОП СБИС с помощью современных систем TCAD // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. №4. С.32-34.

---

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 15-07-03116).

# УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Денисенко Н.А.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Лавров А.В.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## THE CONSTRUCTION OF EMERGENCY BRAKE ASSIST SYSTEM

Denisenko N.A.

*Supervisor: candidate of technical science, docent Lavrov A.V.*

MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматриваются устройство системы автоматического экстренного торможения, факторы, влияющие на срабатывание системы. Также предложен вариант упрощенного устройства для радиуправляемой модели автомобиля.

### Abstract

In this article the construction of emergency brake system and factors causing activation of this system are clearly reviewed. The example of the simplified device for a car model is given.

### Введение

С каждым днем в мире растет количество личного автотранспорта, как следствие увеличивается, к сожалению, количество дорожно-транспортных происшествий. Возникает проблема создания большого спектра различных устройств помощи водителю. Но далеко не каждый способен приобрести дорогой автомобиль, оборудованный всеми нужными приспособлениями. Стоит задача создания универсального модуля помощи водителю, который был бы довольно недорогим и мог использоваться в различных автомобилях.

## 1 Существующие системы автоматического экстренного торможения

Каждая система автоматического экстренного торможения основана на других системах активной безопасности – адаптивном круиз-контроле и системе курсовой устойчивости.

Адаптивный круиз-контроль позволяет забыть об использовании педали подачи топлива в дальних поездках. Он как и простой круиз-контроль позволяет зафиксировать заданную скорость, но в отличие от предшественника может подстраивать скорость движения в зависимости от дорожной ситуации [1].

Система курсовой устойчивости позволяет избежать заноса автомобиля посредством контроля момента силы каждого колеса. Например, если при прохождении поворота возник занос задней части транспортного средства, то система включает тормоз на переднем колесе, идущему по наружному радиусу, создавая момент противовращения, исключая боковой занос.

Система автоматического экстренного торможения использует радар и видеокамеру для обнаружения впереди идущего автомобиля или какого-либо препятствия. В случае вероятной аварии система реализует частичное или максимальное тормозное усилие, которое в свою очередь либо замедляет, либо полностью останавливает транспортное средство.

Известные системы автоматического экстренного торможения [2]:

- Pre-Safe Brake на автомобилях Mercedes-Benz;
- Collision Mitigation Braking System на автомобилях Honda;
- City Brake Control на автомобилях Fiat;
- Active City Stop и Forward Alert на автомобилях Ford;
- Forward Collision Mitigation на автомобилях Mitsubishi;

- City Emergency Brake на автомобилях Volkswagen;
- Collision Warning with Auto Brake и City Safety на автомобилях Volvo;
- Predictive Emergency Braking System от Bosch;
- Automatic Emergency Braking от TRW.

Все перечисленные системы обладают функцией предупреждения водителя об опасности столкновения. Поэтому их иногда называют превентивными системами безопасности.

## 2 Факторы, которые необходимо учитывать при создании системы автоматического экстренного торможения

Система автоматического экстренного торможения должна «чувствовать» момент, когда нужно помочь водителю. Для этого она должна просчитывать все обстоятельства, которые влияют на длину тормозного пути (а в данном случае именно это понятие актуально, так как исключается понятие времени реакции водителя и, как следствие, использование понятия остановочного пути, которое учитывает длину тормозного пути и расстояние, которое проходит автомобиль за время реакции водителя, не целесообразно)[3].

На этот параметр непосредственное влияние оказывают следующие условия:

- Скорость движения транспортного средства;
- Скорость сближения с объектом, представляющим опасность;
- Погодные условия.

Согласно требованиям Правил Дорожного Движения, действительным на территории Российской Федерации, тормозной путь автомобилей с исправной тормозной системой не должен превышать 12,2 м (при скорости 40 км/ч на горизонтальном участке дороги с ровным, сухим, чистым цемент- или асфальтобетонным покрытием)[4].

Для обеспечения безопасности тормозной путь должен быть меньше этой величины. В качестве среднего показателя принимают 11 м при скорости 40 км/ч.

Тормозной путь транспортного средства высчитывается согласно следующей формуле:

$$S_T = V_n \cdot t_{ср} + \frac{V_n^2}{2a_T} \quad (2.1)$$

Где  $V_n$  – начальная скорость автомобиля,  $t_{ср}$  – время срабатывания тормозных механизмов,  $a_T$  – замедление автомобиля.

При движении по сухому покрытию принимают замедление автомобиля порядка  $6 \text{ м/с}^2$ , по мокрому –  $4 \text{ м/с}^2$ , а по обледенелому –  $2 \text{ м/с}^2$ . Время срабатывания тормозных механизмов в районе 50 – 70 мс.

Составим таблицу зависимости длины тормозного пути от скорости транспортного средства:

Таблица 2.1 - Зависимость длины тормозного пути от начальной скорости автомобиля

Начальная скорость, км/ч	Тормозной путь в зависимости от покрытия, м		
	Сухое	Мокрое	Обледенелое
30	6	9	17
40	11	15	31
50	16	24	48
60	23	35	69
70	31	47	94
80	41	62	123
90	52	78	156
100	64	96	192

Важно, чтобы система автоматического экстренного торможения определяла безопасную дистанцию до впереди идущего автомобиля и при ее уменьшении корректировала тормозное усилие таким образом, чтобы расстояние между транспортными средствами было больше максимального тормозного пути при данных погодных условиях.

### 3 Создание упрощенной модели системы автоматического экстренного торможения

Для создания реальной системы автоматического экстренного торможения требуются тщательные расчеты с учетом данных конкретных автомобилей, на которых будет рассчитано устройство. Для того, чтобы понять механизм работы, решено сделать аналоговое устройство для использования в радиоуправляемой модели автомобиля.

Так как задача была несколько облегчена, уменьшилось и количество факторов, влияющих на срабатывание системы. В данном случае на модели не установлена тормозная система, а торможение достигается отключением ходовой части от двигателя, поэтому тормозной путь составляет меньше 0.5 метра.

Устройство должно сообщать об опасном сближении с объектом и при попадании в критическую область (меньше 0.75 метра) разрывать соединение двигателя и ходовой части.

Если учесть, что у модели скорость постоянна (что соответствует использованию круиз-контроля в реальном транспортном средстве), то амплитуда сигнала, который приходит с датчика расстояния, будет линейно возрастать. Поэтому при моделировании устройства использовался пилообразный сигнал.

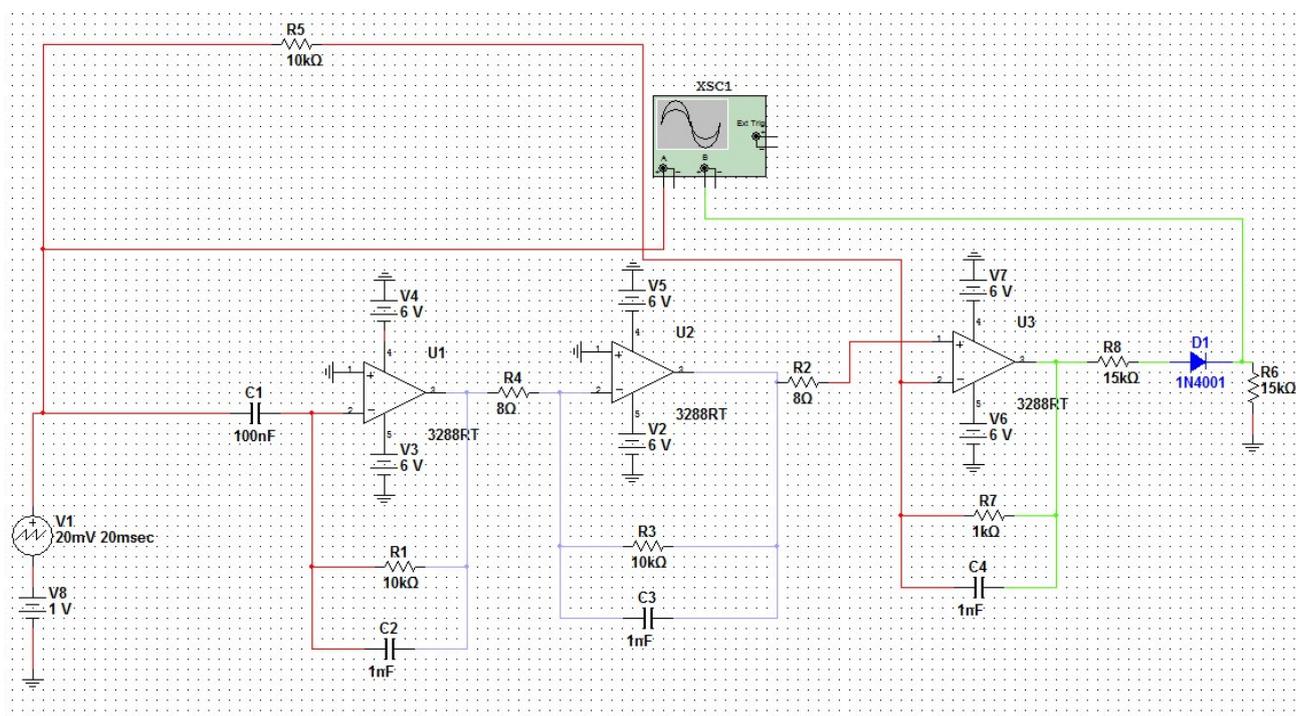


Рисунок 3.1 – Модель устройства в Multisim

Устройство состоит из дифференциатора, который получает на вход данные с датчика расстояния и высчитывает скорость сближения, усилителя, который умножает полученную скорость сближения на некоторый коэффициент, который устанавливает зависимость между скоростью движения транспортного средства и безопасным тормозным путем, и компаратора, сравнивающего расстояние до объекта с безопасной дистанцией при данной скорости сближения.

Когда расстояние до приближающегося объекта будет меньше безопасной дистанции (сигнал, поступающий на вход будет достаточно велик по амплитуде), на выходе устройства появляется сигнал, который служит в качестве индикации опасного сближения.

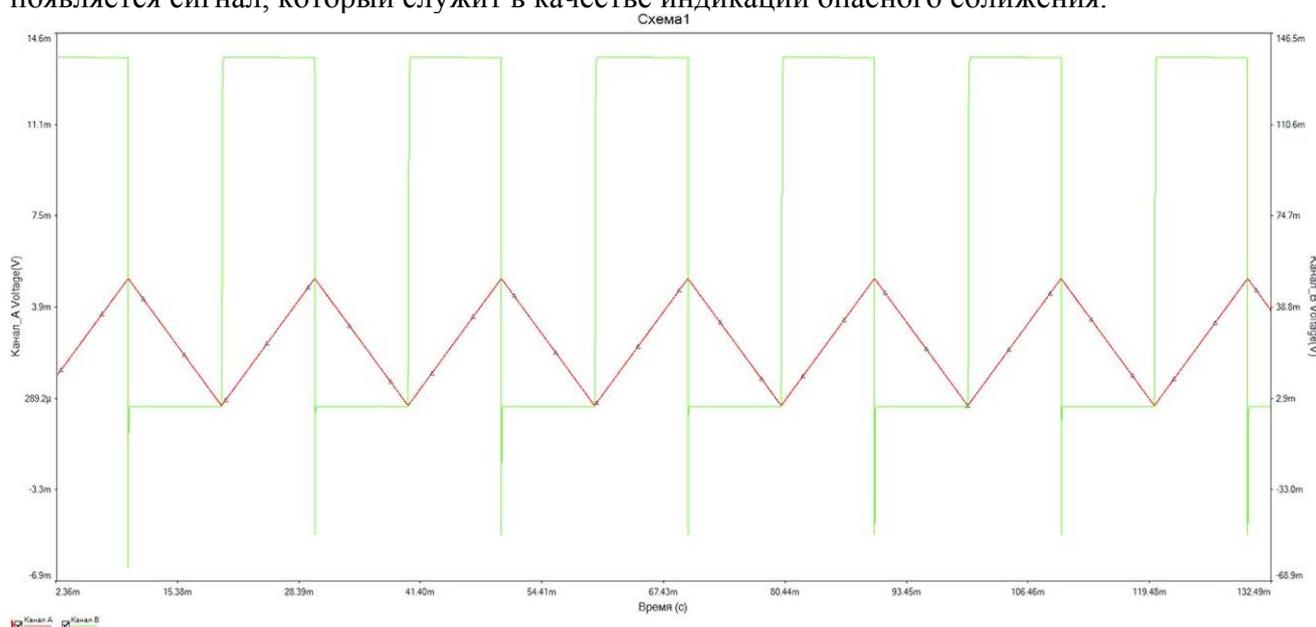


Рисунок 3.2 – Реакция модели устройства на пилообразный сигнал

Как видно из рисунка 3.2, система срабатывает как только датчик расстояния выдает сигнал о появлении опасности в зоне его действия. На выходе устройства появляется сигнал, сигнализирующий о необходимости торможения.

## Заключение

Экспериментальная модель нуждается в доработке, так как многие условия не учитываются. Но этого достаточно, чтобы создать систему индикации для радиоуправляемой модели автомобиля. Для более точной передачи расстояния в виде визуальной индикации желательно подключение микроконтроллера с несколькими светодиодами, зажигающимися по мере приближения к объекту.

## Литература

1. <http://all4wd.ru/adaptivnyy-kruiz-kontrol-printsip-raboty-ustroystvo>
2. [http://systemsauto.ru/active/brake\\_assist.html](http://systemsauto.ru/active/brake_assist.html)
3. <http://www.autocentre.ua/ac/practice/driving-school/distantiya-kak-faktor-bezopasnosti-4526.html>
4. ГОСТ Р 51709-2001 "Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки".

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ 3D-НАВИГАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Дубовик Н.Н., Ногин О.А., Туманов В.М., Лагута А.Е.  
*Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. Камышная Э.Н.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## RESEARCH PROBLEMS 3D- NAVIGATION DUE TO SPATIAL RESTRICTION

Dubovik N.N., Nogin O.A., Tumanov V.M., Laguta A.E  
*Supervisor: Ph.D. Kamisnaja E.N.*  
MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

Данная статья посвящена исследованию проблемы навигации внутри современных зданий со сложной структурой. В первой части работы проведен анализ технических средств решения данной проблемы – существующих систем навигации, а также рассмотрены их основные достоинства и недостатки. Во второй части приведены выводы и пример разработанной системы, которая обладает всеми необходимыми качествами для упрощения ориентации внутри зданий. Далее даётся обзор алгоритмов, которые составляют математическую основу будущей системы и обзор приложений для создания трёхмерной графики.

### Annotation

This article is devoted to research of a problem of navigation in modern buildings with difficult structure. In the first part of work the analysis of technical means of the solution of this problem – the existing systems of navigation is carried out, and also their main dostoyinstvo and shortcomings are considered. Conclusions and an example of the developed system which possesses all necessary qualities for simplification of an orintation in buildings are given in the second part. Further the review of algorithms which make a mathematical basis of future system and the review of applications for creation of three-dimensional graphics is given.

### Введение

В настоящее время обозначилась проблема навигации внутри помещений различных зданий, а также предоставления посетителям услуг, основанных на их местоположении (LBS – Location-based service) и предпочтениях. Здания становятся всё более объёмными и имеющими сложную структуру. В сооружениях подобного типа уверенно могут ориентироваться лишь те, кто в них побывал много раз, однако и они, чаще всего, ориентируются в зданиях лишь частично, в пределах своих нужд. Первоначальное же освоение может быть довольно затруднительным, а также есть немалое количество людей, у которых вообще нет нужды посещения определённых мест более, чем несколько раз. Очевидно, что, например, тратить час времени на поиск кабинета врача будет нецелесообразным и грозить опозданием на приём, не говоря уже об опозданиях на рабочее или учебное место. Поэтому возникает необходимость в инструменте, который поможет пользователю максимально быстро и без лишних усилий добраться до нужного ему пункта назначения.

Решения, применяемые в indoor-навигации (навигации внутри помещений), помогают и в ориентировании вне зданий, на улице – там, где в условиях плотной застройки использование систем спутниковой навигации затруднено (нет спутников в прямой видимости, присутствует только отражённый/ослабленный/зашумленный сигнал GPS/Глонасс и т.д.). Особенно эта проблема актуальна для Японии с высокой плотностью городской застройки.

В связи с ростом указанных выше характеристик здания (объём и сложность структуры), некоторые методы уже не так эффективны, как раньше. Например, настенные планы теряют наглядность, если этаж здания имеет большую площадь и включает в себя большое количество помещений. Трудно взглянуть сразу на всё изображение и соотнести его

с действительностью. Ситуация также может быть усугублена тем, что этажи могут иметь различную структуру. Тогда для каждого из них придётся составлять свой план, и объём информации, которой необходимо оперировать мысленно, возрастёт до неприемлемых величин. Есть и другой подход к ориентации внутри зданий: настенные указатели. Однако, они зачастую не могут указать путь к конкретному пункту назначения. Чаще они используются для указания местоположения типовых пунктов, среди которых: справочная, магазин, пункт оказания первой помощи и пр. При попытке создать универсальную систему настенных указателей, возникнет проблема, аналогичная проблеме настенных планов, т.е. пользователю предоставляется не минимум необходимой информации, а полная информация о здании, которую необходимо самостоятельно анализировать.

Поэтому решением проблемы должна быть автоматическая система, которая будет:

- единая система, состоящая из терминала, мобильного приложения и сайта;
- использование 3D – карт;
- расширение до системы дополненной виртуальной реальности.

## 1 Системы навигации и их параметры

Современный рынок навигационных систем предоставляет пользователю немалый перечень средств для навигации. Однако, большая часть из них предоставляет возможности для определения местоположения и проложения маршрута к необходимому пункту назначения лишь по открытой местности. К таким средствам можно отнести:

- GPS (Global Positioning System) ;
- Galileo (Галилео) ;
- Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС);
- NAVIMIND.

**GPS (Global Positioning System)** — спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая местоположение во всемирной системе координат WSG 84. Система позволяет определить положение и скорость объектов практически при любой погоде, практически во всех областях земного шара и околоземном пространстве, за исключением некоторых приполярных областей [1].

В случае спутниковой навигации (GPS/Глонасс) существуют сервисы OutDoor, благодаря которым вы узнаете о ближайших кафе/ресторанах/гостиницах и т.д. благодаря тому, что известно ваше текущее местоположение. А благодаря сервисам indoor-навигации вы сможете без проблем и оперативно найти ближайшую стойку регистрации в здании аэропорта, экспонат в музее (+сразу отобразится его описание на экране вашего телефона), отдел и полку с нужным вам товаром в магазине (больше не придется тратить часы на поиск всех нужных товаров в магазине), свободное место на парковке, и многое другое. Типичный пример – аудиогиды. Приходите в музей, берете аудиогид, и каждый раз вынуждены искать по номеру нужный экспонат, вводить его номер в устройство и слушать его описание. В случае применение indoor-навигации, всё производится автоматически – просто подойдите к заинтересовавшему вас экспонату, и его описание начнет проигрываться без дополнительных телодвижений с вашей стороны. Никаких сложностей и потери времени, всё просто.

Также, благодаря indoor-навигации появляются новые инструменты для маркетинга – проходя мимо вашего магазина, человек может моментально узнать о проводимых у вас акциях/мероприятиях/предоставляемых услугах, товарам, благодаря всплывающему сообщению на экране своего телефона (так называемом “Geo-fencing”, причём предложенные ему предложения будут учитывать его интересы – т.к. можно учитывать информацию о его прошлых покупках), либо просто получить уведомление при приближении к определенному месту (второе направление indoor-навигации, называемое «Geo-aware»), а вы – получать статистическую информацию («тепловые карты» посетителей – своеобразный и очень мощный offline-аналог Google Analytics), основанные на

перемещениях клиентов внутри ваших торговых залов (понять, какие отделы и товары пользуются повышенным интересом – очень легко). Рынок подобной геоконтекстной рекламы (LBA – location-based advertising) уже измеряется миллиардами долларов, и с развитием систем indoor-навигации ожидается его стремительный рост.

Благодаря большим коммерческим перспективам, направление indoor-навигации становится всё более востребованным и уже привлекло внимание таких крупных игроков на рынке, как Google, Apple, Qualcomm, Broadcom, Sony и т.д., и в это, без сомнения, перспективное направление уже инвестируются сотни миллионов долларов.

**Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС)** - советская и российская система спутниковой навигации. Инициатором создания является Министерство Обороны СССР. Вторая из действующих спутниковых систем навигации[2].

Предоставляет возможности для ориентации на суше, в воздухе и в море. Также, как и GPS, предоставляет различные возможности для различных пользователей. Так, спутники излучают сигналы двух типов: открытые обычной точности и защищённые повышенной точности. Последние доступны только авторизованным пользователям, к числу которых принадлежит и Министерство Обороны РФ. Открытые сигналы имеют право принимать и использовать в своих целях любые пользователи по всему земному шару на безвозмездной основе (на основании указа президента РФ).

Точность позиционирования системы колеблется, но в среднем наблюдается ухудшение точности по сравнению с GPS на 1-2 метра. Так, в условиях, когда погрешность GPS составляет 2-4 метра, ГЛОНАСС даёт погрешность в 3-6 метров. Совместное использование систем даёт погрешность не более 2-3 метра. В планах точность позиционирования для ГЛОНАСС составит 1.4 метра в 2015 г., 0.6 метра в 2020 году с дальнейшим уменьшением погрешности до 10 см. По некоторым наблюдениям, ГЛОНАСС обеспечивает большую точность навигации в северных широтах, причиной чему служит соответствующее расположение орбит спутников. Также, для повышения точности позиционирования используются станции дифференциальной коррекции.

**Galileo (Галилео)** - совместный проект Евросоюза и Европейского космического агентства по созданию спутниковой системы навигации. В настоящий момент находится на стадии формирования спутниковой группы. Полный запуск ожидается в 2014-2016 гг. Имеются проблемы с навигационными приборами, совместимыми с данной системой: их количество на данный момент невелико. Система создаётся для решения геодезических и навигационных задач.

Данная система имеет серьёзное преимущество перед своими главными конкурентами (ГЛОНАСС и GPS): Галилео не зависит ни от какого военного ведомства. Однако, это не означает, что система не будет использоваться странами Европы в военных целях. Предполагается, что точность навигации составит до 30 см в районе низких широт, и до 1 м в полярных районах. Обеспечена данная точность атомными часами на спутниках системы и их более высокой орбитой, по сравнению со спутниками GPS.

Система будет предоставлять следующие службы:

- открытая общая служба - бесплатный сигнал для навигации, точность которого приближена к сигналам действующих систем;
- служба повышенной надёжности - предоставляются гарантии получения сигнала и предупреждения о снижении точности;
- коммерческая служба - кодированный сигнал повышенной точности, предоставляемый за отдельную плату;
- правительственная служба - передача высокоточного и особо защищённого сигнала. Круг пользователей строго контролируется;
- поисково-спасательная служба - сервис, физические основы которого отличаются от таковых в других сервисах: обычно, пользователь по сигналам от спутников определяет их местоположение относительно себя, а поскольку положение спутников известно, то возможно рассчитать своё местоположение.

Экспериментальная технология **NAVVIS** позволяет разрешить проблему навигации внутри зданий. Разработана в Мюнхенском техническом университете, основана на множественной съёмке фотографий помещения и сканирования его лазерными приборами. По полученным данным возможно построить 3d модель помещений.

Для определения местоположения внутри здания с подготовленной картой, нужно сделать фотографию и подать её на вход системы (проще всего это сделать с помощью смартфона или планшетного ПК). Система сравнивает полученную фотографию с имеющимися в базе данных, и выдаёт предполагаемое местонахождение клиента. Поскольку обстановка в здании может меняться, то существует необходимость в регулярном обновлении базы данных фотографий.

В рассмотренных системах навигации, специализированных для работы в зданиях, применяются обычные двумерные карты. Но здания, для которых уже требуются автоматические системы навигации, представляют собой сложные трёхмерные структуры. Принимая во внимание этот факт, можно прийти к выводу о большей пригодности для этих систем динамических трёхмерных моделей здания, главным свойством которых будет наглядность представления. А из этого проистекают следующие преимущества:

Для пользователя будет облегчена задача собственного позиционирования: бегло просмотрев модель здания, он сможет узнать место, в котором находится. Конечно, в удобстве данный подход уступает другим методам позиционирования, но требует минимум аппаратного обеспечения (точки доступа Wi-Fi, шагомеры, инерциальные и прочие сенсоры не требуются). Указание пути возможно выполнить несколькими способами, из которых пользователь сможет выбрать наиболее удобный для себя. Плоские карты указывают путь единственным способом: в виде траектории, которой приходится следовать буквально. Запомнить путь в таком виде и воспроизвести его мысленно будет затруднительно.

Таким образом, обоснована необходимость разработки навигационной системы внутри зданий на основе трёхмерной модели с возможностью проложения маршрута между двумя произвольными пунктами. В связи с чем, возникает необходимость в выборе средств визуализации трёхмерных моделей и методов построения оптимального маршрута.

## **2 Система ИНС**

### **2.1 Преимущества системы**

В этом разделе проанализируем о преимуществах ИНС, из чего состоит система, и благодаря чему она позволяет за минимальное время найти интересующий вас объект.

В данный момент мы заканчиваем внедрение ИНС В МГТУ им Н.Э. Баумана, поэтому рассматривать всю систему будем на примере нашего технического университета.

Что из себя представляет ИНС? Во первых, это единая система, состоящая из нескольких подсистем, которая позволяет пользоваться всем арсеналом функций на максимальном количестве устройств: терминал, планшет, смартфон, web и т.д., (Рисунок 1). Это достигается благодаря выбранным технологиям, которые позволяют получить не только красивый и удобный интерфейс взаимодействия с пользователем, но и эффективную систему, обеспечивающую высококлассную навигацию по выбранному объекту, в данном случае по МГТУ им. Н.Э. Баумана.



Рисунок 1 – Работа единой системы на разных устройствах

Во вторых, в системе используются 3D-карты, так как только они могут удовлетворить требованию качественной и понятной прокладки маршрута. Зачастую в зданиях со сложной архитектурой 2D – карты не помогают, а наоборот вносят путаницу. Рассмотрим эту проблему на примере аудитории 501Ю: Ее расположение на 2D карте показано на рисунке 2:

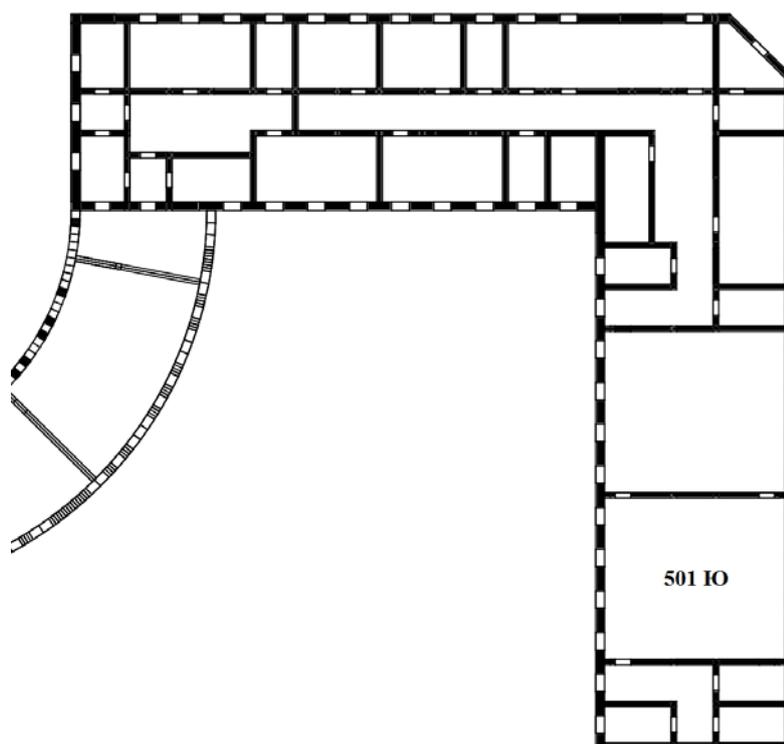


Рисунок 2 – 2D карта 5 этажа южного крыла– аудитория 501 Ю

Проход к этой аудитории напрямую через центральную часть здания невозможен, так как все переходы закрыты. Попасть в аудиторию 501 Ю можно только поднявшись снизу и только по одной - единственной лестнице (рисунок 3):

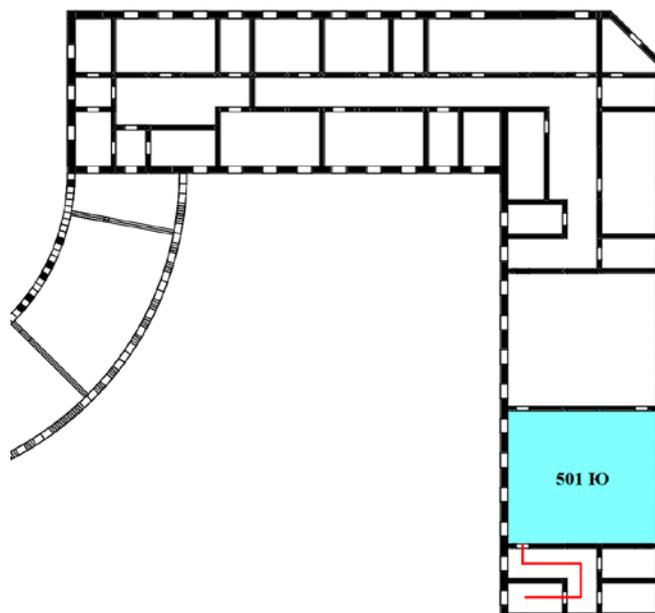


Рисунок 3 – 2D карта 5 этажа южного крыла– путь к аудитории 501 Ю

Таким образом, студенты сталкиваются с другой проблемой: как найти эту самую лестницу? Попасть на нее так же довольно сложно: гарантированный проход есть только на 3 этаже. В итоге студенты вынуждены терять свое время, несколько раз бегать по разным лестницам только лишь для того, чтобы найти нужную. А 3D карты с легкостью решают эту проблему, наглядно показывая весь путь до необходимой аудитории

## 2.2 Архитектура и виды обеспечений ИНС

Для обеспечения работоспособности сервиса на максимальном количестве устройств было принято решение использовать Web-технологии. В их число входят – HTML5, CSS3, Javascript. Но это лишь скелет программной составляющей. Для реализации необходимых функций используется огромное количество фреймворков и библиотек для Javascript'a. Так же для требуемой визуализации используется графическая библиотека WebGL(наследник OpenGL для Web-интерфейса с помощью HTML5-canvas).

Методом графической визуализации выбран OpenGL (англ. Открытая графическая библиотека) — спецификация, определяющая независимый от языка программирования программный интерфейс (API) для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику.

На базовом уровне, OpenGL — это спецификация, документ, который описывает предоставляемые функции и их точное поведение. Этот документ предназначен для производителей оборудования, например, графических акселераторов, для создания ими реализаций — библиотек работающих функций, которые соответствуют описанным в документации. Иногда возникают ситуации, когда не все функции могут быть реализованы аппаратно, оборудование не позволяет, в таком случае, это должно быть сделано программно. Реализация от производителя должна пройти тесты на соответствие, в случае успеха она будет официально признана реализацией OpenGL. Данная процедура позволяет прикладным программистам эффективно использовать функции этого интерфейса независимо от оборудования, не переучиваясь при смене оборудования, и не беспокоясь об эффективности реализации: это остается за производителем оборудования.

На сегодняшний день имеются эффективные реализации OpenGL для большинства платформ: Windows, семейство Unix, в т.ч. Mac OS. Обычно, их авторы — это производители видеоадаптеров. Причём возможности последних используются очень эффективно этими реализациями.

OpenGL работает как конвейер, который принимает на вход графические примитивы (точки, линии, многоугольники), производит математическую обработку оных, и строит растровую картинку на дисплее или её представление в памяти. Все функции OpenGL, за редким исключением, относятся к одной из двух групп:

OpenGL предоставляет достаточно низкоуровневый интерфейс, это вынуждает программиста диктовать точную последовательность шагов для получения картинки на экране, т.н. императивный подход. Противоположность ему — дескрипторный подход, при котором вся сцена передаётся на обработку в виде какой-либо структуры с информацией, чаще всего, древовидной. Императивный подход более сложен и требует знаний законов компьютерной графики, однако предоставляет большую свободу и возможности.

OpenGL представляет большой интерес ввиду следующих своих достоинств:

- независимость от языка программирования;
- кроссплатформенность — реализации OpenGL имеются практически для всех;
- программно-аппаратных платформ;
- открытость и, как следствие, доступность и бесплатность
- средств разработки для OpenGL.

В таблице 2.1 приведен сравнительный анализ алгоритмов построения оптимального маршрута, которые могут использоваться для системы графов

Таблица 2.1 - Сравнение алгоритмов построения оптимального пути

№	Алгоритм	Входные данные	Асимптотика	Выходные данные
1	Дейкстры	Основной граф, начальная позиция	$O(n^2)$	Кратчайший маршрут от начальной вершины до всех остальных
2	Бэллмана-Форда	Основной граф, начальная позиция	$O(n^3)$	Кратчайший маршрут от начальной вершины до всех остальных
3	Левита	Основной граф, начальная позиция	$O(\log(n))$	Кратчайший маршрут от начальной вершины до всех остальных

В создаваемой системе используется алгоритм Дейкстры — алгоритм на графах, изобретён нидерландским учёным Э. Дейкстрой в 1959 году. С его помощью можно найти кратчайшее расстояние от одной вершины графа до любой другой. Неприменим к графам с ребрами, имеющим отрицательный вес.

Формальное определение задачи, которую решает данный алгоритм: Дан взвешенный (ребрам которого сопоставлено значение — вес ребра) ориентированный (ребра имеют направление) граф  $G(V, E)$  без петель и дуг отрицательного веса. Необходимо найти кратчайший путь от заданной вершины  $a$  до всех остальных вершин графа  $G$ .

Основы алгоритма: каждая вершина имеет т.н. метку — расстояние, которое необходимо преодолеть, чтобы попасть в эту точку из стартовой, и пометку о посещении данной вершины. Начальные значения меток определяются только у вершин-соседей стартовой вершины. Метки остальных можно принять за бесконечность т.е. перемещение невозможно.

Работает алгоритм пошагово: на каждом шаге выбирается вершина с наименьшей меткой, и совершается перемещение в неё (вершина при этом обозначается как посещённая). Далее происходит пересчёт меток всех остальных вершин, кроме посещённых. Для каждой из таких вершин новое значение метки определяется так: вычисляется сумма текущей метки (куда в последний раз было совершено перемещение) и расстояния от текущей вершины до

соседней (для которой и вычисляем новое значение). Если это значение оказалось меньше старого значения метки, то присваиваем его, иначе оставляем старое

Шаги повторяются до тех пор, пока остаются непосещённые вершины. Если ищется кратчайший путь между двумя конкретными вершинами, то остановка происходит при посещении конечного пункта.

### **Заключение**

Созданная информационно-навигационная система решает сразу несколько важных задач, связанных с проблемами навигации в зданиях со сложной архитектурой, получения информации о внутренних распорядках объекта, а также объединение наиболее существенных возможностей (функций) в одной системе. Благодаря использованию кроссплатформенного ПО, взаимодействовать с ней возможно практически с любого устройства.

### **Литература**

1. Камышная Э.Н., Маркелов В.В., Соловьев В.В. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры: Учебное пособие. – М. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
2. Андреев К.А., Власов А.И., Камышная Э.Н., Тиняков Ю.Н., Лавров А.В. Автоматизированная пространственная оптимизация компоновки блока управления датчика давления по тепловому критерию // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2013. № 6 (18). - С. 51.
3. Камышная Э.Н., Курносенко А.Е., Иванов Ю.В. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ 3D-MID ТЕХНОЛОГИЙ // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2013. № 11 (23). - С. 15.
4. Камышная Э.Н., Маркелов В.В., Соловьев В.В. Формальное представление электрических принципиальных схем для решения задач автоматизированного проектирования электронной аппаратуры: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 44, [4] с.
5. Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры: Учебное пособие / Григорьев В.П., Камышная Э.Н., Нестеров Ю.И., Никитин С.А. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 48 с.
6. Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачов. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
7. Алексеев В.Г., Камышная Э.Н., Усачев В.П. Автоматизированная компоновка схем ЭВА и РЭА по конструктивным модулям первого уровня: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1988. – 40 с.

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ

**Ечеистов В.В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## CONCEPT DEVELOPMENT OF PRECISION CAPACITY MEASURING DEVICE

**Echeistov V.V.**

*Supervisor: Ph.D., Assoc. Prof., Vlasov A.I.*  
MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматривается концепция устройства для измерения емкости, обладающего следующими свойствами: точность, компактность, дешевизна. Подробно исследован принцип измерения емкости, составляющий основу разработки на примере возможного схмотехнического решения. Кратко представлена оценка размеров устройства, затрат на изготовление, пределов возможностей. В заключении представлены рекомендации по расширению функционала устройства.

### **Annotation**

The article describes the concept of capacitance measuring device, that will be cheap, precise and compact. The principle of capacitance measurement, which was taken as a basis, was deeply studied. Assessment of the size, the cost of manufacture and limits of opportunities were briefly shown. Recommendations for functional expansion where shown in conclusion.

### **Введение**

При работе в сфере электроники очень часто возникает потребность в измерении емкости конденсаторов – будь то дефектовка неисправных устройств, или же проверка исправных – для выяснения отклонений от номиналов. В связи с этим возникает задача выбора средств измерений. Можно использовать лабораторные измерители емкости или не особо точный, но в то же время очень компактный мультиметр. Цель: разработать устройство, которое должно быть точным, недорогим и компактным (не более 100 x 50 мм).

## **1 Выбор методики измерения емкости**

С опорой на справочник В.А. Кузнецова «Измерения в электронике» была составлена классификация методов измерения емкости (Рисунок 1).

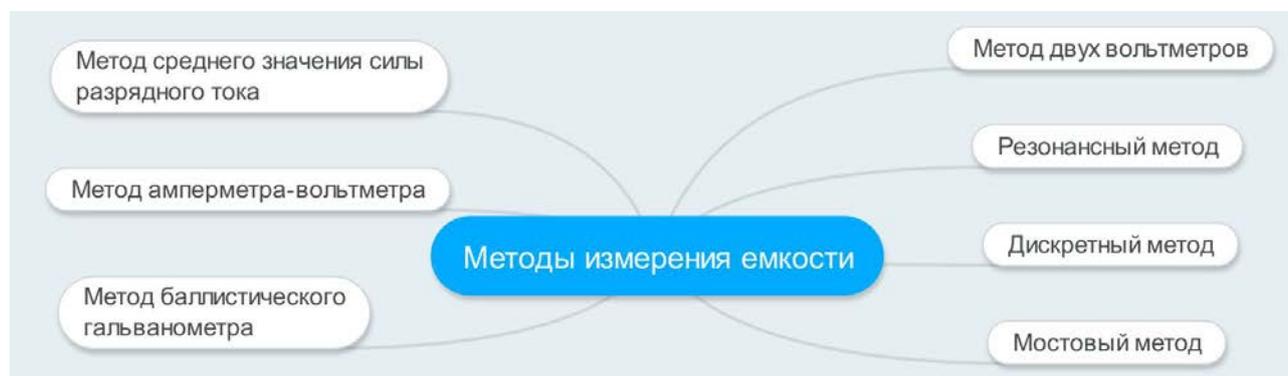


Рисунок 1 – Классификация методов измерения емкости

Для поставленной цели наиболее подходящим является дискретный метод, отличающийся самой высокой точностью измерения – именно его и решено было выбрать в качестве основы работы.

Структурная схема дискретного измерителя изображена на рисунке 2. Перед началом очередного цикла измерения устройство управления фиксирует ключ в верхнем положении и конденсатор  $C_x$  заряжается через резистор  $R_{огр}$  от источника постоянного напряжения  $U$ . В момент начала измерения устройство управления обнуляет счетчик импульсов, переводит ключ в нижнее положение и устанавливает триггер в единичное состояние. Импульсы с генератора импульсов через схему совпадения (логический элемент И) поступают на счетчик импульсов. Конденсатор  $C_x$  разряжается через резистор  $R_{эт}$  и, как только напряжение на нем станет равным  $U_c$  (см. формула (1)), компаратор переведет триггер в нулевое состояние и импульсы перестанут поступать на счетчик импульсов. Емкость конденсатора  $C_x$  пропорциональна числу импульсов, поступивших на счетчик.

$$U_c = \frac{UR_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

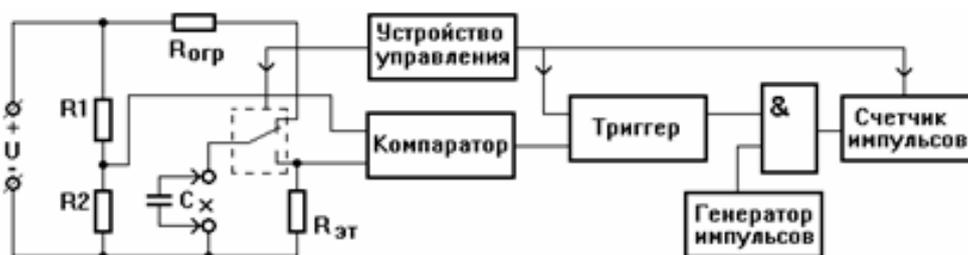


Рисунок 2 – Структурная схема прибора, основанного на дискретном методе измерения

Среди условий обеспечения точности устройства следует отметить требование к стабильности напряжения  $U$  в течение одного цикла измерения, а также - к стабильности частоты генератора импульсов.

## 2 Концепция устройства на базе микроконтроллера PIC16F88

В качестве вычислительного ядра устройства был выбран микроконтроллер PIC16F88, обладающий двумя аналоговыми компараторами, программируемым источником опорного напряжения, несколькими таймерами. Данный микроконтроллер также является недорогим и его производительности хватает для поставленной задачи. Эскиз принципиальной схемы устройства изображен на рисунке 3.

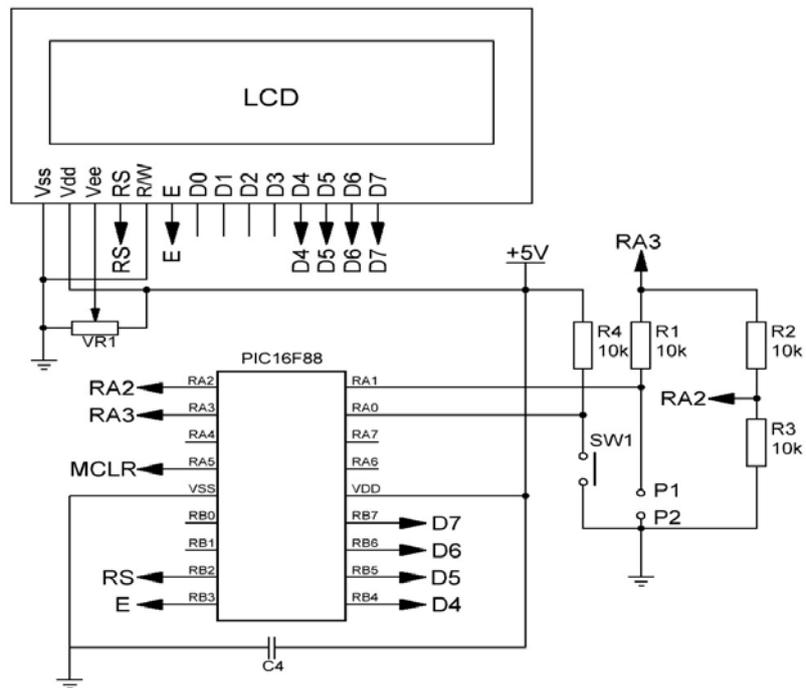


Рисунок 3 – Эскиз принципиальной электрической схемы устройства

В предложенном варианте реализации микроконтроллер выполняет сразу множество функций: устройство управления, триггер, компаратор, генератор импульсов, элемент 2И, счетчик импульсов, таймер. Это и обуславливает экономию места и энергопотребления, а также низкую стоимость.

### Заключение

Рассмотренный дискретный метод измерения обладает высокой точностью измерения (менее одного процента), но это далеко не предел: с развитием полупроводниковой элементной базы в рамках данного проекта можно достичь точности десятых и сотых долей процента.

В связи с маломощностью устройства возникает ограничение на максимальную емкость: около 10 мкФ, что в дальнейшем планируется усовершенствовать путем добавления в схему нескольких режимов работы, основанных на последовательном подключении к испытываемому конденсатору откалиброванных делителей емкости.

Размеры устройства чуть более чем 80 х 40 мм. Ценовой диапазон измерительного устройства лежит в пределах нескольких сотен рублей.

### Литература

1. Искусство схемотехники: В 3-х томах. Пер. с англ.– 4-е изд. перераб. и доп.– М.: Мир, 1993. – ISBN 5-03-002337-2. – Т. 1–3.
2. Микушин А. В. Занимательно о микроконтроллерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 432 с. – ISBN 5-94157-571-8
3. Кузнецов В.А. Измерения в электронике. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.

# КУБИК РУБИКА, КАК МОДЕЛЬ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ

**Фирян А.А. , Пасканний С.А.**

*Научный руководитель: Резчикова Е.В.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## RUBIK'S CUBE, AS A MODEL OF HUMAN-MACHINE SYSTEM

**Firyar A.A. Paskanniy S.A.**

*Supervisor: Rezchikova E.V.*

MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье кубик Рубика рассматривается как модель человеко-машинной системы. Кратко представлены основные характеристики человека-оператора в системах "Человек-машина".

### **Annotation**

In the article Rubik's Cube considered as a model of human-machine system. Summarizes the main characteristics of the human operator in the system "man-machine".

### **Введение**

Кубик Рубика — механическая головоломка, изобретённая в 1974 году венгерским скульптором и преподавателем архитектуры Эрнё Рубиком для развития пространственного воображения своих студентов. На протяжении многих лет к нему относились как к игрушке, и люди всех возрастов с увлечением занимались ею. Однако накопленный опыт и развитие когнитивных технологий создали предпосылки для того, чтобы рассматривать кубик Рубика как интеллектуальный тренажер, моделирующий человеко-машинную систему.

Головоломка представляет собой куб ( $3 \times 3 \times 3$ ). Кубик состоит из 26 элементов, способных вращаться вокруг 3 внутренних осей куба. Каждая грань состоит из девяти квадратов и окрашена в один из шести цветов, в одном из распространённых вариантов окраски, расположенных парами друг напротив друга: красный — оранжевый, белый — жёлтый, синий — зелёный; но в различных вариантах кубика Рубика грани окрашены в разные цвета совершенно различным образом. Повороты граней позволяют отсортировать цветные квадраты множеством различных способов. Задача заключается в том, чтобы «собрать кубик Рубика»: поворачивая грани куба, вернуть его в первоначальное состояние, когда каждая из граней состоит из квадратов одного цвета[1].

С точки зрения математики, кубик Рубика является трехмерной моделью для иллюстрации задачи выбора в заданном множестве допустимых или возможных решений. Это задача Хигмана о конечно порожденных группах вычислимых перестановок. Для 6-ти цветного кубика  $3 \times 3 \times 3$  количество возможных цветовых комбинаций равно 43,252,003,274,489,856,000 и есть только 1 правильное решение. Оно заключается, как известно, в таком распределении фрагментов кубика, при котором каждая его грань окрашена в один из 6 цветов. Минимальное число ходов, за которое собирается кубик Рубика  $3 \times 3$  из любого положения, теоретики кубика называют "числом бога". Поначалу было получено число 52 в июле 1981 года, а уже в июле 2010 – 20. Для сборки кубика из всех начальных положений супер-компьютеру потребуется около 3000 лет. За счет симметрии многих положений и переводов в другие позиции, количество разных начальных позиций можно сократить до 56 млн. Чтобы проверить все позиции потребовалось 35 лет, которые любезно предоставила компания GOOGLE. Таким образом методом перебора с использованием сложнейших алгоритмов было доказано, что число бога = 20.

Кубик Рубика вскоре после его создания быстро распространился в разных странах и множество людей с энтузиазмом искали наилучшие способы решения задачи. Статистика показала, что человек каким-то образом решает эту задачу за время, существенно меньшее,

чем то, которое требуется на полный перебор всех вариантов. Кому-то требуется месяц, кому-то меньше.

Английский профессор Д. Сингмайстер считает, что человек, не знающий правил сборки кубика, но умеющий логически мыслить, может собрать кубик Рубика за две недели, если, конечно, не будет прохладиться. А вот натренированный человек соберет его за 20-30 секунд. (<http://class-fizika.narod.ru/igr.htm>). Компьютер совершает операции с огромной скоростью, которая во много раз выше скорости мышления человека. Почему же компьютер находит алгоритмы сборки за годы и десятилетия, а человек за недели и месяцы? Все дело в уникальной организации мыслительных структур мозга, которые в настоящее время изучает современная когнитивная наука. Ее достижения позволяют надеяться, в частности, на решение проблем искусственного интеллекта.

Каков же метод сборки кубика Рубика? Существует много различных методик для сборки кубика Рубика, и каждая из методик состоит из множества алгоритмов. Будем рассматривать самую распространенную методику для тех, кто только учится собирать кубик.

Первый шаг в сборе кубика называется «Крест». Его смысл состоит в том, чтобы на одной из кубических граней (как правило, верхней) собрать крест, состоящий из 5 фрагментов. Для построения креста выбирается любой цвет, один фрагмент которого расположен посередине грани, и затем вокруг него строится крест. Методика сбора креста отличается в каждом конкретном случае, общей методики сбора креста нет. Для более быстрого сбора кубика необходимо сложить правильный крест, когда ветки креста имеют продолжение на следующих гранях, состоящее из двух одинаковых фрагментов кубика.

Второй и третий шаг являются похожими, так как оба эти шага нацелены на послойную сборку кубика: на втором шаге необходимо собрать сторону, на которой уже есть крест, полностью, то есть вся сторона должна быть одного цвета. И при этом нужно, чтобы фрагменты кубика по бокам образовывали пояс, расположенный около уже собранной грани. Третий шаг — продолжение второго, где нужно собрать второй пояс. Четвертый и пятый шаг являются зеркальным отражением первого и второго: на четвертом шаге необходимо собрать крест на стороне, противоположной той, на которой собирался крест на первом шаге, а на пятом шаге надо полностью собрать эту сторону. Теперь можно перейти к шагу шесть. На шестом шаге нужно расположить в правильном порядке угловые части кубика, чтобы все три их стороны подходили по цвету к граням. В таком случае можно перейти к седьмому, последнему шагу: куб уже почти собран, осталось только расположить боковые части кубика (у которых две грани) по местам, чтобы они соответствовали граням кубика. После этого кубик Рубика будет окончательно собран.

В практике работы с кубиком Рубика используют некоторые термины и понятия.

**АЛГОРИТМ** - набор инструкций, описывающих порядок действий игрока для достижения конечной позиции, которая является решением. Алгоритмом можно назвать весь набор операций по сборке кубика и конкретную формулу обеспечивающую достижение заданной позиции.

**МЕТОД** - совокупность приемов и операций как способ достижения определенных результатов в познании и практике. Применительно к практике кубика Рубика метод является результатом изысканий определенного человека и носит его имя. Практически все методы сборки кР - авторские.

Совокупность концептуально идентичных методов принято называть подходом. Среди них различают, в частности, послойную сборку и блоковую сборку.

**ФОРМУЛА** - это последовательность из первых букв слов, обозначающих грани кубика (Ф, В, Л, П). Буквы могут быть со штрихами. Алгоритм сборки кубика состоит из формул, которая меняет местами или поворачивает какие-либо кубики, не влияя на положение остальных.

Разные методики сравнивают по таким параметрам:

Первый – время, затрачиваемое на сборку кубика, второй – количество алгоритмов, требуемых для запоминания в рассматриваемой методике, третий - количество движений, необходимых

для решения головоломки. Чем больше формул в арсенале игрока, тем оперативнее он осуществляет сборку кубика из любого положения.

Кубик Рубика - уникальный феномен, который (наряду с шахматами, нардами и т.п.) демонстрирует разницу в принятии решений компьютером и человеческим мышлением. Поэтому многолетняя практика и современные достижения спидкубинга позволяют рассматривать сборку головоломки как человеко-машинную систему. При этом человек выполняет функции оператора, а кубик - машины.

### 1 Основные характеристики человека-оператора в системах "Человек-машина"

Основными характеристиками человека-оператора являются быстрдействие, точность, надежность. Оценкой быстрдействия оператора является время решения задачи, т.е. время от момента появления сигнала до момента окончания управляющих воздействий. Вместе с показателями быстрдействия технических элементов системы "человек-машина" этот показатель определяет быстрдействие всей системы. Оценкой его является время прохождения информации по замкнутому кругу "человек-машина".

$$T_{ц} = \tau_{оп} + \sum_{i=1}^n tm_i \quad (1)$$

где

$\tau_{оп}$  - время отработки информации (решение задачи управления) оператором;

$n$  - число звеньев машины;

$tm_i$  - время задержки информации в  $i$ -м звене машины.

Применительно к кубику. Задержка информации происходит при вращении слоя, а слой можно рассматривать как  $i$ -е звено машины.

При заданном времени цикла регулирования  $T_{ц}$  (исходя из общих технических требований к системе) и известных значениях  $tm$  требуемое быстрдействие оператора должно удовлетворять условию:

$$\tau_{оп} \leq T_{ц} - \sum_{i=1}^n tm_i = t_n \quad (2)$$

где

$t_n$  - лимит времени, отводимый оператору для решения задачи (полной сборки кубика). Для проверки выполнения условия нужно знать время  $\tau_{оп}$ , которое определяется либо экспериментально для реальных систем, либо расчетным путем для проектируемых систем с помощью методов прогнозирования времени решения задач оператором. Из них относительно простой - информационный метод. Он применяется на ранних этапах проектирования.

В основу информационного метода положена линейная зависимость между временем решения задачи оператором и количеством перерабатываемой информации:

$$\tau_{оп} = a + bN = a + N/V_{оп} \quad (3)$$

где

$a$  - скрытое время реакции,  $a = 0,2/0,6$  с;

$b$  - время переработки одной двоичной информации;

$N$  - количество перерабатываемой оператором информации;

$V_{оп}$  - скорость переработки информации оператором,  $V_{оп} = 2/4$  дв.ед./с.

Применительно к кубику. При работе оператора по заранее отработанному алгоритму его деятельность может быть представлена как совокупность последовательно осуществляемых реакций. Чем больше мы практикуемся, тем быстрее мы принимаем решение и обрабатываем поступающую информацию.

Время простой реакции  $\tau_{пр}$  определяется временем восприятия сигнала  $\tau_v$  и временем осуществления моторного акта  $\tau_m$ , связанного с движением руки к органу управления.

$$\tau_{пр} = \tau_v + \tau_m \quad (4)$$

Время сложной реакции отличается от времени простой временем, затрачиваемым на выбор нужного сигнала, принятие решения на осуществление управляющего воздействия.

$$\tau_{оп} = \tau_v + \tau_{реш} + \tau_{оу} + \tau_m, \quad (5)$$

где

$\tau_{реш}$  - время принятия решения;

$\tau_{оу}$  - время поиска и обнаружения нужного органа управления.

Каждое из слагаемых, входящих в (5), рассчитывают с помощью выражения (3).

Применительно к кубику. Когда знаешь для алгоритма несколько формул, то думаешь с какой бы начать. Особенно это проявляется тогда, когда ты только выучил новую формулу, по-хорошему, надо было бы использовать ее, но хочется делать старую, потому что ты знаешь, как делать быстро ее. Или когда знаешь быструю формулу для алгоритма, но надо делать, допустим, перехват (а это дополнительное время) и в то же время знаешь формулу, которая делается без перехвата, то начинаешь порой задумываться над тем, какую формулу использовать.

Предполагается, что есть контролируемый (осознаваемый) и автоматический уровни переработки информации (см. рис. 1), которые отличаются следующими особенностями:

автоматизированный:

- параллельная обработка,
- быстрая обработка
- минимальные ресурсы сознания

контролируемый:

- последовательная обработка
- медленно
- максимальное привлечение ресурсов сознания



Рисунок 1 – Уровни переработки информации

Возможности человека определяются тем, на каком уровне происходит эта переработка информации.

Точность работы оператора есть степень отклонения значения параметра, измеряемого оператором, от истинного, заданного значения. Количественно этот параметр оценивается погрешностью, с которой оператор измеряет данный параметр:

$$y = I_{п} - I_{ф} \quad (6)$$

где

$I_{п}$  - истинное значение параметра;

$I_{ф}$  - измеряемое, фактическое значение параметра.

Различают систематическую и случайную погрешности. Случайная погрешность оценивается среднеквадратической погрешностью, систематическая погрешность - значением математического ожидания отдельных погрешностей. Точность работы оператора зависит от многих факторов: характеристик сигнала, степени сложности задач, условий и темпа работы, индивидуальных особенностей, квалификации и др.

Применительно к кубику. Если наша задача- собрать кубик на количество ходов, то у нас есть время обдумать формулы, нас никто никуда не торопит, и мы сможем собрать кубик за минимальное количество ходов.

Если наша задача собрать кубик вслепую, то все зависит от того, как мы все запоем.

Надежность человека-оператора: характеризует его способность выполнять в полном объеме возложенные на него функции при определенных условиях; характеризуется безошибочностью, готовностью, восстанавливаемостью и своевременностью. Основным показателем безошибочности является вероятность безошибочной работы на уровне отдельной операции и на уровне полного алгоритма в целом. Вероятность безошибочного выполнения операций  $j$ -го вида и интенсивность ошибок, допущенных при этом, определяется как

$$P_j = (N_j - n_{\text{ош}j}) / (N_j \alpha_j) = n_{\text{ош}j} / (N_j T_j), \quad (7)$$

где

$N_j$ ,  $n_{\text{ош}j}$  - общее число выполненных операций  $j$ -го вида и допущенное при этом число ошибок;

$T_j$  - среднее время выполнения операций  $j$ -го вида.

Применительно к кубику. Если алгоритм переведен на автоматический уровень, т.е. выполняется по памяти рук, то шансы допустить ошибку сводятся к минимуму. Чем реже выпадает алгоритм при сборках, тем больше шанс, что вы не сможете воспроизвести формулу быстро или корректно, если конечно его не тренировать отдельно.

Вероятность безошибочного выполнения алгоритма при известных выполняемых операциях

$$k_{\text{ош}} = 1 - T_o / T, \quad (8)$$

где

$T_o$  - время, в течение которого человек не может принять поступившую к нему информацию;

$T$  - общее время работы человека-оператора.

Показатель восстанавливаемости определяется как вероятность исправления оператором допущенной ошибки:

$$P_{\text{исп}} = P_k P_{\text{обн}} P_{\text{и}}, \quad (9)$$

где

$P_k$  - вероятность выдачи сигнала схемой контроля;

$P_{\text{обн}}$  - вероятность обнаружения сигнала оператором;

$P_{\text{и}}$  - вероятность исправления ошибочных действий при повторном выполнении алгоритма.

Показатель своевременности характеризует вероятность выполнения задачи в течение времени  $\tau \leq t_{\text{л}}$ , где  $t_{\text{л}}$  - лимит времени, превышение которого рассматривается как ошибка. Эта вероятность

$$P_{\text{ош}} = P_{\tau \leq t_{\text{л}}} = \int_0^{t_{\text{л}}} f(\tau) d\tau, \quad (10)$$

где

$f(\tau)$  - функция распределения времени решения задачи человеком-оператором.

Показатели надежности системы "человек-машина" определяются через показатели надежности ее звеньев при определенных условиях. Для систем непрерывного типа показателем надежности является вероятность безотказного и безошибочного протекания

производственного процесса в течение времени. Такое возможно если: технические средства работают исправно; при их отказе оператор безошибочно и своевременно выполнил требуемые действия или допустив ошибки в своих действиях своевременно их исправил.

Применительно к кубику. При сборке кубика бывает правильный и неправильный "крест" в начале сборки [2].

## **2 Основные этапы процесса принятия решения**

Принятие решения является составной центральной частью деятельности человека оператора в системе управления. Процедура принятия решения включает формирование последовательности действий для достижения цели на основе преобразования некоторой исходной информации. К основным объективным и субъективным условиям, определяющим реализацию процессов решения в деятельности оператора, относят: наличие дефицита информации и времени, стимулирующих "борьбу" гипотез; наличие некоторой "неопределенной ситуации", определяющей борьбу мотивов у субъекта, принимающее решение; осуществление волевого акта, обеспечивающего преодоление неопределенности, выбор гипотезы, принятие на себя определенной ответственности. Условия принятия решения во многом зависят от степени неопределенности информации. Процедура принятия решения в различных ситуациях неопределенности будет иметь разный характер. Процесс принятия решений включает ряд стадий, определяющих содержание основных компонентов процесса - информационной подготовки решения и процедур принятия решения. Информационная подготовка решения на первой стадии представляет собой совокупность действий и операций по приему и обработке информации о внешней среде, состоянии системы управления, ходе управляемого процесса. Вторая стадия включает действия по анализу и оценке ситуации с помощью некоторой системы оценочных критериев и эталонов, которые определяют характер и направленность необходимых преобразований ситуации. Основная задача на этом этапе заключается в адекватном преобразовании концептуальной модели в модель проблемной ситуации, подлежащей решению. Третья стадия протекает в виде целенаправленных действий над исходными и преобразованными данными. В результате такого оперирования формируется более полное представление о предметном содержании ситуации, возможных направлениях ее развития. Четвертая стадия - это процедура выработки и принятия решения. На пятой стадии осуществляется реализация принятого решения путем выполнения определенных действий или отдачи соответствующих распоряжений.

Опытные игроки отмечают, что скорость управления кубиком Рубика достигается за счет того, что принятие решения о следующем шаге осуществляется в тот момент, когда производятся передвижения слоя на текущем шаге.

Для принятия решений оператором за минимальное время и/или при минимальном количестве операций, что очень важно в целом ряде случаев, можно разработать тренинг на базе КР. Простейшая человеко-машинная система на базе КР создает возможность изучения работы человеческого мозга как сложной системы (при соответствующем аппаратном обеспечении)

## **Заключение**

На примере модели человеко-машинной системы в виде кубика Рубика можно рассмотреть некоторые феномены мышления. Скорость срабатывания компьютера во много раз выше скорости работы мозга. Но мозг гораздо продуктивнее (что подтверждает и работа с кубиком) за счет системной организации, в частности параллельной обработки информации. Человек + кубик Рубика можно рассматривать как сложную систему, решающую как закрытые, так и открытые задачи. Ее основные признаки: самоорганизация, самообучение, адаптивность, фрактальность.

## **Литература**

1. Фирян А.А., Пасканый С.А. Сравнение логических методик для сборки кубика Рубика, 16 молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы». – М.: МГТУ, 2014. – С.173-176.
2. Роль систем отображения информации в процессе принятия решения – Электронный ресурс. - <http://works.tarefer.ru/55/100005/index.html>

# АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Горелов Д.В.

*Научный руководитель: доцент, канд. техн. наук А.И.Власов*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## ALGORITHMS OF AUTOMATIC NUMBER PLATE RECOGNITION VEHICLES

Gorelov D.V.

*Supervisor: Docent, Ph.D. Vlasov A.I.*  
MSTU, IU4, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматривается обработка изображений с камер видеонаблюдения для определения номерного знака транспортного средства. Рассмотрена потребность в разработке системы для распознавания номерных знаков. Определены методы обработки изображения для получения номерного знака. Определен способ для эффективного применения путем использования алгоритмов на основе нейронных сетей.

### Abstract

The article rasmattirvaetsya image processing with cameras to determine the license plate of the vehicle. Discussed the need to develop a system for recognizing license plates. Defined image processing techniques to obtain the license plate. Identify the methods for the effective application by using algorithms based on neural networks.

### Введение

Повсеместное внедрение информационных технологий во все сферы современной жизни создает требование считать систему обработки изображений с камер видеонаблюдения с последующим распознаванием каких-либо его частей, например, номерного знака автомобиля, является неотъемлемым ресурсом информационной системы. Потому что отдельно взятая информационная система, без каких-либо данных не имеет значения, она так же должна уметь трансформировать информацию об изображении, содержащее необходимые данные, из реального мира в информационную систему. Распознавать номерной знак можно как с помощью специального человека, так и с помощью компьютерного оборудования, которое будет идентифицировать автомобили по их номерным знакам (государственным регистрационным знакам) и затем помещать эти данные в информационную систему [1].

Исходя из этого, могут применяться различные методы распознавания номерных знаков транспортного средства, в различных сферах жизни [1 – 2] Автоматическое распознавание номеров широко применяется на предприятиях, которые ограничивают проезд на свою территорию. Во многих странах систему распознавания автомобильных номеров используют для контроля автомобильного движения. Передвижения каждого транспортного средства регистрируется в центральной базе данных и позволяет легко находить угнанные машины, а в час-пик помогает регулировать движение на загруженных городских магистралях.

### 1 Методы обработки изображений и распознавания их образов

Автомобильный номер это всего лишь черно-белое изображение, определяемое как функция  $f(x,y)$ , где  $x$  и  $y$  – это координаты точки внутри номера, а функция  $f$  определяется как яркость этой точки [3]. Поэтому имеется необходимость разрабатывать надежные математические алгоритмы, которые могли бы извлекать связанные данные из полученного изображения. Разработка системы обработки изображения, содержащего номер для

распознавания – это совокупность подзадач в области искусственного интеллекта, машинного зрения, распознавания образов и нейронных сетей.

Обработка изображения с камеры видеонаблюдения и последующее распознавание возможно с помощью различных методов. Наиболее распространенными методами распознавания изображений являются экстремально-корреляционные, статистические, структурно-лингвистические, геометрических инвариантов.

Идея экстремально-корреляционного решения сводится к вычислению корреляционной функции  $K(x,y)$  исходного изображения  $I(x,y)$  и изображения эталона  $\mathcal{E}(x,y)$ . Если в исходном изображении найдется фрагмент, идентичный  $\mathcal{E}(x,y)$ , то в этом месте  $I(x,y)$  возникнет локальный экстремум. Все поле корреляционной функции подвергают высокочастотной фильтрации для подавления шумов, размытых пиков и пороговым методом выделяют положение эталонного объекта. Недостатками экстремально-корреляционного метода являются высокая чувствительность к несовпадению масштаба, ориентации, яркости и значительный объем вычислений. Последний недостаток преодолевают путем параллельных вычислений, достигая высокой скорости из-за потери универсальности вычислителя.

Статистические методы основываются на идее сходства некоторых статистических характеристик (математического ожидания, дисперсии, моментов высшего порядка, гистограмм) изображения эталона и их проявлений на анализируемом изображении. Такой подход пригоден для решения задачи распознавания после того, как объект обнаружен, что само по себе остается проблемой. Кроме того, метод анализирует лишь часть содержащейся на изображении информации, игнорируя такие важные характеристики, как форма и структура. Метод оперирует небольшим числом сравнительно просто вычисляемых признаков, что делает его пригодным в частных случаях [4 – 5].

Сущность структурных методов заключается в выделении намрасознаваемом и эталонном изображениях некоторых признаков и их связей, кодировании признаков и связей на формальном языке и решении задачи идентичности семантических образов эталона и анализируемого изображения. В качестве признаков, например, могут использоваться фрагменты контурной линии изображения объекта, такие как прямые и дуги определенных направлений. Описываемый подход инвариантен к масштабу, повороту, яркости, однако сам процесс извлечения признаков из изображения остается проблемным и обычно решается субъективным вмешательством.

Метод геометрических инвариантов оперирует такими признаками изображения, как площадь фигуры и площадь выпуклой оболочки, длина периметра, величины углов смежных контурных линий, и их соотношениями в различных сочетаниях. Для выделения этих признаков эталон и анализируемое изображение подвергают бинаризации [6 – 8]. Метод может быть применен только в частных случаях.

Все перечисленные методы объединяет общая идея сравнения эталонного и анализируемого изображений непосредственно или через вторичные признаки. Вне зависимости от метода качество сравнения в сильной степени зависит от идентичности условий освещения и наблюдения анализируемого и эталонного изображений.

## 2 Принципы определения зоны номерного знака

Обнаружение границ и ранговая фильтрация. Мы можем использовать периодическую функцию свертки  $f$  с определенными типами матриц для обнаружения различных типов границ в изображении:

$$f'(x, y) = f(x, y) \tilde{*} m[x, y] = \sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} f(x, y) m[\text{mod}_w(x-i), \text{mod}_h(y-j)], \quad (2.1)$$

где  $w$  и  $h$  – размеры изображения, представленные функцией  $f$ ,  $\tilde{*}$  – обозначает двумерную дискретную операцию свертки [9].

Матрица свертки.

Каждое действие над изображением (или фильтрование изображения) определяется матрицей свертки. Матрица свертки определяет как конкретный пиксель зависит от соседних пикселей в процессе свертки. Отдельные ячейки в матрице представляют соседей, связанных с пикселями, находящимися в центре матрицы. Пиксель представлен ячейкой  $y$  (см. рисунок 2.1) в целевом изображении, и она зависит от пикселей  $x_0 \dots x_8$  исходя из следующей формулы [1]:

$$y = x_0 m_0 + x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + x_4 m_4 + \dots + x_8 m_8 \quad (2.2)$$

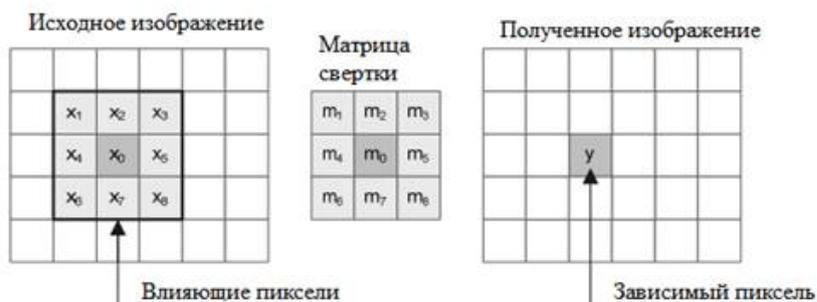


Рисунок 2.1 – Пиксель зависит от своих соседей на основе матрицы свертки

Обнаружение горизонтальных и вертикальных границ. Для определения горизонтальных и вертикальных границ, можно свернуть исходное изображения с помощью матриц  $m_{he}$  и  $m_{ve}$ . Матрицы свертки, как правило, гораздо меньше, чем само изображение. Кроме того, мы можем использовать большие матрицы для обнаружения грубых краев:

$$m_{he} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; m_{ve} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.3)$$

Обнаружение границ с помощью оператора Собеля. Оператор использует матрицы  $3 \times 3$ , с которыми сворачивают исходное изображение для вычисления приближенных значений производных по горизонтали и по вертикали. Пусть  $A$  исходное изображение, а  $G_x$  и  $G_y$  – два изображения, где каждая точка содержит приближенные производные по  $x$  и по  $y$ . Они вычисляются следующим образом:

$$G_x = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}; G_y = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

В каждой точке изображения приближенное значение величины градиента можно вычислить, используя полученные приближенные значения производных:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (2.5)$$

На практике, скорее рассчитать только приблизительно величины:

$$|G| = |G_x| + |G_y|. \quad (2.6)$$

Горизонтально и вертикально ориентированные ранговые фильтры.

Горизонтально и вертикально ориентированные ранговые фильтры часто используется для выявления кластеров с высокой плотностью ярких краев в области номерного знака. Ширина матрицы горизонтально ориентированного рангового фильтра гораздо больше, чем высота матрицы ( $w \ll h$ ), и наоборот, для вертикального рангового фильтра ( $w \gg h$ ). Для сохранения глобальной интенсивности изображения, необходимо, чтобы каждый пиксель будет заменен пикселем со средней интенсивностью в области, указанном в матрице рангового фильтра. В общем, матрица свертки должна удовлетворять следующим условиям:

$$\sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} m_{hr} [i, j] = 1, 0. \quad (2.7)$$

где  $w$  и  $h$  – размеры матрицы.

Горизонтальные и вертикальные проекции изображения. После серии операций свертки, мы можем обнаружить области номерного знака в соответствии со статистикой снимка. Существуют различные методы статистического анализа. Одним из них является горизонтальная и вертикальная проекции изображения на оси  $x$  и  $y$ . Вертикальная проекция изображения графа представляет собой общую величину изображения по оси  $y$  [10 – 11].

Если вычислить вертикальную проекцию изображения после применения фильтра вертикального обнаружения границы, то величина определенного момента представляет появление вертикальных границ в этой точке. Затем вертикальная проекция так измененного изображения может быть использована для вертикальной локализации номерного знака. Горизонтальная проекция представляет собой общую величину изображения, отображающегося на оси  $x$ .

Эвристический анализ и приоритетным выбором номерного знака кандидатов. В целом, захваченные снимки могут содержать несколько кандидатов на номерной знак. Из-за этого, алгоритм обнаружения всегда обрезает несколько полос, и несколько знаков с каждой полосой. Существует заданное значение максимального количества кандидатов, которые определяются на основе анализа прогнозов.

Есть несколько эвристических способов, которые используются для определения стоимости отобранных кандидатов в соответствии с их свойствами. Эти способы были выбраны специально во время практических экспериментов. Логика определения кандидатов сортирует в соответствии с их стоимостью от самых подходящих до наименее подходящих. Затем наиболее подходящих кандидатов анализируют более глубоким эвристическим способом. Более глубокий анализ определенно принимает или отклоняет кандидатуру. Поскольку существует необходимость анализа отдельных символов, этот тип анализа потребляет большое количество процессорного времени. Учитывая, возможности современных методов распараллеливания вычислений, данную операцию можно оптимизировать, используя параллельные вычисления.

Основная концепция анализа состоит из следующих шагов:

- 1) Обнаружение возможных кандидатов на номерной знак.
- 2) Сортировать их по их стоимости (определяется основным эвристическим способом).
- 3) Сокращение первого знака из списка с лучшей ценой.
- 4) Сегментировать и проанализировать его более глубоким анализом (емкая по времени операция).
- 5) Если глубокий анализ отказывается от данного варианта знака, вернуться к шагу 3.

### **3 Принципы сегментации зоны номерного знака**

Следующим шагом после выявления области номерного знака является сегментация знака. Сегментация является одним из самых важных процессов в автоматическом распознавании номерных знаков, потому что все дальнейшие шаги зависят от нее. Если сегментация не удастся, символ знака может быть неправильно разделен на две части, или два символа могут быть неправильно объединены вместе. Можно использовать горизонтальную проекцию номерных знаков для сегментации, или один из более сложных методов, такой как сегментация, с помощью нейронных сетей. Если мы предположим, что известна только одна строка знака, то сегментация выльется в процесс поиска горизонтальных границ между символами. На втором этапе сегментации производится расширение сегментов. Сегмент знака содержит, помимо символа и нежелательных элементов, таких как точки и растянутые области, а также как избыточные пространства по

бокам символа. Существует необходимость устранения этих элементов, и извлечь только сам символ [2].

Цель алгоритма сегментации является поиск пиковых значений, соответствующих пространствам между символами. Сначала необходимо определить несколько важных значений в графике горизонтальной проекции  $p_x(x)$ :

$v_m$  – максимальное значение, содержащиеся в горизонтальной проекции  $p_x(x)$ , например,  $v_m = \max\{p_x(x)\}$ ,  $0 < x < w$ , где  $w$  – ширина знака в пикселях,

$v_a$  – среднее значение горизонтальной проекции:

$$v_a = \frac{1}{w} \sum_{x=0}^{w-1} p_x(x),$$

$v_b$  – базовое значение для определения пиковой высоты, вычисляется как

$$v_b = 2v_a - v_m.$$

Алгоритм сегментации многократно находит максимальный пик на графике вертикальной проекции. Пик рассматривается как пространство между символами, если он отвечает некоторым дополнительным условиям, таким как высота пика. Затем алгоритм обнуляет пик и многократно повторяет этот процесс, пока не будет места для поиска.

#### 4 Извлечение признаков и нормализации символов

Распознать символ из растрового представления, необходимо извлечь дескрипторы такого изображения. Метода извлечения существенно влияет на качество целого процесса оптического распознавания, очень важно, чтобы извлечь признаки, которые будут инвариантны к различным условиям освещения используемого шрифта и деформации символов вызванного перекосом изображения. На первом этапе нормализации яркость и контрастность изображения обрабатываются посегментно. Символы, содержащиеся в сегментах изображения, должны быть изменены на единый размер (второй этап). После этого алгоритм извлечения признаков извлекает соответствующие дескрипторы из нормированных символов (третий шаг) [12].

#### 5 Распознавание символов

Выделив признаки символов, теперь их необходимо распознать. Цель методов распознавания состоит в получении вектора характеристик (так называемый шаблон), который всесторонне описывает символы, содержащейся в обрабатываемом растровом изображении [3]. Существуют разные методы распознавания, такие как нейронные сети, которые могут классифицировать модели в соответствующих классах. Символ может быть классифицирован и распознан с помощью алгоритма «simple nearest neighbor algorithm» применяемый к вектору извлеченных характеристик, или возможно использовать один из методов «умной» классификации, таких как feed-forward или нейронные сети Хопфилда [13 – 14]. Так же необходимо проводить дополнительный эвристический анализ, который используется для устранения с номеров элементов, не являющихся символами алфавита. Иногда процесс распознавания может не работать, или результаты распознавания могут содержать ошибки. Некоторые такие проблемы могут быть устранены проверкой синтаксиса распознанных номеров. Если мы имеем набор правил, по которым формируются автомобильные номера в определенной стране, то возможно провести реконструкцию дефектных номеров.

## Заключение

В статье были рассмотрены возможные методы обработки изображения, содержащие в себе номерной знак транспортного средства. Обработанное изображение используется для распознавания символов номерного знака, в свое время распознавание может быть осуществлено различными алгоритмами, основанных на нейронной сети.

## Литература

1. Ondrej Martinsky Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems [Текст] / B.Sc. Thesis. – Brno University of technology, faculty of information technology, department of intelligent systems, 2007. – 76 с.
2. Tran Duc Duan, Tran Le Hong Du, Tran Vinh Phuoc, Nguyen Viet Hoang “Building an Automatic Vehicle License-Plate Recognition System“, Febraury, 2005.
3. Иванов В.П., Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика [Текст] / Под ред. Г.М. Полищука. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.
4. Балухто А.Н., Бурый Е.В., Власов А.И. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений: Кн.7 / под ред. Галушкина А.И., Гуляева Ю.В. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
5. Буянов А.А., Власов А.И., Макеев С.С. Исследование нейросетевых алгоритмов, применяемых для распознавания образов // 2-ая Межд. Конф. СНГ «Молодые ученые – науке, технологиям и профобразованию для устойчивого развития: проблемы и новые решения». – Москва, октябрь, 2000. Часть 2, 3. 22 – 25 с.
6. Саймон Хайкин. Нейронные сети. Полный курс. – М.: Вильямс, 2005. – 1104 с.
7. Местецкий Л.М., Математические методы распознавания образов: Курс лекций. МГУ, ВМиК, кафедра «Математические методы прогнозирования», 2002 – 2004.
8. Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А., Кузнецов А.С. Нейрокомпьютеры: Архитектура и схемотехника // ChipNews, 2011. – №1. – 18-21 с.
9. Абрамов Е.С. Моделирование систем распознавания изображений: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01 СПб., 2006 – 140 с.
10. Демин А. А. Обзор интеллектуальных систем для оценки каллиграфии. Электронный научно – технический журнал «Инженерный Вестник», изд-во ФГБОУ ВПО МГТУ им Н.Э. Баумана, 2012.
11. Мищенко В.А., Модели и алгоритмы распознавания графических образов на основе нейронных сетей [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Мищенко Вадим Анатольевич; Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2013.
12. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания Москва Высшая школа, 1984. – 208 с.
13. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978 – 414 с.
14. Власов А. И. Конспект лекций по курсу «Системы искусственного интеллекта».

# АНАЛИЗАТОР СОДЕРЖАНИЯ ПАРОВ ЭТИЛОВОГО СПИРТА

Григорьев П.В.

*Научный руководитель: Цивинская Т.А., НОЦ «Наносистемы»,  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия*

## ANALYZER VAPOR CONTENT ETHANOL

Grigorev P.V.

*Supervisor: Training Wizard, SKB "Sensory systems", REC "Nanosystems", Tsivinskaya T.A.  
MSTU, Moscow, IU4 chair, Russia*

### Аннотация

В данной работе рассмотрены достоинства и недостатки полупроводниковых сенсоров, определяющих концентрацию паров этилового спирта в выдыхаемом человеком воздухе. Выявлены основные причины недостатков полупроводниковых сенсоров. Предложена принципиально новая методика измерения концентрации паров этилового спирта в выдыхаемом воздухе человека на базе технологии МЭМС.

### Abstract

This paper discusses the advantages and disadvantages of semiconductor sensors that determine the concentration of ethyl alcohol in the exhaled air, man. The basic reasons for the lack of semiconductor sensors. A principally new method of measuring the concentration of ethyl alcohol in the breath of man based on MEMS technology.

### Введение

**Актуальность работы:** сложность отношения людей к алкоголю и борьбы с его потреблением увеличивается тем, что он в очень малых количествах необходим организму и потому этиловый спирт синтезируется в организме. Известны ферменты, осуществляющие данный синтез. Нормальный уровень этилового спирта в крови здорового, трезвого человека составляет  $0,004 \div 0,01\%$ . В организме взрослого мужчины в сутки образуется в среднем около 10мл этилового спирта - 2 чайных ложки. Это так называемый эндогенный алкоголь.

**Целью проекта** является - анализ существующих решений по регистрации содержания паров этилового спирта в воздухе, выдыхаемым человеком, для определения количества алкоголя в организме. И разработка своего устройства, на основе проведенного мониторинга, с учетом выявленных недостатков аналогов.

### 1 Анализ анализаторов содержания паров этилового спирта

На рисунке 1 изображена обобщенная структурная схема алкотестера. Основные блоки прибора: сенсор со схемой обработки данных замера, схема управления работой прибора, сохранения и обмена информацией, элементы питания и микронасос принудительного забора воздуха. Такая конструкция является базовой. Основным узлом, определяющим параметры прибора, и по сути определяющим тип прибора является чувствительный измерительный элемент - сенсор. Сенсор - чувствительный элемент алкотестера, который реагирует на присутствие в выдыхаемом человеком воздухе молекул этилового спирта изменением своих характеристик и передает параметры данных изменений на дальнейшую обработку и регистрацию. Существует целое семейство сенсоров этилового спирта: полупроводниковый, электрохимический, фотометрический, инфракрасный. В настоящее время наибольшее распространение получили два типа сенсоров: полупроводниковый и электрохимический, так как два остальных наряду с положительными характеристиками: имеют высокие точностные характеристики и долговременную стабильность измерений, имеют такие отрицательные стороны как чувствительность к температуре и влажности окружающей среды, вибрации, относительно большие габаритные размеры, что затрудняет их использование в полевых условиях. Кроме того данные приборы

относятся к разряду дорогостоящих. Используются такие приборы стационарно в медицинских лабораториях.

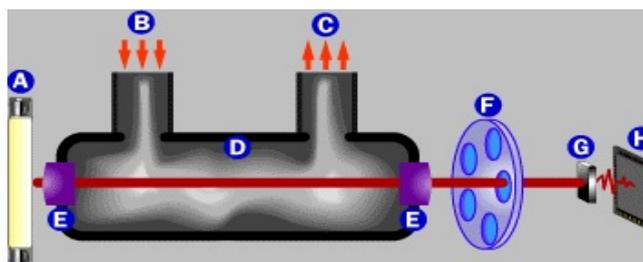


Рисунок 1 – Обобщённая схема алкотестера

(А - мунштук для подачи выдыхаемого воздуха на обработку в алкотестер, D - корпус алкотестера, F - сенсор, G – сигнала, H - экран дисплея, E - микронасос)

Электрохимический сенсор - преобразование результата окислительно-восстановительной реакции в пропорциональный электрический сигнал.

Полупроводниковый сенсор – преобразование осуществляется за счёт разложения молекул этилового спирта при температуре 400°C и затем воздействия продуктов разложения на катализатор, где наблюдается окислительно-восстановительная реакция приводящая к изменению сопротивления чувствительного элемента.

## 2 Процесс выделения этилового спирта

Человек выдыхает смесь паров воды, этилового спирта и  $\text{CO}_2$ . Кроме того пары воды могут содержать части молекул ацетона, метанола и изопрена которые могут внести погрешность в измерения.

Следовательно, сначала необходимо отделить этиловый спирт от влаги и основной массы веществ. Для осушки выдыхаемого воздуха можно воспользоваться силикагелем. Для силикагеля характерны большая величина поверхности ( $5 \div 800 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и высокая пористость, хорошая термостойкость, незначительная собственная каталитическая активность. Силикагель - высушенный гель поликремниевой кислоты, твёрдый гидрофильный сорбент. По химическому составу силикагель - двуокись кремния (кремнезём), по структуре - высокопористое тело, образованное мельчайшими сросшимися сферическими частицами.

В силу строения своей поверхности силикагели обладают более высокой селективностью по отношению к полярным молекулам в силу собственного неоднородного распределения электрического потенциала. А выдыхаемый человеком воздух представляет собой смесь состоящую в основном из  $\text{CO}_2$ , этилового спирта, паров  $\text{H}_2\text{O}$  со смесями молекул метанола, ацетона, изопрена. В этих смесях, содержащих полярные и неполярные молекулы, может возникнуть взаимодействие между молекулами, обусловленное электростатическим притяжением между диполями полярных молекул и наведёнными (индуцированными) диполями неполярных молекул. Последние возникают в результате поляризации под действием электрических полей диполей, окружающих данную полярную молекулу.

Этот эффект называется индукционной составляющей сил Ван-дер-Ваальса [9]. Поэтому можно пропустив выдыхаемый воздух через слой силикагеля на выходе получить смесь молекул этилового спирта и  $\text{CO}_2$ .

## 3 Анализ реакции дегидрирования этилового спирта

Далее смесь этилового спирта и  $\text{CO}_2$  попадает на поверхность гидроксильированного оксида кремния (IV), где молекулы этилового спирта распадаются на ацетальдегид с выделением атомов водорода. И именно количество выделенного водорода станет индикатором концентрации этанола в крови человека. Для проведения указанной реакции можно использовать стандартный мунштук для алкотестера в котором слоями помещается обезвоженный диоксид кремния и силикагель.

#### 4 Реакция дегидрирования этилового спирта на катализаторе

Анализируемые свойства этилового спирта дают возможность, используя в качестве катализатора высокодегидрированный оксид кремния (IV) провести реакцию селективного разделения спирта на ацетальдегид и водород:



#### 5 Анализ процесса взаимодействия водорода и палладия

Водород, попадая на поверхность чувствительного элемента, соприкасается с палладием. Взаимодействие палладия с водородом очень интересно - металл способен поглощать большое количество этого газа: при комнатной температуре один объём палладия вбирает в себя до 950 объёмов водорода. В поверхностных слоях палладия обнаружено наличие агломерантных зёрен разделённых внутренними разрывами. Водород на границе с металлом распадается на атомы и обладая высокой химической активностью начинает заполнять эти внутренние разрывы, образуя твёрдые растворы водорода в палладии одновременно образуя соединения гидрида палладия:  $2 \text{Pd} + x \text{H}_2 \rightarrow 2\text{PdH}_x$ . Как показало исследование поверхности палладия методом сканирующей туннельной микроскопии диаграмма состояния водород - палладий включает как твёрдый раствор водорода в палладии ( $\alpha$ -фаза), так и ( $\beta$ -фаза) состоящая из гидрида палладия PdH. Рисунок 2.

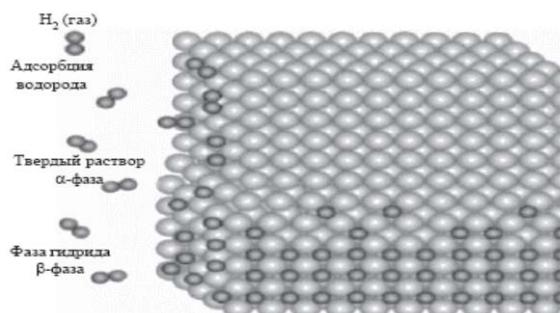


Рисунок 2 – Процесс внедрения атомов водорода в структуру палладия.

В результате данного процесса объём палладия увеличивается, а внутренние разрывы между его агломератными зёрнами частично или полностью ликвидируются, что в свою очередь приводит к увеличению однородности структуры металла и, как следствие, к уменьшению его электрического сопротивления.

Кроме поглощения водорода палладий обладает свойством транзита данного газа через себя, т.е. как только концентрация газа над поверхностью палладия снижается процесс идёт в обратном направлении - гидриды распадаются, водород покидает металл, объём металла уменьшается до первоначального состояния и электрическое сопротивление увеличивается.

#### 6 Разработка чувствительного элемента сенсора

Именно данное взаимодействие палладия и водорода позволит разработать полупроводниковый сенсор на кристалле монокристаллического кремния с использованием свойств измерительного моста Уитстона и тонкоплёночной технологии МЭМС.

На схеме  $R_1, R_2, R_3, R_x$  — плечи моста, AD — диагональ питания, CB — измерительная диагональ.  $R_x$  представляет собой неизвестное сопротивление;  $R_1, R_2$  и  $R_3$  — известные сопротивления, причём значение  $R_2$  может регулироваться. Если отношение сопротивлений  $R_1/R_2$  равно отношению сопротивлений  $R_x/R_3$ , то разность потенциалов между двумя средними точками будет равна нулю, и ток между ними не будет протекать.

Сопротивление  $R_2$  регулируется до получения равновесия, а направление протекания тока показывает, в какую сторону нужно регулировать  $R_2$ .

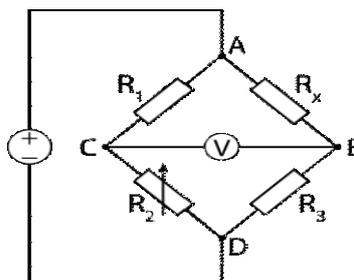


Рисунок 3 – Измерительный мост Уитстона

Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  - высокоточные резисторы по 2,5 кОм, резистор  $R_x$  - измерительное сопротивление из палладия.

### Заключение

В данной работе рассматривается ранее не применяемая реакция дегидрирования (отщепление водорода) этилового спирта на основе гетерогенного катализа при комнатной температуре. Причём в качестве катализатора предлагается дешёвое и экологически безопасное вещество - обработанный при высокой температуре диоксид кремния, которое может неоднократно использоваться после высокотемпературной обработки. И самое главное, что в результате реакции на выходе получают два самостоятельных вещества: ацетальдегид, химически адсорбированный на поверхности катализатора, и водород, полученный именно в результате разложения молекулы этилового спирта. Следовательно, повышается точность и диапазон замера.

Предлагается в качестве сенсора простейшая схема с тонкоплёночным измерительным резистором из палладия сформированная на кристалле монокристаллического кремния размером 4x4мм. Так как палладий используется в качестве катализатора водорода и как любой катализатор не расходуется в результате реакции, кроме того, не подвергается воздействию высоких температур и, следовательно, сохраняет стабильно химический состав плёнки, а это служит гарантией долговременной стабильности параметров измерения.

Данная методика позволяет в будущем разрабатывать новые технологии обработки, соединения материалов и усовершенствование кристалльной технологии и на базе этих разработок разрабатывать высокоточные, чувствительные и миниатюрные приборы определения концентрации алкоголя в крови человека, а также и газоанализаторы, причём на одном кристалле одновременно можно формировать измерительные резисторы на различные газы.

## Литература

1. Jones A.W. в статье Selective Dehydrogenation of Ethanol over Highly Dehydrated Silica // Journal of Forensic Science.
2. Natsumura Y., Hashimoto K., Yoshida S. Selective Dehydrogenation of Ethanol over Highly Dehydrated Silica (англ.) // Journal of Catalysis. — 1989. — Т. 117. — № 1. — С. 4026—4033.
3. Севастьянова А.В. Экспертная оценка профессиональных алкометров. - ФКУ НИЦ БДД МВД России.
4. О.В. Крылов Гетерогенный катализ - М. «Академкнига». - 2004. – 679 с.
5. Ч.Сеттерфильд Практический курс гетерогенного катализа. - М.: Мир. – 1994.
6. Э.И. Мингулина Курс общей химии. – М.: Высшая школа – 1990 – 306 с.
7. Некрасов Б.В. Основы общей химии - М. Высшая школа. 1973.
8. Глинка Н.Л. Общая химия. - Л. Химия. 1978.
9. Айлер Р. Химия кремнезёма - М. Мир. 1982.
10. Ю.М. Коротеев, О.М. Гимранова, И.П. Чернов Миграция водорода в палладии: расчёты из первых принципов // Вестник Института физики прочности и материаловедения СО РАН. - Томск, 2010.
11. Нечаев Ю.С. Характеристики гидридоподобных сегрегаций водорода на дислокациях в палладии - УФН 171.1251-1261, 2001.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Якубов А.Р.

Научный руководитель: доцент Соловьев В.А.  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## RESEARCH OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER

Yakubov A.R.

Supervisor: Doc. Soloviev V.A.  
BMSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В данной работе идет речь о конвективном теплообмене. В статье рассматриваются теоретические основы конвективного теплообмена. Также в статье приведены методы расчета конвективного теплообмена.

### Abstract

In this paper deals with the convective heat transfer. The article discusses the theoretical basis of convective heat transfer. The article also shows the methods of calculation of convective heat transfer.

### Введение

Микросхемы и радиоэлементы функционируют в ограниченных температурных диапазонах. Отклонение температуры от указанных диапазонов может привести к необратимым изменениям компонентов. Высокая надежность и длительный срок службы изделия будут гарантированы, если температура среды внутри РЭА является нормальной и равной 20-25 °С. Изменение температуры относительно нормальной на каждые 10 °С в любую сторону уменьшает срок службы аппаратуры приблизительно в 2 раза. Обеспечение нормального теплового режима приводит к усложнению конструкции, увеличению габаритов и массы, введению дополнительного оборудования, затратам электрической энергии. Как известно, одним из способов передачи теплоты от нагретой аппаратуры в окружающую среду является конвекция.

**Конвекция** – процесс переноса теплоты при перемещении микрочастиц жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой температурой.

*Естественное и принудительное воздушное охлаждение* наиболее просты и доступны. Теплота от нагретых корпусов радиоэлементов передается окружающей атмосфере за счет *естественной конвекции*. Эффективность естественного воздушного охлаждения тем больше, чем больше разность температур между корпусом и окружающей средой и чем больше площадь поверхности корпуса. Имеет также значение плотность окружающей среды, при уменьшении которой отвод теплоты от поверхности элементов уменьшается.

Принцип охлаждения естественной конвекцией основан на том, что слои воздуха, нагреваясь от выделяющих теплоту элементов и обладая вследствие этого меньшей плотностью, перемещаются вверх и замещаются более холодными слоями. Чем больше объем замещаемого воздуха, тем лучше теплообмен. Эффективность теплообмена зависит от места расположения элементов в объеме аппаратуры. Так, при вертикальном расположении модулей (плат) воздушному потоку ничего не препятствует и теплые слои воздуха быстро заменяются холодными. При горизонтальном расположении плат смена слоев воздуха затруднена, вследствие чего нагрев элементов происходит в большей степени. В худшем положении находятся элементы в верхней части корпуса, так как здесь замещения теплых слоев холодными практически не происходит.

Качество естественного воздушного охлаждения зависит от мощности, выделяемой аппаратурой во время работы в виде теплоты, формы и габаритных размеров корпуса и площади его поверхности. Улучшение охлаждения можно получить искусственным

увеличением площади поверхности корпуса, например, введением специальных ребер — радиаторов.

Теплообмен между потоками жидкости и поверхностью соприкасающегося с ним тела называется конвективным теплообменом (конвективной теплоотдачей). Этот процесс изучался еще в XVII в. И. Ньютоном и в XVIII в. русским академиком Г. В. Рихманом, которые независимо друг от друга установили следующую закономерность (закон Ньютона - Рихмана): тепловой поток  $d\Phi$  от жидкости к элементу поверхности  $dA$  (или в обратном направлении) пропорционален площади элемента поверхности и разности температур  $\Delta t = t_c - t$  или  $\Delta t = t - t_c$  между температурами поверхности тела  $t$  и среды  $t_c$ :

$$d\Phi = \alpha \cdot dA \cdot \Delta t. \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

Согласно (1):

$$\alpha = \frac{d\Phi}{(dA \cdot \Delta t)} = \frac{q}{\Delta t}. \quad (2)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  численно характеризует плотность теплового потока, который рассеивается или воспринимается поверхностью твердого тела при разности температур между твердым телом и средой в 1 К.

Вся сложность процесса конвективного теплообмена концентрируется в одной величине – коэффициенте теплоотдачи  $\alpha$ , который представляет собой функцию большого числа параметров, существенно влияющих на процесс теплообмена. Прежде всего конвективный теплообмен оказывается связанным с движением самой жидкости, т. е. с гидродинамическим процессом. Тепловые и аэрогидромеханические явления взаимосвязаны, поэтому изучение каждого из них не может проводиться изолированно.

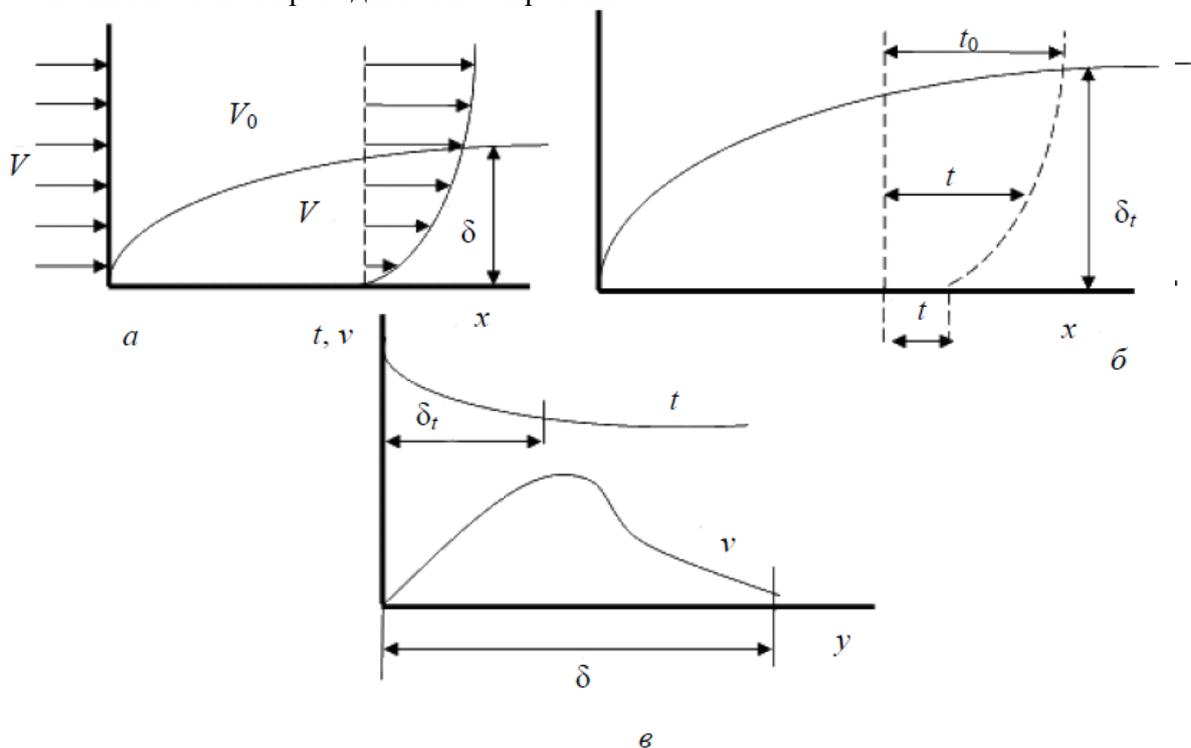


Рисунок 1 - Гидродинамический (а) и тепловой (б) пограничные слои при вынужденном обтекании пластины потоком жидкости. Поле скоростей и температур при свободной конвекции жидкости у вертикальной стенки (в)

Решение многих практически важных задач гидродинамики и теплообмена основано на модели пограничного слоя. При соприкосновении частиц жидкости с поверхностью тела они адсорбируются телом. В результате около поверхности вследствие вязкостных свойств образуется тонкий слой медленно движущейся жидкости – пограничный слой. Различают гидродинамический и тепловой пограничные слои. На рис.1, а, б представлены схемы изменения скоростей и температур в гидродинамическом и тепловом пограничных слоях на передней кромке пластины при вынужденном движении жидкости на некотором расстоянии от кромки. Гидродинамическим пограничным слоем называют пристенный слой жидкости толщиной  $\delta$ , в котором происходит изменение скорости движения жидкости от нулевой (на поверхности тела) до значения  $v_0$  – скорости основного потока жидкости.

Пристенный слой жидкости толщиной  $\delta_t$ , в котором происходит изменение температуры от ее значения  $t_w$  на поверхности тела до температуры  $t_0$  основного потока жидкости, называют тепловым пограничным слоем.

Понятие «толщина пограничного слоя»  $\delta$  весьма условно, так как резкого перехода от пограничного слоя к течению вне слоя нет. Поэтому под  $\delta$  подразумевают такое расстояние от стенки, на котором скорость потока  $v$  будет отличаться от скорости  $v_0$  набегающего потока, например, на 1 %. В общем случае величины  $\delta$  и  $\delta_t$  не совпадают.

Разница в структуре теплового и гидродинамического пограничных слоев особенно заметна, например, при свободном движении жидкости около нагретой вертикальной стенки (Рисунок 1, в): скорость вдали от стенки равна нулю, поэтому распределение скоростей имеет иной характер, чем для вынужденной конвекции.

Существуют два основных режима движения жидкости: ламинарный и турбулентный. При ламинарном движении отдельные струи потока располагаются параллельно друг другу, при турбулентном движении эти отдельные струи потока хаотически переплетены друг с другом.

Кроме того, существует еще весьма неустойчивый переходный режим движения жидкости.

Характер режима течения зависит от нескольких параметров – вязкости  $\mu$ , плотности  $\rho$ , скорости  $v$  течения и размеров тела.

Между частицами или слоями реальной жидкости, движущимися с различными скоростями, вследствие вязкости всегда возникает сила внутреннего трения (касательные напряжения), противодействующая движению. Согласно закону Ньютона эта сила  $F$ , отнесенная к единице поверхности, пропорциональна градиенту  $dv/dn$ , а именно:

$$F = \mu \cdot dv/dn. \quad (3)$$

Коэффициент  $\mu$  в этом уравнении называют *динамической вязкостью* (коэффициентом внутреннего трения); в СИ он выражается в паскалях в секунду.

Положим  $dv/dn = 1$ , тогда коэффициент динамической вязкости  $\mu$  равен силе трения, приходящейся на единицу площади соприкосновения скользящих друг по другу слоев. В уравнение теплообмена часто входит отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности  $\nu = \mu/\rho$ , которое называют кинематической вязкостью.

Таблица 1 - Значения динамической вязкости в зависимости от изменения температуры

Среда	Изменение $t, ^\circ\text{C}$	Динамическая вязкость, $\mu$ , Па·с
Воздух	$-50 \leq t \leq 1000$	$(15 - 50) \cdot 10^{-6}$
Вода	$0 \leq t \leq 370$	$(1800 - 60) \cdot 10^{-6}$
Масло	$10 \leq t \leq 150$	$(35000 - 50) \cdot 10^{-4}$

В табл. 1 приведены значения динамической вязкости в зависимости от изменения температуры.

Если параметры не изменяются от точки к точке поверхности, то закон Ньютона – Рихмана записывается в интегральной форме:

$$P = \alpha_k(t - t_c), \quad (4)$$

где

$P$  – количество тепла, переносимого в единицу времени (мощность) от твердого тела к жидкости или жидкости к твердому телу, Вт;

$\alpha_k$  – коэффициент конвективного теплообмена,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{град}}$

$t$  – температура поверхности твердого тела, °С;

$t_c$  – температура окружающей среды, °С;

Коэффициент конвективного теплообмена численно характеризует энергию, которую рассеивает или воспринимает единица поверхности твердого тела путем конвекции при разности температур между твердым телом и средой 1 град. Коэффициент теплоотдачи представляет собой сложную функцию большого числа параметров, существенно влияющих на процесс теплообмена. Так, для естественной конвекции

$$\alpha_k = f(t, t_c, \beta, \lambda, C_p, \nu, a, g, \Phi), \quad (5)$$

где

$\beta$  – коэффициент объемного расширения жидкости или газа,  $\text{град}^{-1}$ ; для газа

$$\beta = \frac{1}{t_c + 273}; \quad (6)$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности жидкости или газа,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м град}}$ ;

$C_p$  – удельная теплоемкость жидкости или газа при постоянном давлении,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг град}}$ ;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости или газа,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;

$a$  – коэффициент теплопроводности тела, определяющий скорость охлаждения тела,  $\frac{\text{град}}{\text{м с}^2}$ ;

$\Phi$  – совокупность параметров, характеризующих форму, строение поверхности, и ее размеры.

**Критериальные уравнения.** Из теории подобия следует, что сложные процессы характеризуются не отдельными физическими величинами, а определенным образом составленными из них безразмерными комплексами или критериями.

Если на основе теории подобия объединить физические и геометрические параметры в безразмерные комплексы (критерии подобия), то процесс теплообмена в условиях естественной конвекции можно описать следующими тремя критериями:

критерием Нуссельта: 
$$Nu = \frac{\alpha_k L}{\lambda};$$

критерием Грасгофа: 
$$Gr = \beta g \frac{d^3}{\nu^2} (t - t_c);$$

критерием Прандтля: 
$$Pr = \frac{\nu}{a}.$$

Здесь через  $L$  обозначен геометрический параметр, характерный для тела данной конфигурации (диаметр для труб или шаров, высота для вертикальной пластины и т.д.).

Таким образом, зависимость  $\alpha_k$  между многочисленными параметрами можно представить в виде критериального уравнения, связывающего три критерия подобия:

$$Nu = F(Gr Pr) \quad (7)$$

Обрабатывать результаты экспериментальных исследований в таком виде гораздо проще, так как число взаимосвязанных параметров значительно сокращается. Но этим не ограничиваются преимущества критериального уравнения: формулы такого типа носят более общий характер.

### **Заключение**

Настоящее и будущее аппаратуры связано с использованием достаточно больших мощностей в сравнительно малых объемах. Это приводит к резкому увеличению плотности мощности рассеяния, а, следовательно, и плотности рассеиваемой теплоты. Поэтому при конструировании аппаратуры особое значение приобретает разработка методов отвода теплоты, регулирования и контроля температуры.

### **Литература**

1. Сушко Виктория Юрьевна. Тепловая защита электронных устройств при интенсивных термических воздействиях, 2007 .
2. Курносенко А.Е., Семенцов С.Г., Соловьев В.А., Шахнов В.А. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы конструирования и надежности электронных средств» - М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2015.

# ПРИМЕНЕНИЕ FEMAP API ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПЕРВОГО УРОВНЯ

**Качалова А.М.**

*Научный руководитель: старший преподаватель Курносенко А.Е.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## FEMAP API APPLICATION FOR THERMAL AND MECHANIC ANALYSIS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

**Kachalova A.M.**

*Supervisor: senior lecturer Kurnosenko A.*

BMSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы разработки программного модуля для инженерного анализа электронных модулей первого уровня на механические и тепловые воздействия с помощью FEMAP API. Исследован стандарт COM в отношении автоматизированного проектирования электронных устройств. Кратко представлена разработка программного обеспечения для получения результатов теплового и механического анализа. Выявлены недостатки и пути к расширению функционала полученного приложения.

### **Annotation**

This article is devoted to the problems of development of application for thermal and mechanical analyses of circuit boards using FEMAP API. COM standard is studied in scope of electronic device automatic design. The implementation of program module for engineer analyses is presented. There are disadvantages of developed application and the ways of extension of functional design are shown in the article.

### **Введение**

Работа посвящена разработке прикладного интерфейса для инженерного анализа электронных модулей первого уровня с помощью Femap API.

Интерфейс Femap API на основе объектно-ориентированной технологии OLE/COM, которая использует стандартные, открытые языки программирования, позволяет получить полный доступ к функциональным возможностям Femap. Доступ к API-интерфейсу осуществляется через собственную среду программирования, встроенную в пользовательский интерфейс. В ней возможно создавать пользовательские подпрограммы, автоматизирующие рабочие процессы. Данная среда может взаимодействовать и обмениваться данными с другими программами, такими как Microsoft Word и Excel.

COM — это технологический стандарт от компании Microsoft, предназначенный для создания программного обеспечения на основе взаимодействующих компонентов, каждый из которых может использоваться во многих программах одновременно. Стандарт воплощает в себе идеи полиморфизма и инкапсуляции объектно-ориентированного программирования.

Программы, созданные с использованием COM, предоставляет свои сервисы через один или несколько COM-объектов. Каждый такой объект является экземпляром некоторого класса и поддерживает определенное количество интерфейсов, обычно не менее двух. В состав каждого интерфейса входит один или более методов — функций, которые могут вызываться клиентом объекта.

Актуальность данного компонента в рамках проектирования электронных модулей определяется тем, что применение COM моделей позволяет создать одно информационное пространство, позволяющее автоматически изменять основные параметры электронных модулей. Это дает возможность уменьшить время и затраты на разработку прототипа устройства и его тестирования, и позволит проектировщикам успешно протестировать изделие в одной программе.

Цель работы – разработать программное обеспечение для автоматического проектирования электронных модулей с применением Femap API на основе COM технологии.

## 1 Проектирование интерфейса разрабатываемого модуля

Одним из важных моментов разработки модуля для автоматического проектирования устройств – выбор параметров, изменение которых может влиять на работоспособность устройства и условия сборки. Анализ процесса проектирования электронной ячейки показал, что геометрические характеристики печатной платы, расположение компонентов и способы теплоотвода являются основными параметрами, влияющими на тепловое поле платы, ее деформацию и прогиб.

Программный модуль должен позволять пользователю проводить тепловой анализ, анализ вибрационных характеристик и собственного прогиба печатной платы. Из этого следует, что необходимы адаптивные функции перемещения компонентов, изменение толщины платы, точек закрепления, температуры компонентов и добавления конструкции корпуса и других элементов.

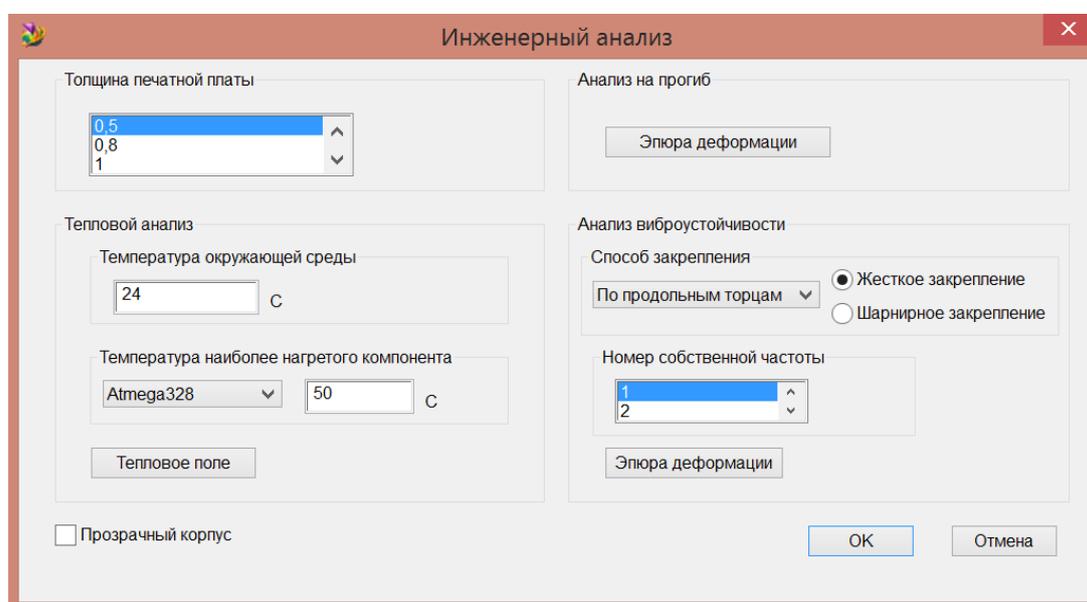


Рисунок 1 – Интерфейс разработанного модуля

На рисунке 1 представлен интерфейс разработанного программного модуля для инженерного расчета и изменения модели. Данная программа предполагает предварительную загрузку в САПР Femap step модели устройства, которое может быть экспортировано из большинства электрических CAD.

## 2 Реализация

Данное программное приложение было разработано в среде Femap API на единственном поддерживаемом данным программируемом интерфейсе языке Basic.

Структура файла Step, который загружается из электрического CAD, состоит из последовательного набора компонентов, поэтому при импорте геометрии из данного файла компоненты будут записаны в массив в порядке в котором они были записаны в файл, что облегчает поиск необходимого элемента. Данный массив компонентов выводится на экран для выбора наиболее нагретого компонента и указания его температуры.

Разработанное приложение было протестировано на устройстве Arduino Uno R3 и представляет примитивную программу для быстрого инженерного расчета (Рисунок 2).

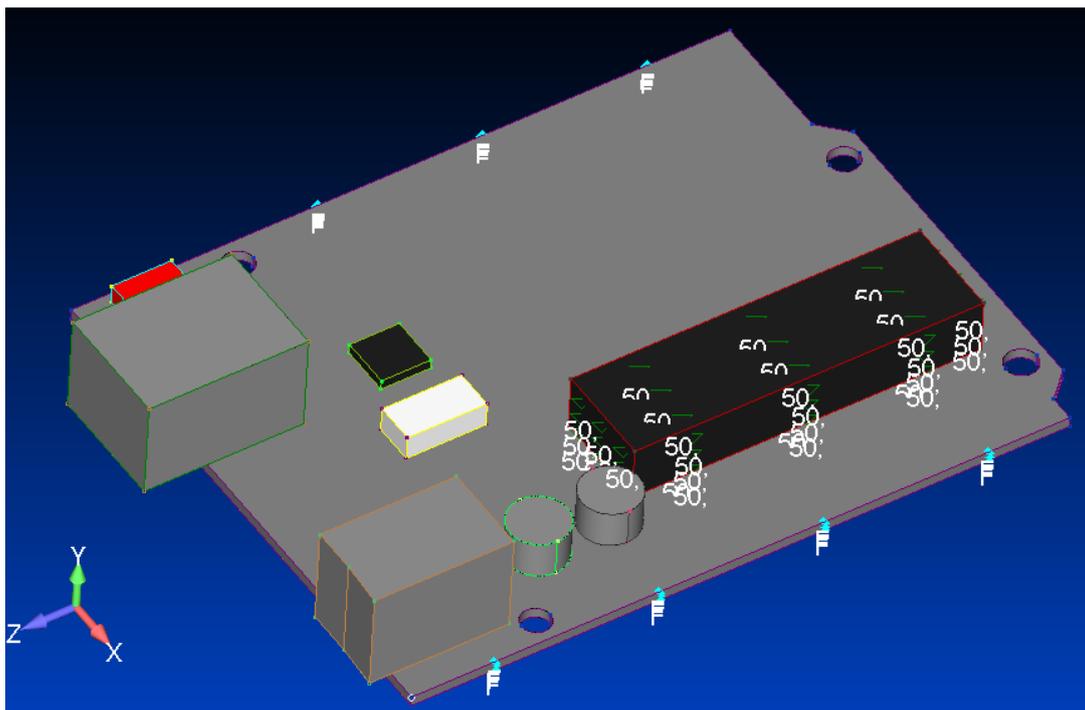


Рисунок 2 – Изменение модели

Для изменения толщины печатной платы производится нахождение координат платы и изменение разности по оси X на заданное расстояние. Массив компонентов, приходящих из файла Step, также содержит названия элементов, которые выводятся в качестве выпадающего списка на экран. К сожалению, на данном этапе система позволяет задавать параметр только одного компонента – имеющего самую большую температуру. Данное ограничение возникает из трудности ввода температуры индивидуально для каждого выбранного из списка элемента. Введенная температура присваивается выбранному компоненту, в данном примере микросхеме Atmega328 и изменения отображаются на печатной плате, как представлено на рисунке 2.

Для анализа виброустойчивости предоставляется выбор способа закрепления устройства – по продольным торцам, по поперечным торцам или в четырех точках. В данном приложении представлены наиболее распространенные виды закрепления, однако при необходимости функционал можно расширить другими способами крепления печатных плат. На уровне логики происходит поиск и сравнение сторон печатной платы, далее осуществляется присвоение ограничений на поверхность заданной найденными координатами. В случае выбора закрепления в четырех точках, ограничения налагаются на поверхность монтажных отверстий, которые также однозначным образом можно выделить из формата Step.

Эпюра деформации рассчитывается для первых 4х собственных частот и уже после расчета на экран выводится та частота, что была выбрана пользователем.

Следует учесть, что для инженерных расчетов также необходимо указывать соединения между элементами. В данном примере соединения автоматически устанавливаются между компонентами расстояние между которыми меньше 1 мм. Данная функция была сделана внутренней и не представлена на интерфейсе.

Аналогичным образом пользователю не представляется возможность варьировать параметры сетки, необходимой для инженерного анализа. Автоматически применяется поверхностная тетраэдральная сетка с шагом 2мм. Функционал программы может быть расширен выбором размера сетки, что повлияет на точность анализа.

### **3 Расширение функционала**

Данное приложение было разработано на примитивном языке Basic, что усложнило программное решение необходимого набора задач. Подключение COM/OLE библиотек в собственных программах, реализуемых на языках более высокого уровня, позволит создать автономный прикладной интерфейс с отображением рабочей области Femap. Для дальнейшего развития программы может быть добавлен следующий функционал:

- указание параметров тепловыделения и теплового потока для каждого отдельно указанного элемента на основе его электрических характеристик;
- увеличение способов закрепления печатной платы
- выбор параметров соединения компонентов, таких как расстояние и вид соединения;
- выбор параметров поверхностной сетки, таких как вид сетки и ее размер;
- выбор положения устройства, его смещение и увеличение.

### **Заключение**

В ходе проведенной работы был разработан прикладной интерфейс для работы с возможностями Femap, главным образом для проведения инженерных расчетов электронных модулей первого уровня. Разработанный функционал ляжет в основу разработки программного приложения на основе COM модели в среде C++.

### **Литература**

1. Роджерсон Д. Основы COM. – М: Русская Редакция, 2000. – 400 с.
2. Шинкович Д. Femap Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М: ДМК Пресс, 2008. – 702 с.
3. Рычков С. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М: ДМК Пресс, 2012. – 784 с.

# КОНТРОЛЛЕР ПАМЯТИ ФОТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

**Кадрилеев Н.М.**

*Научный руководитель: Леонидов В.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

## MEMORY CONTROLLER OF PHOTORECEIVING DEVICE

**Kadrileev N.M.**

*Supervisor: Leonidov V.V.*

BMSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Работа посвящена вопросам проектирования контроллера памяти фотоприемного устройства. Подробно описаны типы памяти, применяемые в фотоприемных устройствах. Произведено сравнение характеристик различных типов памяти. Представлено описание принципа построения контроллера синхронной динамической памяти для фотоприемного устройства.

### **Abstract**

This article is devoted to design of a memory controller of photoreceiving device. The types of memory used in memory controllers of photoreceiving devices were described in detail. Comparison of the characteristics of different types of memory was carried out. The description of construction principles of a memory controller of photoreceiving device was presented.

### **Введение**

Работа посвящена вопросам проектирования контроллера памяти фотоприемного устройства. Выбор темы работы обоснован тем, что зачастую частота камеры фотоприемного устройства и частота дисплея, на который выводится полученная с камеры информация, не совпадают. Поэтому, например, если камера работает на частоте меньшей чем дисплей, то необходимо один кадр изображения, полученный на камере, выводить в течение нескольких кадров на мониторе, это реализуется применением памяти в фотоприемном устройстве. Применяются две ячейки памяти, в одну из которых в один момент времени записывается кадр, полученный на камере фотоприемного устройства, а с другой ячейки происходит считывание информации, полученной в предыдущем кадре, и ее вывод на дисплей. После того как текущий кадр записался в первую ячейку, контроллер памяти начинает считывать с нее информацию, а во вторую ячейку начинает запись следующего кадра с камеры.

Актуальность работы определяется тем, что контроллер будет работать с динамической памятью, что является несравненным преимуществом перед статической памятью, по сравнению с которой динамическая память стоит намного меньше, но при этом почти не уступает по быстродействию. Это обуславливает актуальность задачи разработки контроллера памяти фотоприемного устройства на основе динамической памяти. Аналогами данного контроллера могут служить open core проекты для ПЛИС [1][2]. Недостатком этих проектов является то, что они созданы для общего применения, в видеосистемах же они не смогут обеспечить должную производительность.

Целью работы является разработка контроллера динамической памяти фотоприемного устройства.

Для достижения заявленной цели в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

- описание применяемых типов памяти;
- обоснование выбора динамической памяти;
- описание принципа построения контроллера синхронной динамической памяти для фотоприемного устройства.

## 1 Типы памяти

На сегодняшний день существуют три основных типа энергозависимой памяти: статическая память, псевдостатическая память и динамическая память.

Статическая память с произвольным доступом (SRAM, static random access memory) – полупроводниковая оперативная память, в которой каждый двоичный разряд хранится в схеме с положительной обратной связью, позволяющей поддерживать состояние без регенерации, необходимой в динамической памяти (DRAM). Тем не менее, сохранять данные без перезаписи SRAM может только пока есть питание, то есть SRAM остается энергозависимым типом памяти. Типичная ячейка статической двоичной памяти (двоичный триггер) по КМОП-технологии представлена на рисунке 1.

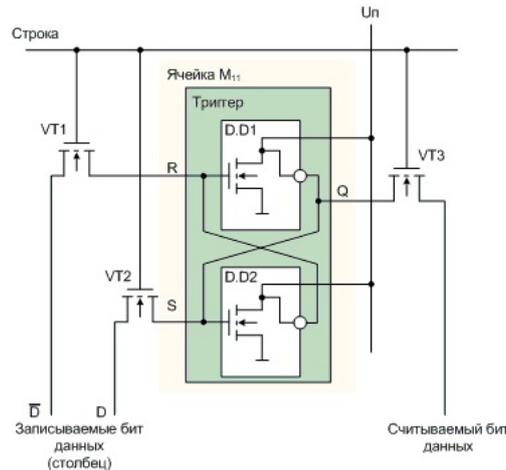


Рисунок 1 – Структурная схема ячейки статической памяти (SRAM)

Для записи данных необходимо подать напряжение в линию строки, после чего транзисторы VT1, VT2 и VT3 откроются. Затем для записи единицы необходимо подать напряжение, соответствующее логической единице, на линию D и напряжение, соответствующее логическому нулю, на линию  $\bar{D}$ . Для переключения триггера в состояние хранения нуля необходимо подать напряжение, соответствующее логическому нулю, на линию D и напряжение, соответствующее логической единице, на линию  $\bar{D}$ . В установленном состоянии триггер будет оставаться даже после снятия напряжения с линии строки и с линий D и  $\bar{D}$  до тех пор, пока на него будет подаваться питание Uп.

Для считывания данных необходимо на выходы D и  $\bar{D}$  подать напряжение, соответствующее логическому нулю, так как подача двух логических нулей на входы триггера не изменит его состояния, а затем подать напряжение на строку. В результате, транзистор VT3 откроется, и ток с триггера по линии Q пройдет в устройство считывания. Одновременно с транзистором VT3 откроются транзисторы VT1 и VT2. Но так как напряжение на линиях D и  $\bar{D}$  соответствует логическому нулю, то оно не повлияет на состояние транзистора.

К преимуществам данного типа памяти относят:

- 1) Быстрый доступ – доступ к любой ячейке памяти в любой момент занимает одно и то же время. Не требуется перезарядка ячеек, что также увеличивает быстродействие;
- 2) Простая схемотехника – данное преимущество вытекает из первого, так как без требований к постоянной перезарядке и с простым доступом к ячейкам SRAM памяти не требуются сложные контроллеры.

К недостаткам статической памяти относят:

- 1) Невысокая плотность записи – 5-8 транзисторов составляют одну ячейку;
- 2) Высокая цена – данный недостаток вытекает из первого.

Типичные микросхемы SRAM памяти сегодня обладают отличными показателями быстродействия со временем доступа около 10 нс и ниже. Но для применения в

фотоприемном устройстве это не является главным показателем, так как устройство работает на гораздо меньших частотах, а учитывая дороговизну SRAM, от ее применения в фотоприемном устройстве откажемся.

Динамическая память с произвольным доступом (DRAM, dynamic random access memory) – тип энергозависимой полупроводниковой памяти с произвольным доступом. Физически DRAM-память представляет собой набор запоминающих ячеек (Рисунок 2), которые состоят из конденсаторов и транзисторов, в каждой из которых можно хранить определенный объем данных. Совокупность ячеек такой памяти образует условный «прямоугольник», состоящий из определенного количества строк и столбцов. Один такой «прямоугольник» называется страницей, а совокупность страниц называется банком. Весь набор ячеек условно делится на несколько областей.

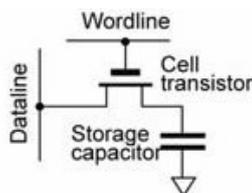


Рисунок 2 – Структурная схема ячейки динамической памяти (DRAM)

При отсутствии подачи электроэнергии к памяти этого типа происходит разряд конденсаторов, и память обнуляется. Для поддержания необходимого напряжения на обкладках конденсаторов ячеек и сохранения их содержимого, необходимо периодически подзаряжать конденсаторы, прилагая к ним напряжения через коммутирующие транзисторные ключи. Такое динамическое поддержание заряда конденсатора является основополагающим принципом работы памяти типа DRAM. Конденсаторы заряжают в случае, когда в «ячейку» записывается единичный бит, и разряжают в случае, когда в «ячейку» необходимо записать нулевой бит.

Важным элементом памяти этого типа является чувствительный усилитель-компаратор, подключенный к каждому из столбцов «прямоугольника». Он, реагируя на слабый поток электронов, устремившихся через открытые транзисторы с обкладок конденсаторов, считывает всю строку целиком. Именно строка является минимальной порцией обмена с динамической памятью, поэтому обмен данными с отдельно взятой ячейкой невозможен.

Псевдостатическая память (PSRAM, Pseudostatic RAM) – тип динамической памяти со встроенным контроллером регенерации заряда в ячейках и контроллером адреса, благодаря чему работа с данной памятью аналогична работе со статической памятью. Она сочетает в себе высокую степень интеграции динамической памяти и простоту работы статической памяти. К недостаткам можно отнести заметное уменьшение быстродействия по сравнению со статической памятью. Время доступа для псевдостатической памяти составляет 50 нс и более. Поэтому в фотоприемном устройстве псевдостатическая память сможет работать только на очень медленных частотах обновления дисплея. А учитывая то, что она стоит дороже динамической памяти, остановим свой выбор на использовании в качестве запоминающего устройства фотоприемного устройства динамическую синхронную память SDRAM, которая является самой дешевой из представленных, и при работе в фотоприемном устройстве с определенным образом работающим контроллером позволит получить быстродействие не хуже чем у статической памяти.

## 2 Контроллер динамической памяти фотоприемного устройства

Выбрав динамическую память в качестве запоминающего устройства, в первую очередь встает проблема перезарядки ячеек. Ведь это уменьшает быстродействие в целом, а в видеосистемах, где передача данных непрерывна, эта проблема усиливается.

В качестве примера возьмем SDRAM память MT48LC4M16A2 фирмы Micron [3]. Она состоит из 4 банков, в каждом из которых находятся 4096 строк и 256 столбцов. Как известно из 1 главы, доступ осуществляется построчно, то есть одновременно в одном банке может быть открыта только 1 строка с 256 ячейками. Каждая ячейка содержит 16 бит информации. Время доступа составляет 7.5 нс. Структурная схема MT48LC4M16A2 представлена на рисунке 3.

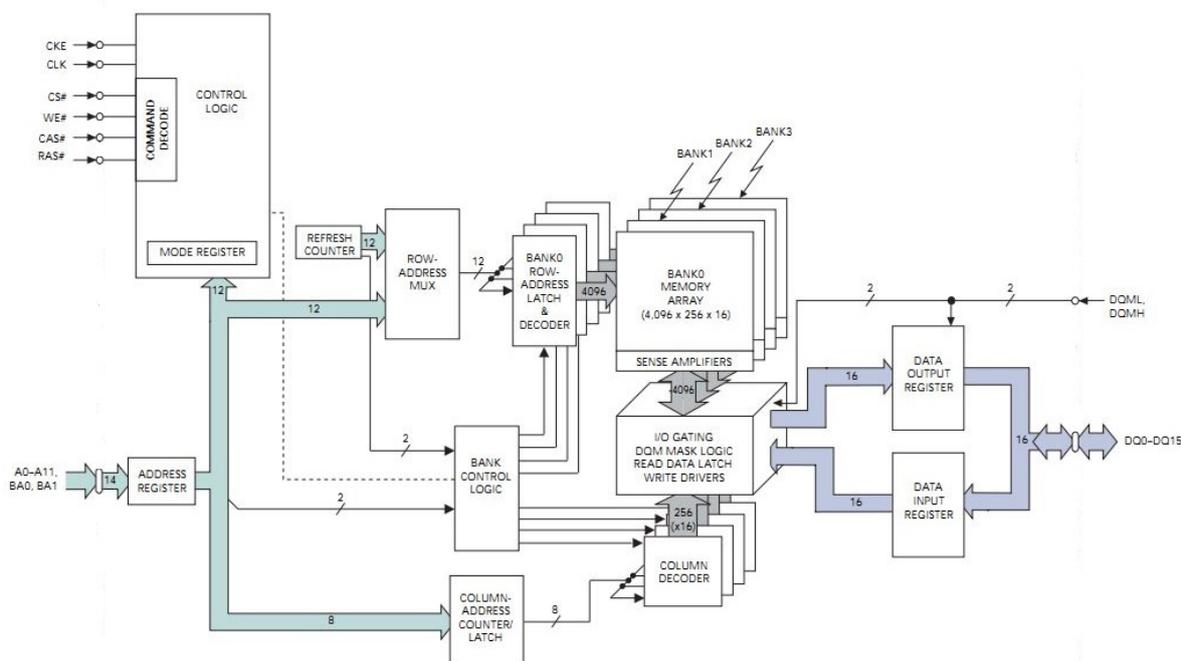


Рисунок 3 – Структурная схема микросхемы SDRAM MT48LC4M16A2

Допустим, что камера фотоприемного устройства снимает на частоте 25 Гц, а частота обновления дисплея составляет 75 Гц, разрешения камеры и дисплея равняются 1024x768 пикселей. Но помимо видимых пикселей в строке содержатся так называемые передняя и задняя площадки гасящего импульса (front and back porch), а также синхроимпульс. Для разрешения 1024x768 в строке будет 16 пикселей передней площадки гасящего импульса, 96 пикселей синхроимпульса и 176 пикселей задней площадки гасящего импульса (горизонтальная развертка). Аналогичным образом для вертикальной развертки помимо 768 строк по 1312 пикселей в каждой будет 1 строка передней площадки гасящего импульса, 3 строки синхроимпульса и 28 строк задней площадки гасящего импульса. Для наглядности на рисунке 4 приведена упрощенная схема временной развертки ЭЛТ монитора для разрешения 640x480 и частотой 60 Гц, ЖК мониторы унаследовали данный тип развертки.

Из вышесказанного следует, что реальное разрешение дисплея с разрешением 1024x768 пикселей равняется 1312x800, а время обновления пикселя найдем из соотношения:

$$t_{n.д.} = \frac{1}{75 \text{ Гц} \cdot 1312 \cdot 800} = 12.7 \text{ нс}.$$

Тогда пиксельная частота будет равняться:

$$\nu_{n.д.} = \frac{1}{t_{n.д.}} = \frac{1}{12.7 \text{ нс}} = 78.7 \text{ МГц}.$$

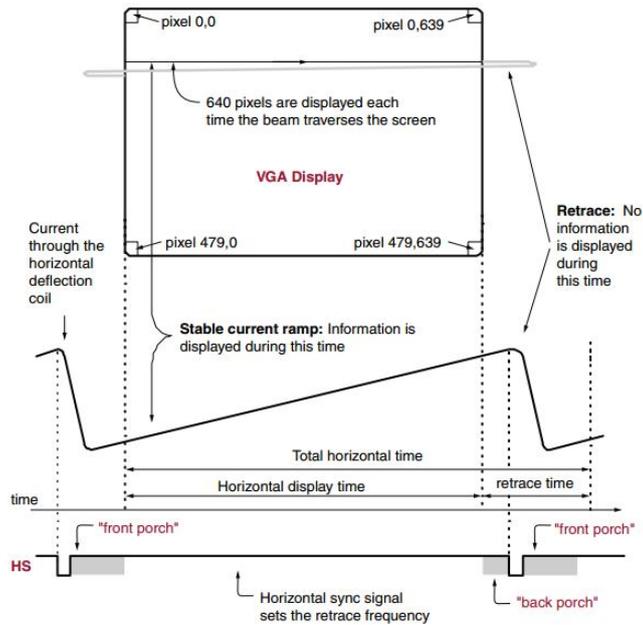


Рисунок 4 – Временная развертка ЭЛТ монитора (640x480 пикселей, 60 Гц)

Камера же, работая на частоте в три раза меньшей чем дисплей, будет обладать следующими параметрами:

$$t_{n.к.} = \frac{1}{25 Гц \cdot 1312 \cdot 800} = 38.1 нс ,$$

$$\nu_{n.к.} = \frac{1}{t_{n.к.}} = \frac{1}{38.1 нс} = 26.2 МГц .$$

Цикл перезарядки ячеек памяти состоит из команды закрытия всех активных банков (команда «precharge»), затем необходимо подождать не меньше чем  ${}^1RP = 15 нс$ . После этого выполняется команда перезарядки «autorefresh», время выполнения которой составляет  ${}^1RFC = 66 нс$ . После этого можно активировать нужный банк и проводить операции чтения/записи. Но данное время намного больше чем пиксельное время как для дисплея, так и для камеры, поэтому во время чтения/записи пикселей одной строки данные операции проводить нельзя. Для корректной работы запоминающего устройства необходимо проводить 4096 циклов перезарядки каждые 64 мс. Выходом из данной ситуации как раз служат передние и задние площадки гасящего импульса, во время которых нет ни считывания, ни записи информации. Стоит учесть, что данные времена являются минимальными, а мы отталкиваемся от тактовых частот, рассчитанных выше, поэтому тактовой частотой для запоминающих устройств будет большая частота, а именно 78.7 МГц. Тогда, с учетом тактовой частоты данные времена скорректируются:  ${}^1RP = 25.4 нс$ ,  ${}^1RFC = 76.2 нс$ .

Рассчитаем, какое количество циклов перезарядки возможно провести для камеры и дисплея во время строчной синхронизации.

Итак, суммарное время, необходимое на 1 цикл перезарядки равняется:

$$t_{сумм.} = {}^1RFC + {}^1RP = 76.2 нс + 25.4 нс = 101.6 нс .$$

Время, между 2 строками дисплея:

$$t_{ожид.д.} = t_{b.p.} + t_{f.p.} + t_{s.i.} = 176 \cdot 12.7 нс + 16 \cdot 12.7 нс + 96 \cdot 12.7 нс = 3.67 мкс .$$

За это время можно произвести более 30 полных циклов перезарядки, что является отличным результатом, если учитывать то, что одна строка размером 1312 пикселей длится 16.7 мкс, а для стабильной работы памяти достаточно 1 перезарядки каждые 15.625 мкс

$\left(\frac{64\text{мс}}{4096}\right)$ . Для камеры результат будет еще лучше, так как время ожидания между строками там получится в 3 раза больше, а значит более 90 циклов перезарядки можно будет успеть сделать во время простоя.

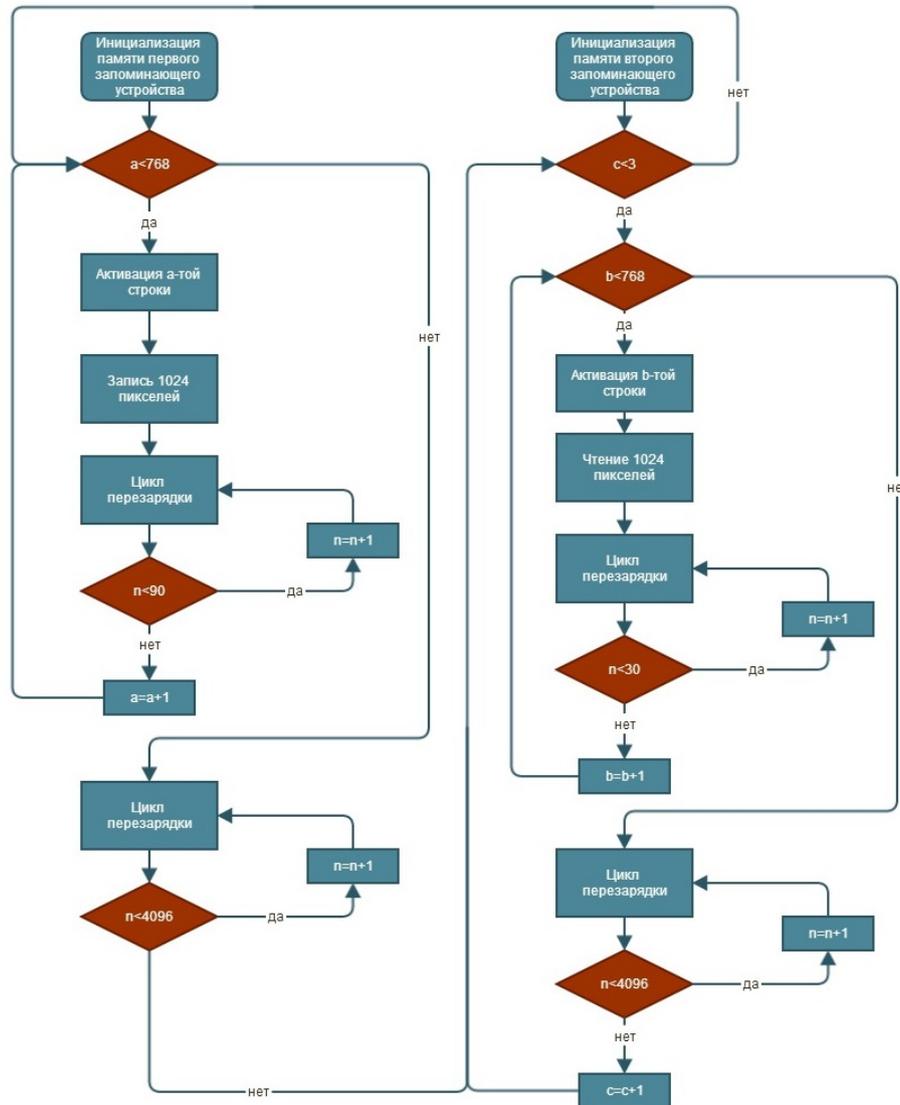


Рисунок 5 – Блок-схема работы контроллера динамической памяти фотоприемного устройства

Во время ожидания длительностью в 32 строки при вертикальной развертке необходимо также не забывать про перезарядку, чтобы не потерять данные.

Как было написано выше, для построения запоминающего устройства фотоприемного устройства необходимо использовать две микросхемы памяти, с одной в один момент будет происходить чтение, а на другую запись, и после смены кадров они будут меняться.

Еще один важный момент, который необходимо учесть при проектировании данного контроллера – разная частота работы камеры и дисплея. Так как камера работает в три раза медленнее дисплея, то изображение, полученное на камере за 1 кадр, будет отображаться на дисплее в течение 3 кадров.

Также при записи одной строки изображения (1024 пикселя) необходима непрерывная работа запоминающего устройства, но в одной строке одного банка SDRAM находятся лишь 256 ячеек, а при закрытии текущей строки и открытии следующей уходит время, большее чем время обновления пикселя. Выходом служит активация одной и той же строки сразу во

всех четырех банках после выполнения циклов перезарядки в конце каждой строки. Тогда первые 256 пикселей строки запишутся в нулевой банк, следующие 256 пикселей в первый и т.д.

С учетом вышесказанного была составлена блок-схема работы контроллера памяти фотоприемного устройства (Рисунок 5).

При подаче питания начинается одновременная инициализация обеих микросхем SDRAM, после этого происходит повторение 768 циклов записи строк изображения с камеры в первую микросхему. Цикл начинается последовательно с активации каждой строки, затем происходит непрерывная запись 1024 пикселей и после этого 90 циклов перезарядки. По окончании одного кадра происходит полный цикл перезарядки всех ячеек первой микросхемы. В это же время после инициализации вторая микросхема успевает провести три полных аналогичных цикла только для чтения. Один цикл записи заканчивается одновременно с тремя циклами чтения, при этом микросхемы меняются ролями и уже с первой микросхемы происходит три цикла чтения, а на вторую один цикл записи и так далее.

### **Заключение**

В ходе проведенной работы были представлены основные типы запоминающих устройств с произвольным доступом, дано их сравнение для применения в видеосистемах. Описаны принципы построения контроллера динамической памяти для фотоприемного устройства, выполнены необходимые расчеты. Разработана блок-схема работы контроллера.

Преимуществом данной системы является значительно меньшая стоимость по сравнению с аналогами на других типах памяти, а также показатели быстродействия, полностью удовлетворяющие потребностям типичных видеосистем. К недостаткам можно отнести то, что при изменении параметров подключаемого к устройству дисплея необходимо изменять параметры в прошивке контроллера.

### **Литература**

1. Simple SDRAM Controller. – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://hamsterworks.co.nz/mediawiki/index.php/Simple\\_SDRAM\\_Controller](http://hamsterworks.co.nz/mediawiki/index.php/Simple_SDRAM_Controller). Проверено 10.01.2015.
2. High Performance Dynamic Memory Controller. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://opencores.com/project,hpdmc>. Проверено 10.01.2015.
3. Micron MT48LC4M16A2TG-7E. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.micron.com/parts/dram/sdram/mt48lc4m16a2tg-7e>. Проверено 12.01.2015.
4. Kurt Franz Ackermann, Burghard Hoffmann, Leandro Soares Indrusiak, Manfred Glesner. Providing Memory Management Abstraction for Self-Reconfigurable Video Processing // International Journal of Reconfigurable Computing. Volume 2009 (2009). Article ID 851613, 15 pages. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/ijrc/2009/851613>.

# МЕХАТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ЗАПИРАНИЯ СЕЙФОВОГО ШКАФА

**Кириленко В.Д.**

*Научный руководитель: Юдин А.В.*

Центр детского творчества «На Вадковском», мастерская «Спортивная робототехника»  
НИТУ «МИСиС», лаборатория цифрового производства «FabLab»

## MECHATRONIC LOCKING DEVICE FOR A SAFE CABINET

**Kirilenko V.D.**

*Supervisor: Yudin A.V.*

Children's activity center "Na Vadkovskom", "Sports robotics" workshop  
NUST "MISIS", digital fabrication laboratory "FabLab"

### **Аннотация**

В работе описан аппаратно-программный комплекс защиты физических объектов путем предотвращения нежелательного доступа к ним случайных лиц. Аппаратная составляющая: простейшая покупная система типа «сейф», отдельно набор электро-механических и вычислительных компонентов, которые автор использует для создания собственного контура защиты, т.е. модернизации и улучшения базового решения. Программная составляющая реализована на микроконтроллере Atmega и позволяет настраивать имеющийся набор датчиков на различные схемы работы – формировать нужный пользователю код открывания сейфа, формировать его поведение в нештатных ситуациях взлома и т.п. Автор прикладывает усилия к тому, чтобы программирование новых функций мог освоить любой школьник. Система может быть интересна как простым пользователям, которым необходима исключительно возможность ограничения доступа к своим физическим объектам, так и разработчикам (в том числе любителям), которые хотят разработать/использовать собственные схемы защиты.

### **Abstract**

The paper describes a hardware-software complex protection of physical objects by preventing unwanted access from random people. The hardware component: simple purchased "safe", a separate set of electro-mechanical and computer components, which the author uses to create its own circuit protection, i.e. modernization and improvement of the basic solution. The software component is implemented on an Atmega microcontroller and allows one to customize the existing set of sensors for various work schemes - to form the desired user code for opening the safe, to form its behavior in emergency or break-in situations. The author makes an effort to ensure that the programming of new functions could be mastered by any schoolchild. The system may be of interest for ordinary users who need only the ability to limit access to some physical objects, as well as for developers (including amateurs) who want to develop /use their own protection scheme.

### **Введение**

Цель работы – модернизировать покупной сейф улучшив его защиту, а также сформировать собственные инструменты для дальнейшего упрощения подобных улучшений.

Задачи проекта включают следующие шаги:

- разобраться в устройстве покупного сейфа;
- удалить все «лишние» компоненты покупной системы;
- определить набор датчиков и исполнительных механизмов для формирования нового контура защиты;
- выбрать аппаратно-программную платформу для программирования контура защиты;
- собрать конструкцию модернизированного сейфа;
- запрограммировать пример контура защиты для демонстрации возможностей системы и штатного функционирования в дальнейшем.

На рис. 1 и 2 показаны базовый покупной сейф и детали, его составляющие.

Возможность самостоятельного добавления новых функций и простота программирования делают разработку актуальной для широкого круга лиц. Существующие аналоги либо очень просты (нет возможности перепрограммирования «поведения» сейфа), либо не предполагают возможностей установки дополнительных контуров защиты, либо излишне дороги.



Рисунок 1 – Исходный прототип устройства

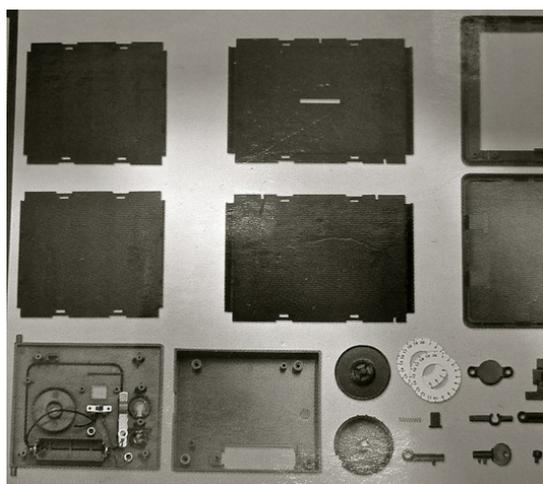


Рисунок 2 – Состав деталей исходного прототипа

Новинка может быть настроена под требования владельца и обладает более широким спектром возможностей по сравнению с обычным сейфом (включая звуковое оповещение при взломе). Возможность самостоятельной доработки и установки новых датчиков пользователем делает каждый подобный сейф уникальным, что исключает возможность взлома традиционными путями. Не исключается также возможность самообучения пользователя в процессе добавления собственных функций.

### Структура и принцип работы системы

Рассмотрим состав базового варианта разрабатываемой аппаратно-программной системы (рис.3). На рисунке представлены:

- Технический шкаф – закрытый кожух для систем управления, питания и сигнализации.
- Сейфовый шкаф – место хранения для защиты от проникновения.
- Дверца сейфового шкафа – используется для доступа к месту хранения.
- Плата управления – служит для программирования «поведения» всей системы.
- Механическая кнопка – дает информацию о положении Дверцы 3.
- Сервомашинка – по запросу с Платы управления 4 открывает и закрывает замок Дверцы 3.
- Оптический датчик – один из элементов для ввода кода открывания сейфа.
- Магнитный датчик – одно из дополнительных средств защиты.

Рассмотрим принцип работы модернизированного сейфа (рис.4). Изначально Дверца 3 закрыта Сервомашинкой 6. Для ввода кода необходимо соблюсти правильную задержку между поднесением руки к Оптическому датчику 7 несколько раз. Этот параметр настраивается в программе микроконтроллера на Плате управления. В случае неправильного ввода кода сейф блокируется на 30 секунд. Далее, если повторный ввод был также неправилен, сейф блокируется на длительный промежуток времени и включается звуковая сигнализация. Сигнализация выключается только магнитной картой поднесенной к Магнитному датчику 8 (блокировка же продолжается до ее штатного окончания). После ввода верного кода сейф требует приложения магнитной карты к считывателю 8. На приложение магнитной карты дается 30 секунд в случае окончания этого срока без приложения карты включается короткая блокировка (30 секунд), а при повторном вводе длинная и с сиреной. Если код и магнитная карта были введены и приложены правильно - то сейф разблокируется и Дверцу 3 можно открыть.

Положение дверцы фиксируется Кнопкой 5 установленной во внутренней части Сейфового шкафа 2.

Чтобы закрыть и заблокировать сейф необходимо закрыть Дверцу 3 и приложить магнитную карту к Магнитному датчику 8.

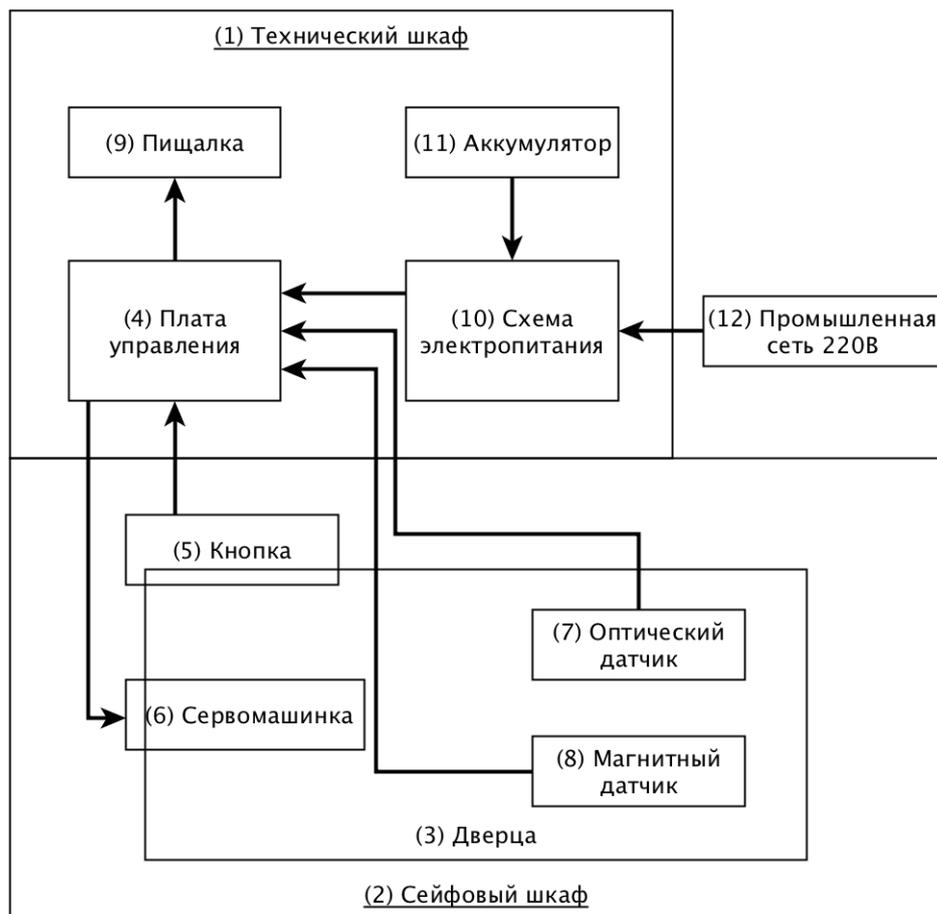


Рисунок 3 — Структурная схема мехатронного устройства

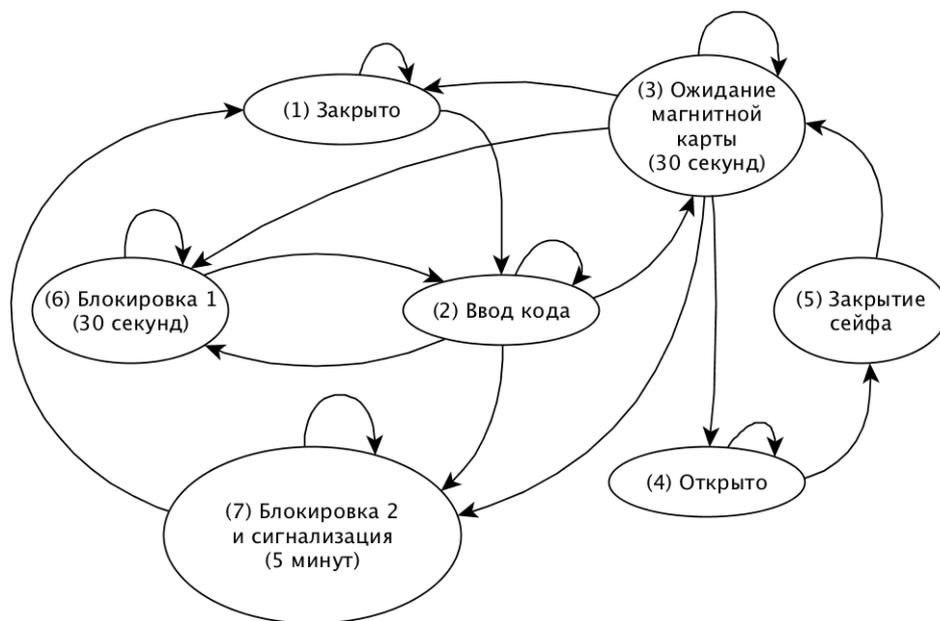


Рисунок 4 – Машина состояний мехатронного устройства сейфа

Рассмотрим принцип программирования сейфа (рисунок 5). В данном варианном исполнении микроконтроллер в составе системы позволяет настроить код ввода сейфа «под

себя», также регулируется частота звука сирены. Можно настроить условия блокировки сейфа, например, при нажатии кнопки внутри сейфа может потребоваться введение кода закрытия через Оптический датчик, закрытие Сервомашинки по поднесению магнитной карты к датчику 8 или просто автоматическое закрытие Сервомашинки.

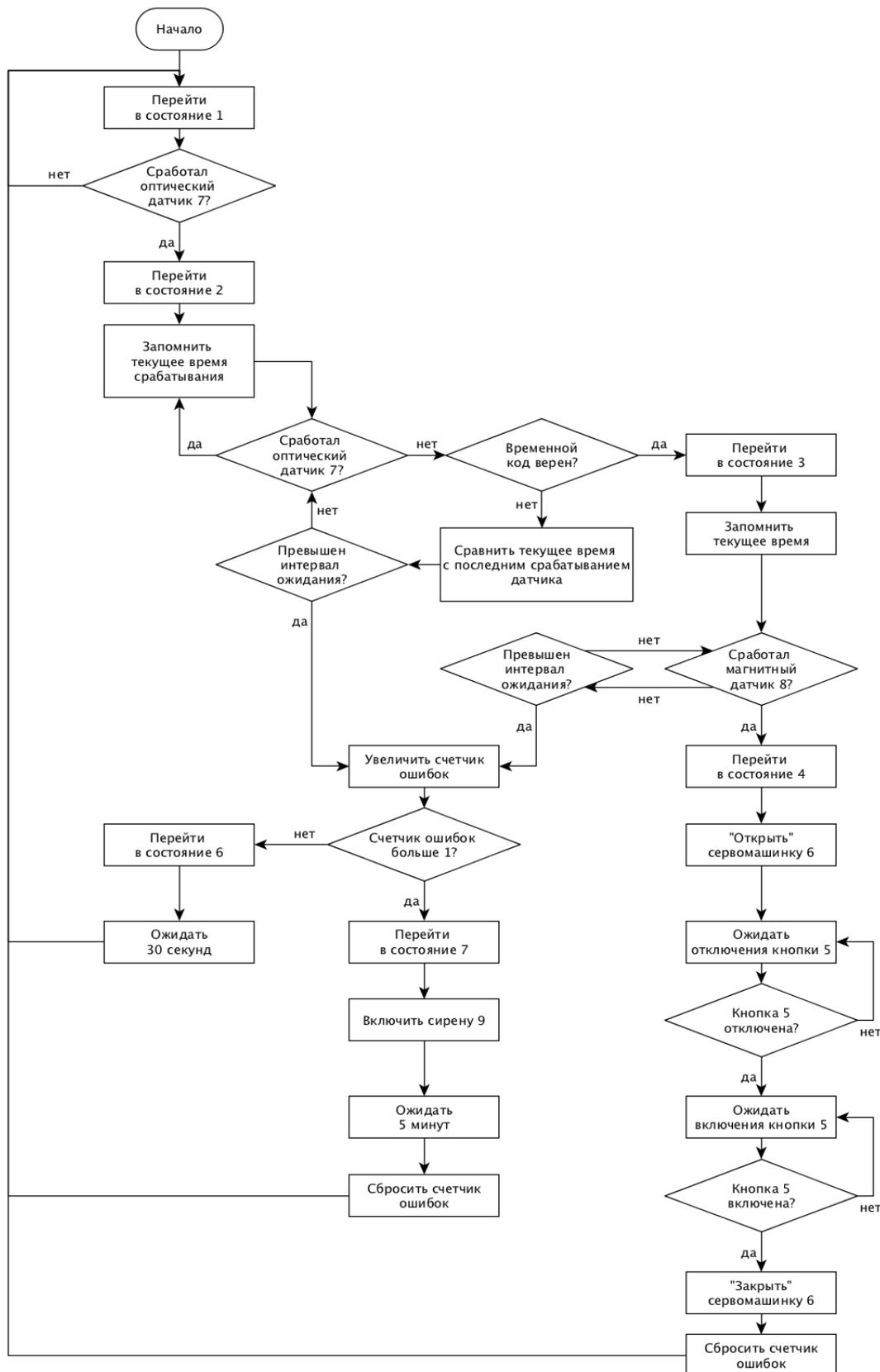


Рисунок 5 – Алгоритм работы программной части системы

На рисунке 6 и 7 можно видеть общий вид разработанной системы. Конструкция полностью соответствует структурной схеме на рисунке 3.



Рисунок 6 – Общий вид устройства (вид спереди)

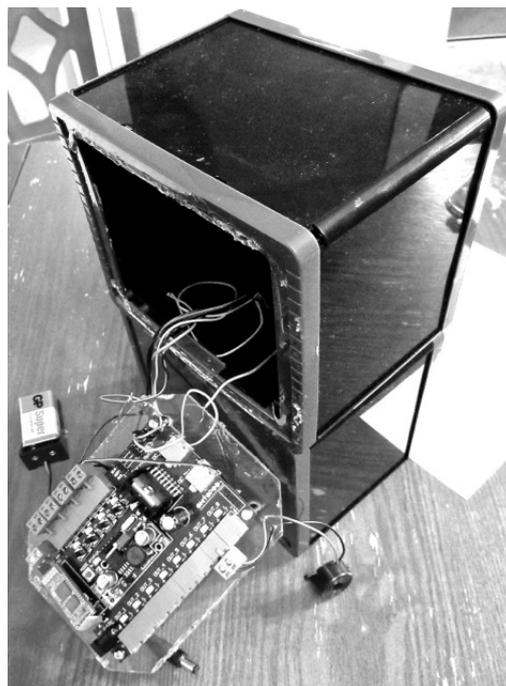


Рисунок 7 – Общий вид устройства (вид сзади)

На Рисунок 8 и 9 представлена Дверца системы в закрытом и открытом состоянии. На Дверце можно видеть датчики и Сервомашинку, описанные ранее.



Рисунок 8 – Дверца устройства (закрыта)

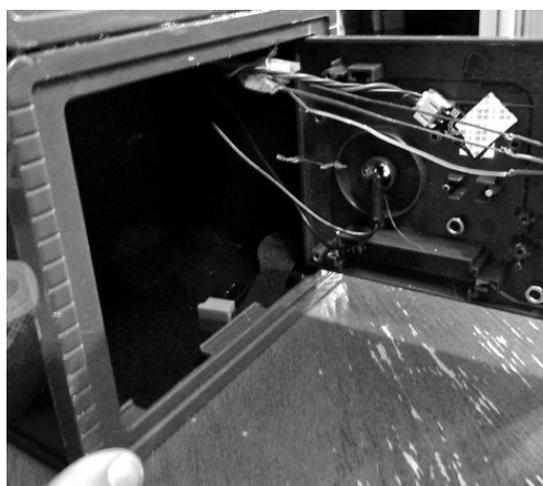


Рисунок 9 – Дверца устройства (открыта)

### Методика проектирования

В работе была использована методика проектирования устройства управления на примере контроллера быстрого прототипирования Oktopod Studio [1]. Кроме того, Oktopod Studio является платформой для разработки прототипов в таких областях как: мехатроника, робототехника, автоматизация.

Платформа состоит из Oktopod\_Board – автономное электронное устройство и Oktopod\_Control – программное обеспечение для программирования, управления и мониторинга Oktopod\_Board (рис.10).

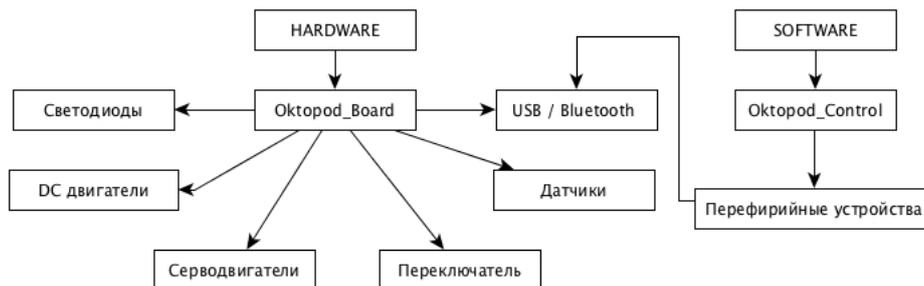


Рисунок 10 – Структурное описание устройства Oktopod Studio

Октопод\_Control запускается на отдельном компьютере и не требуется для функционирования запрограммированной Oktopod\_Board. Соединение между аппаратной и программной частями осуществляется с помощью Bluetooth или USB.

Октопод\_Board представляет собой программируемый логический контроллер, к которому можно подключить слаботочные электронные устройства, такие как: светодиоды, двигатели постоянного тока и серводвигатели, электромагниты, переключатели, фото, термо- и магнитные датчики, и т.п. Устройство состоит из 8 аналоговых выходов (до 3А), 2 драйверов двигателя постоянного тока, 3 драйверов серводвигателя, 4 цифровых входов, USB / Bluetooth модулей связи и входной схемы питания от 6-12В (Рисунок 11).



Рисунок 11 – Структурно-функциональная схема Oktopod\_Board

Октопод\_Control – программное обеспечение, которое разработано для персонального компьютера, а так же для мобильных телефонов на платформе Android. В случае телефона Oktopod\_Control можно использовать в качестве пульта дистанционного управления. Для прототипирования и отладки удобно использовать визуальную среду программирования

(рисунок 12). Для полноценного программирования имеется возможность выстраивать последовательности команд, выполняемых «параллельно».

Данная платформа как нельзя лучше подходит для прототипирования мехатронных систем.

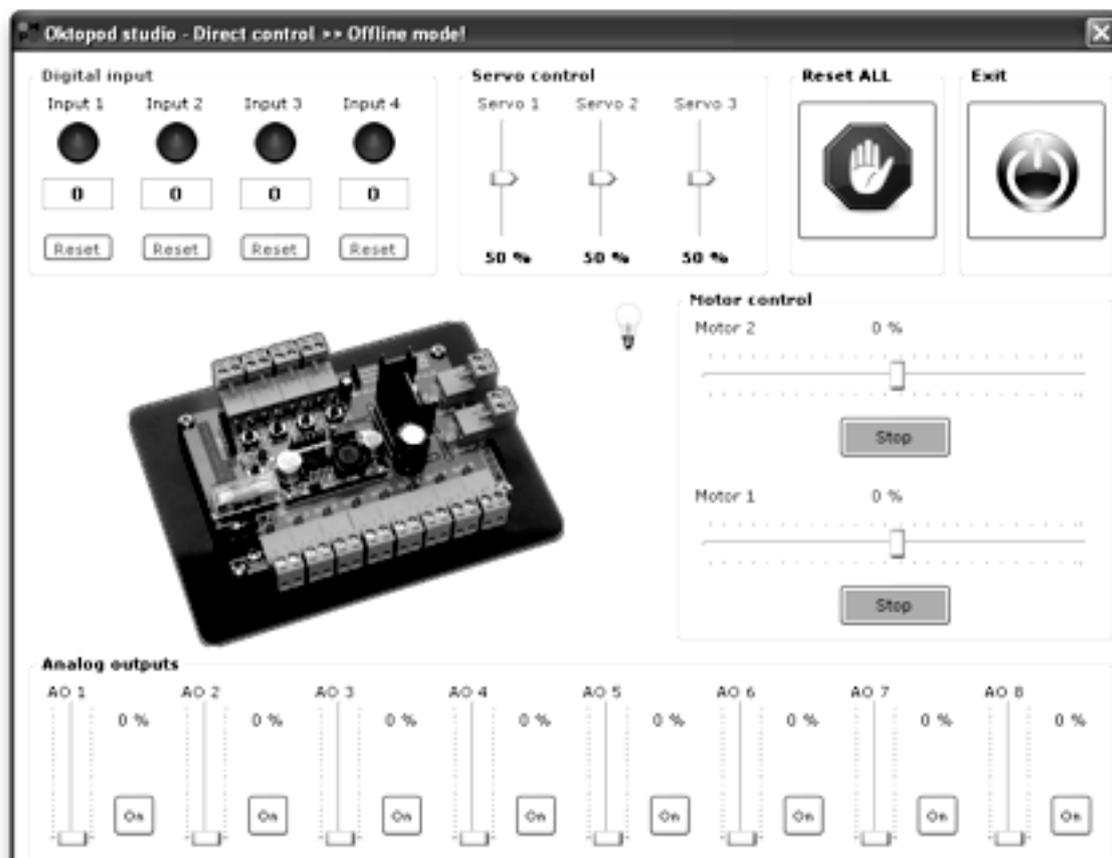


Рисунок 12 – Окно управления и мониторинга Oktopod\_Control

Для дальнейшей оптимизации и усложнения кода можно перейти на более сложную для освоения платформу, такую как Arduino.

## Заключение

Реализованная и описанная в данной работе аппаратно-программная система полностью отвечает поставленной цели, обозначенной во введении.

Следует отметить, что работа на данный момент носит характер рабочего прототипа и в случае положительной оценки пользователями будет дорабатываться до итоговой версии. Например, выбранный вариант Сейфового шкафа не обеспечивает достаточной степени сохранности содержимого, т. к. изготовлен из пластика и может быть легко вскрыт минуя разработанную систему охраны. Таким образом, для запуска системы в серию требуется еще решить как конструкторские так и исследовательские задачи.

В конструкционном плане прототип получился небольшой и непрочный поэтому в дальнейшем автор считает правильным работать в направлении увеличения объема хранения, прочности конструкции и усложнения ввода кода (в том числе добавления датчиков на новых физических принципах).

Отдельное направление для работы автор видит в разработке собственного программного кода для управления платой OktopoStudio. Имеющийся программный комплекс наряду с преимуществами быстрого освоения новым пользователем выявил ряд существенных недостатков, наиболее яркий – ограниченные возможности программирования.



Рисунок 13 – Автор с прототипом разрабатываемого устройства

Визуальное программирование происходит со значительными затратами времени, а повторное частичное использование ранее написанных элементов невозможно. Выполнение кода ограничено 3 потоками, которые выполняются «параллельно». Все это приводит к тому, что при усложнении поведения программы наступает момент, когда дальнейшее усложнение становится невозможным. Автор предлагает использовать аппаратные возможности платы при этом полностью переработав подход к программированию. Это возможно сделать предоставив пользователю библиотеку функций для управления платой на низком уровне, а также переработав графический интерфейс пользователя на высоком уровне.

Дальнейшие исследования по существу проекта автор планирует провести в направлении использования систем дополненной реальности. А именно, использования планшета, визуальной метки на сейфе и специального вновь разработанного программного обеспечения для взаимодействия с сейфом.

## Литература

1. Ваганов А.Л. Прототипирование мехатронного устройства в условиях современного цифрового производства // Сборник научных трудов. 16-ая Молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы - 2014". – Москва. 23 апреля 2014 г. – С.126-134.
2. Юлдашев М.Н., Зотьева Д.Е. Конструкторское решение для быстрого прототипирования электронных устройств // Сборник научных трудов. 15-ая Молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы - 2013". - Москва, 24 апреля 2013 г. – С.295-300.
3. Аппаратно-программная платформа OktopodStudio – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.oktopodstudio.com> – Проверено 10.11.2014г.
4. А.А.Андреев, А.И.Власов, В.Н.Гриднев и др. Методические указания по организации и проведению итоговой государственной аттестации бакалавров и магистров по направлению «Конструирование и технология электронных средств» : учебное пособие под ред. В.А.Шахнова. – М.: Изд-во НИИ РЛ МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2015. – 164 с.: ил.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА МАТЕРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

**Колесников М. А.**

*Научный руководитель: Юдин А. В.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM TO REPRODUCE A VIRTUAL IMAGE ON A MATERIAL PLANE

**Kolesnikov M. A.**

*Supervisor: Yudin A. V.*

BMSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В работе<sup>1</sup> приводится описание оригинального аппаратно-программного комплекса (устройства), которое с помощью специального программного обеспечения и алгоритмов управления позволяет вычерчивать кривые на материальной плоскости. Рисование происходит в ограниченном пространстве при помощи различных чертежных инструментов или материалов. Программный интерфейс высокого уровня написан на языке Smalltalk. Непосредственное управление на низком уровне осуществляет восьмибитный микроконтроллер Atmega. В работе помимо чисто функциональных требований к устройству учитывалась необходимость использования результатов в образовательной среде.

### **Abstract**

The paper describes the original hardware and software system (device), which with the help of special software and control algorithms allows you to plot the curves on the material plane. Painting takes place in a limited space with various drawing tools or materials. High-level programming interface is written in Smalltalk. Direct control at a low level carries an eight-bit microcontroller Atmega. In addition to the work of a purely functional requirements to take into account the need to use the device results in the educational environment.

### **Введение**

Данная работа посвящена описанию работы устройства, которое связывает виртуальное и материальное. Идея автора — показать в том числе и возможности виртуальной разработки, целью которой в инженерном деле всегда было создание реальных материальных конструкций и устройств, которые в свою очередь служили бы людям. Использование же возможностей современной вычислительной техники далеко не всегда замыкается на физический мир и очень часто разработчики, забывая об истинном назначении компьютеров, не выходят за пределы воображаемых виртуальных пространств, изобретая альтернативную “физику” и рождая тем самым в пределе альтернативную вселенную, со своими законами и правилами.

Два примера подходов к использованию вычислительной техники, которые высвечивают нужную нам разницу: виртуальная реальность и автоматизация производства. Изначально схожие между собой тем, что оба моделируют реальность посредством копирования известных законов природы, эти примеры расходятся в приложении их результатов: компьютерные игры и производство материальных объектов соответственно.

Конечно, автор не ставит под сомнение сами подходы, а скорее обращает внимание на продуктивное и непродуктивное использование их результатов. В этой связи необходимо подчеркнуть, что в рамках инженерных наук нас интересует в первую очередь создание реальных объектов, которые обладали бы нужными функциями и помогали бы человеку осваивать окружающую природу. Поэтому результат моделирования всегда должен соотноситься с реальным природным процессом. Проще говоря, любое моделирование должно заканчиваться приложением его результатов к реальному материальному миру и тем

---

<sup>1</sup> работа выполнена при поддержке лаборатории цифрового производства ФабЛаб при НИТУ МИСиС, центра технологической поддержки образования Департамента образования г.Москвы

самым выдерживать или не выдерживать проверку на достоверность применяемых механизмов.

Цель данной работы — описание устройства, способного механически воспроизводить на материальном плоском холсте изображение, задаваемое пользователем на виртуальном двумерном холсте.

Рассмотрим наиболее общие задачи, которые возникли у автора в результате создания подобного устройства:

- разобраться в принципе работы и управления сервоприводами (СП);
- изучить платформу Arduino;
- выбрать и изучить язык для создания интерфейса управления;
- обеспечить питание устройства;
- обеспечить согласованное вращение СП и перемещение крепежного элемента.

### Структурная схема устройства

Для того, чтобы понять, о каком устройстве идет речь, предлагается рассмотреть структурную схему, представленную на рис.1.

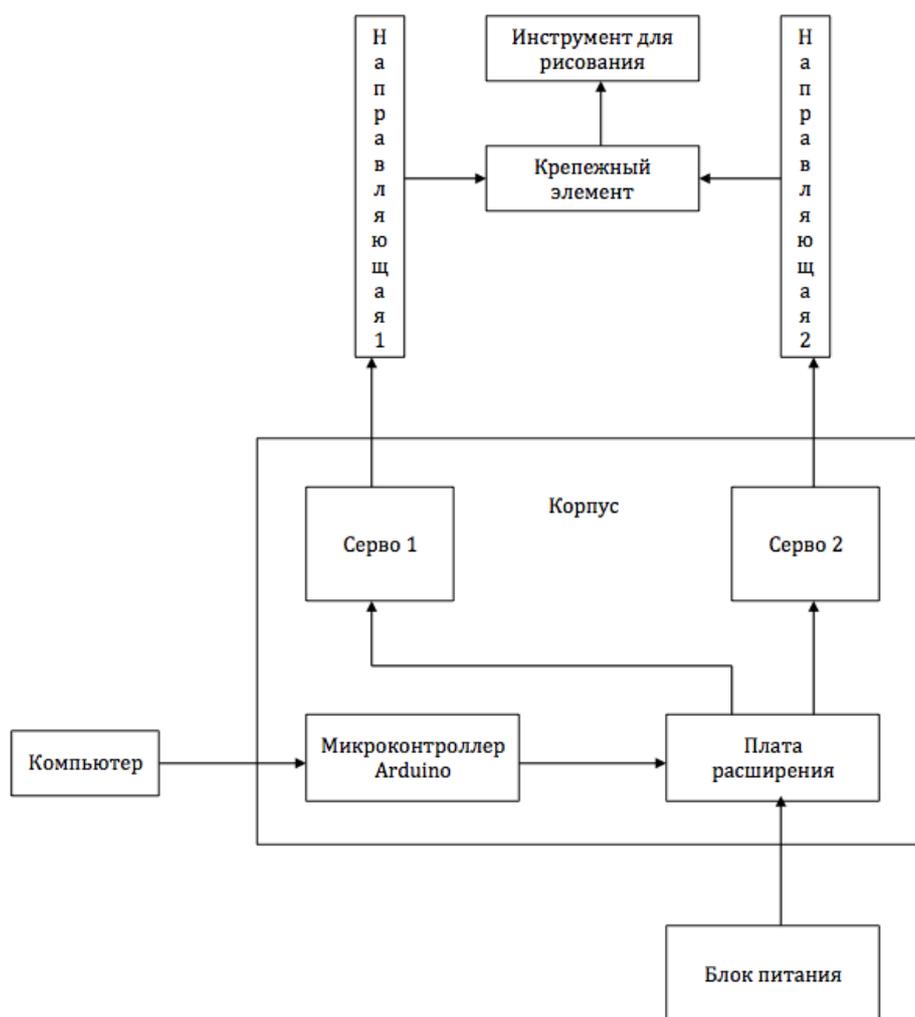


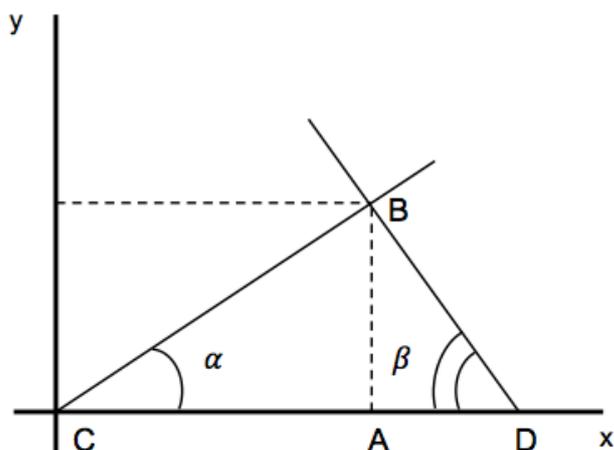
Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Для работы устройства необходим компьютер, с которого будут поступать данные на плату Arduino. Микроконтроллер их обрабатывает и посылает сигналы сервоприводам через плату расширения. Так как для управления сразу двумя серво питания, получаемого через USB-порт компьютера может оказаться недостаточно, подачу энергии было решено осуществить от сети через плату расширения. К серво прикреплены направляющие, по

которым передвигается крепежный элемент. Он выполняет несколько функций: соединение направляющих и крепление и удержание инструментов для рисования.

### Схема управления сервоприводами и анализ их применимости

Так как имеется возможность управлять только углами поворота СП, то необходимо вывести формулу, которая по заданным координатам будет устанавливать соответствующий угол на каждом из 2-х сервоприводов. Представим их в координатной плоскости (см. Рисунок 2) и приняв положение одной (серво С) из них за начало координат, так чтобы вторая (серво D) была на оси X в положительном направлении. Тогда положение задаваемой точки В будет определяться углами ВСА и ВDA. По заданным координатам точки не составляет труда вычислить угол наклона прямой СВ, а соответственно и угол поворота сервопривода С. Для вычисления угла наклона направляющей DB, необходимо установить расстояние между точками С и D (отрезок CD – константа, AC и AB – переменные), определяемое из экспериментов и расчетов точности СП.



$$\operatorname{arctg} \frac{AB}{AC} = \alpha$$

$$\operatorname{arctg} \frac{AB}{CD - AC} = \beta$$

Рисунок 2 – схема определения углов поворота сервоприводов

Сервоприводы, используемые в данном проекте обладают посредственной точностью, что требует отдельного анализа областей, в которых рисование устойчиво и тех, в которых ошибки достигают слишком большого значения. Для одной серво, обладающей шагом в  $1,5^\circ$ , область достаточной точности (область I на Рисунок 3) составляет окружность радиуса  $R \cong 80$  мм, так как при дальнейшем отдалении от СП (область II на Рисунок 3) погрешность  $\delta$  становится более 3 мм (без учета дефектов сборки сервопривода), что на практике довольно сильно понижает качество изображения.

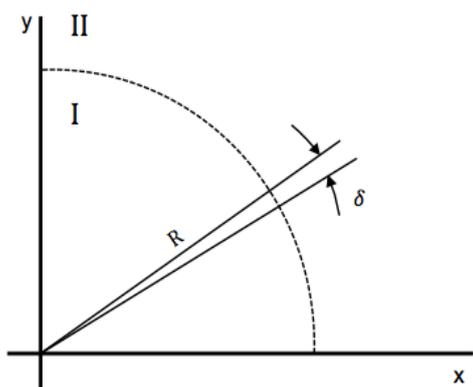


Рисунок 3

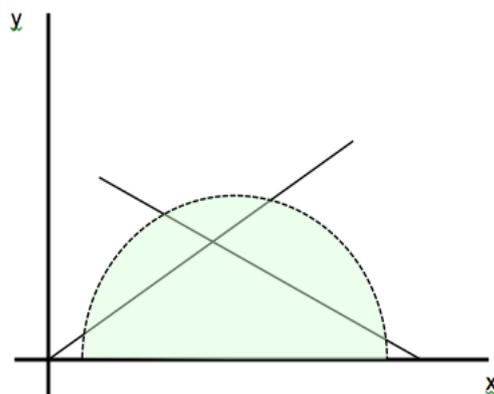


Рисунок 4

Суммируя вышеуказанные области от двух сервоприводов, получаем полуокружность радиуса 70 мм с центром между сервоприводами (зеленая область на Рисунок 4).

### Машина состояний и алгоритм работы программной части

Разрабатываемое устройство имеет 6 основных состояний, представленных на Рисунок 5. Состояния 7-9 являются вспомогательными и описывают процесс перемещения инструмента.

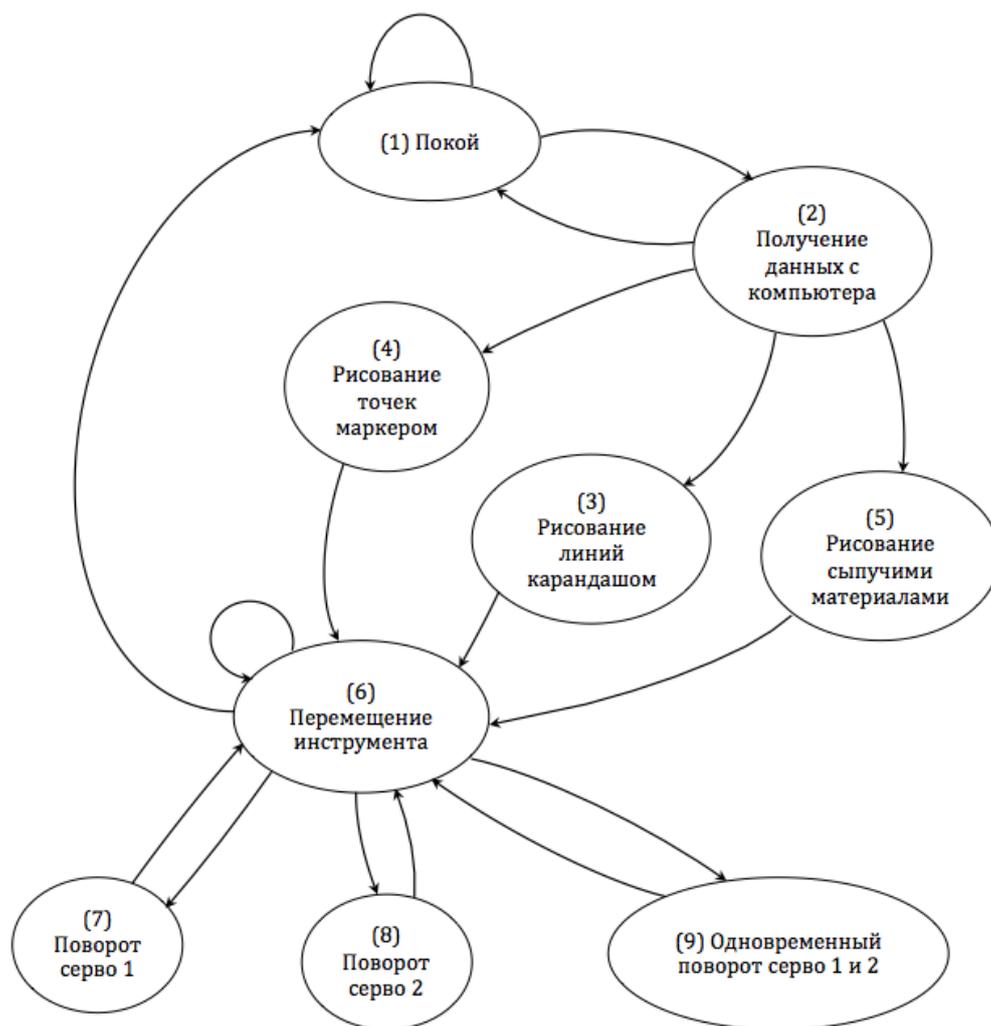


Рисунок 5 – Машина состояний

Программная составляющая устройства включает в себя две взаимосвязанные части.

Первая – интерфейс управления для компьютера (Рисунок 6), разработанный на диалекте Squeak языка Smalltalk. Он был выбран по причине того, что написанный на нем код имеет графическое отображение. Это позволило создать интерфейс управления без использования дополнительных программных средств.

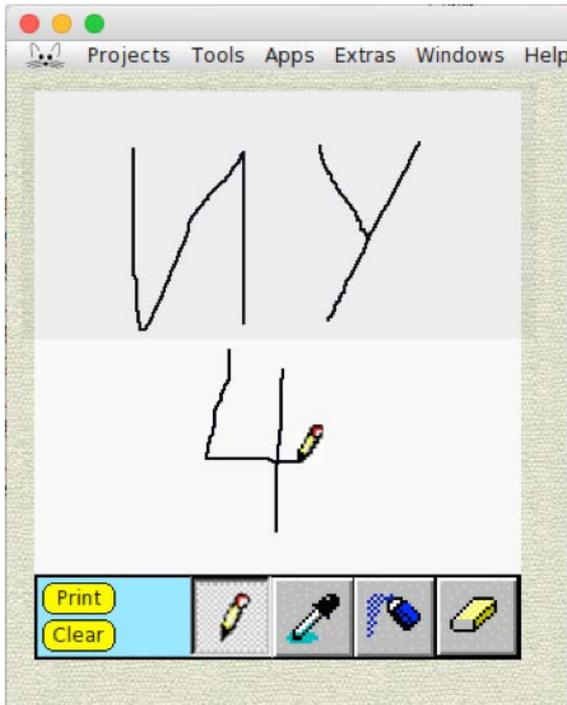


Рисунок 6 – Интерфейс управления

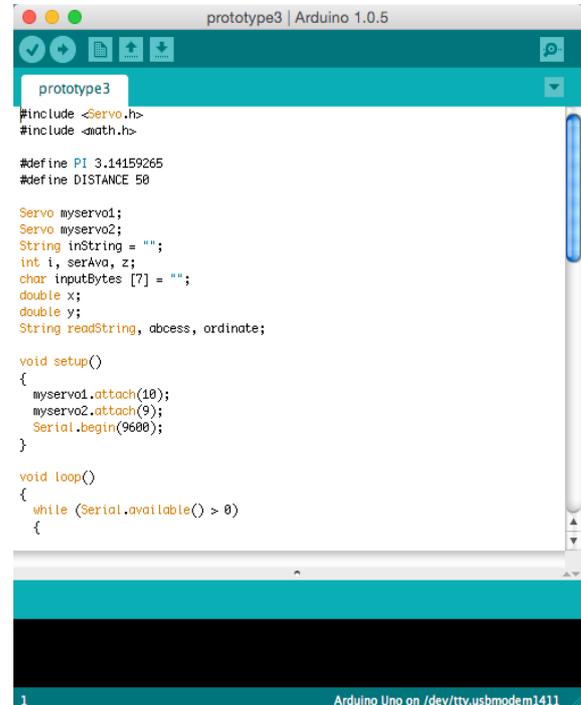


Рисунок 7 – Среда разработки Arduino

Интерфейс управления представляет собой область регулируемого размера, в границах которой пользователь, используя мышь, создает желаемое изображение, и панель инструментов. С ее помощью можно выбрать один из режимов: карандаш служит для рисования линий, маркер – для точек, распылитель – для сыпучих материалов, ластик предназначен для корректировки изображения. Так же на панели инструментов имеется две кнопки: «Печать» («Print»), для начала воспроизведения устройством созданного изображения, и «Очистить» («Clear»), для создания пустого холста. При работе в режиме распылителя необходим учет скорости перемещения крепежного элемента, к которому присоединяются инструменты, так как при отдалении его от сервоприводов, его скорость перемещения возрастает и распределение песка получается неравномерным. Для того чтобы преодолеть это, в затемненной области на Рисунок 6 увеличивается дозирование сыпучего материала в единицу времени.

Вторая часть служит для интерпретации получаемых с компьютера данных и управления сервоприводами. Она реализована на программной платформе Arduino – одной из самых распространенных и удобных для программирования различной аппаратуры (Рисунок 7).

Общий алгоритм работы системы представлен на Рисунок 8.

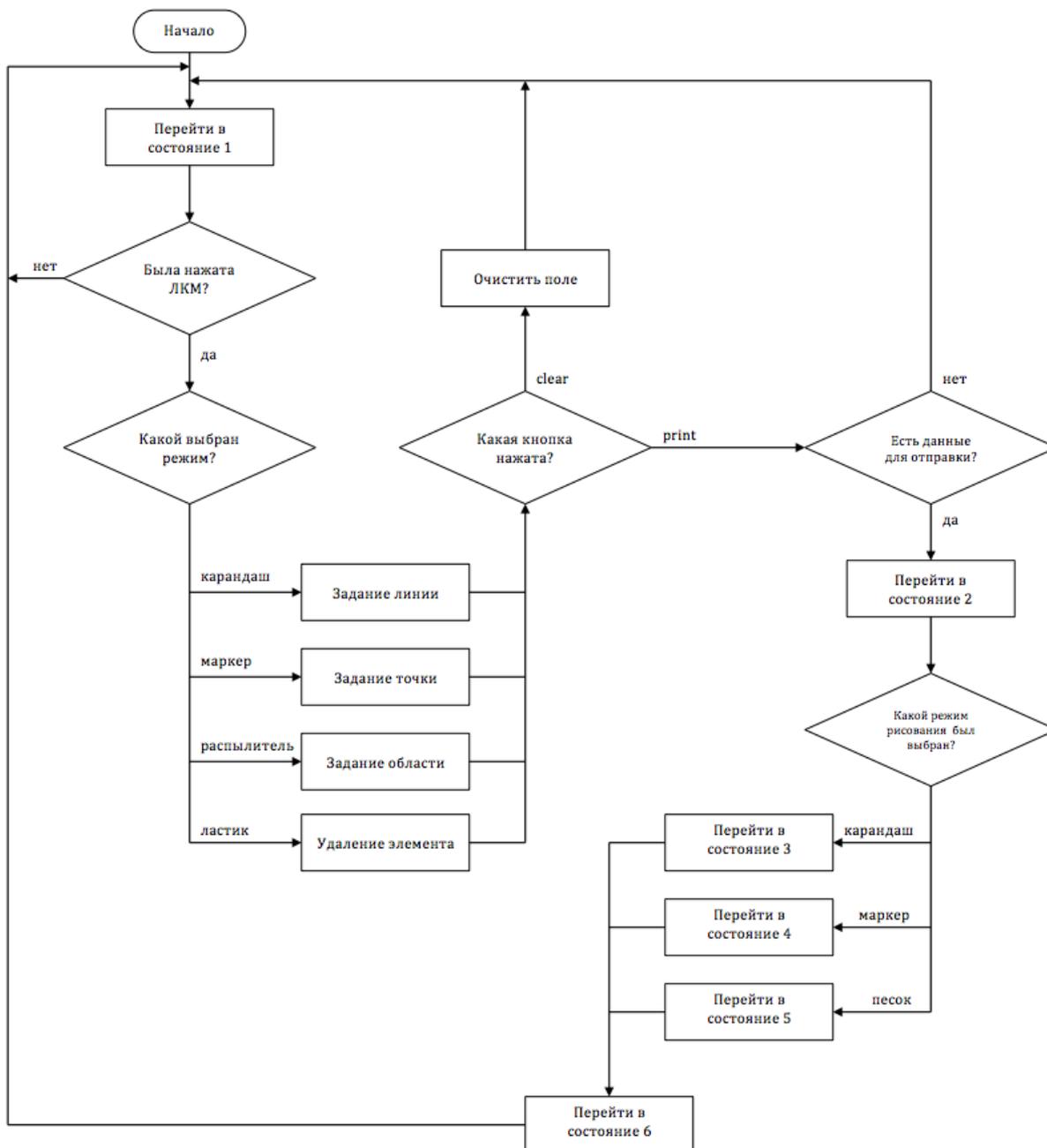


Рисунок 8 – Алгоритм работы программной части системы

Алгоритм позволяет управлять аппаратной частью комплекса посредством формирования управляющих воздействий в цепочке компьютер-контроллер-механизм.

### Аппаратная часть

В данном устройстве была использована методика проектирования устройства на основе микроконтроллера быстрого прототипирования Arduino Uno. Данная плата представляет собой автономное программируемое электронное устройство, состоящее из 6 аналоговых и 14 цифровых выходов, 5 выходов питания, разъема питания и USB-порта, через который осуществляется соединение с компьютером (Рисунок 9). Программирование Arduino осуществляется с помощью специальной программной оболочки на языке C++, содержащим некоторые особенности и изменения.

Для обеспечения перемещения крепежного элемента использовались два стандартных сервопривода (Рисунок 10).

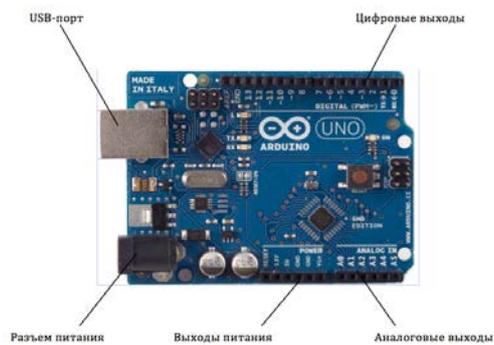


Рисунок 9 – Структурно-функциональная схема платы Arduino Uno      Рисунок 10 – Сервопривод Impact IS 4.5

Общий вид устройства представлен на рисунке 11.

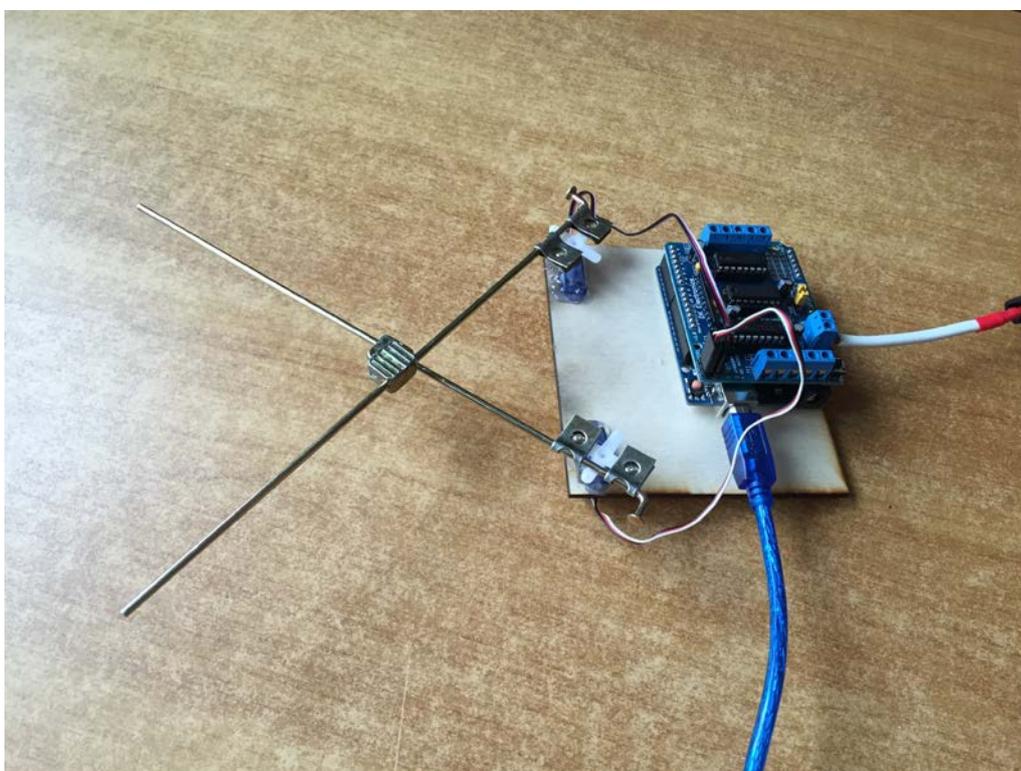


Рисунок 11 – Общий вид устройства

Платы и сервоприводы для удобства были помещены на одну платформу, вырезанную с помощью станка лазерной резки из листа фанеры.

## Заключение

Реализованный автором и описанный в данной работе аппаратно-программный комплекс полностью отвечает поставленной цели, обозначенной во введении.

Следует отметить, что разработанное устройство является рабочим прототипом и данная работа отражает текущее состояние проекта, которое еще далеко до завершения.

В конструкционном плане модель получилась достаточно больших размеров и обладает посредственной точностью, однако данное ограничение не является тупиковым хотя бы потому, что его можно преодолеть использованием более качественных материалов и комплектующих. Результаты работы подтверждают работоспособность изначальной идеи автора и позволяют говорить о дальнейшем продолжении работы до завершения проекта.

Автор планирует продолжить начатую работу в сторону повышения качества, точности и эргономичности устройства, а также добавить возможность дистанционного управления со смартфона. Интересными направлениями для исследования являются инструменты дополненной реальности и дальнейшая работа над обеспечением связи подобных устройств виртуальной реальности с реальным миром.

## Литература

1. Программирование Arduino. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://arduino.ru/Reference>. Проверено 31.01.15.
2. Ваганов А. Л. Прототипирование мехатронного устройства в условиях современного цифрового производства // Сборник научных трудов. 16-я Молодежная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2014». – Москва. 23 апреля 2014 г. – С.310-313.
3. Andrew P. Black “Squeak by Example” – Switzerland: SBA, 2007.
4. ГОСТ 19.701-90 – Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.
5. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В. Журавлева, Л.А. Зинченко, В.А. Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий , курсовых работ и проектов/ под ред. В.А. Шахнова. – М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 53 с.: ил.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССНЫХ ОКОН ОПЕРАЦИИ ЛИТОГРАФИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СБИС

Ковалев Д.Д.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация*

*Научный консультант: к.т.н. Гладких А.А.,  
НИИСИ РАН, Москва, Российская Федерация*

## USE OF PROCESS WINDOWS OF LITHOGRAPHY IN VLSI MANUFACTURING

Kovalev D.D.

*Supervisor of studies: Candidate of technical science, assistant professor Makarchuk V.V.,  
BMSTU, Moscow, Russian Federation*

*Consulter of studies: Candidate of technical science Gladkikh A.A.,  
SRISA RAS, Moscow, Russian Federation*

### Аннотация

Работа посвящена описанию методики построения процессных окон, необходимых для определения параметров операции литографии. Проанализированы характеристики профиля защитной маски резиста, а также параметры операции литографии и ее стабильности. Выбранные с помощью описанного подхода параметры литографического процесса должны обеспечить одновременно высокую воспроизводимость размеров как одиночных, так и групповых топологических фигур с заданным допуском при колебании параметров процесса в допустимых пределах.

### Abstract

The paper is devoted to description of a technique of process window's building. The process windows are needed to determine the parameters of lithography. Characteristics of resist profile, parameters of lithography and its stability are analyzed. Selected by the described technique lithographic process parameters should provide simultaneously a high reproducibility of the size of both single and group topological shapes with a given tolerance in condition of movement process parameters within acceptable limits.

### Введение

Широкое распространение и микроминиатюризация электронной аппаратуры вынуждает ее разработчиков искать пути дальнейшего повышения степени интеграции СБИС как с целью увеличения их производительности, так и для расширения функциональных возможностей. Для реализации этой тенденции необходимо сокращать размеры элементов на кристалле. При этом основной операцией, используемой при воспроизведении топологии СБИС, является оптическая литография. Однако уже при размерах элементов, сопоставимых с длиной волны экспонирующего излучения, возникают негативные эффекты, ухудшающие воспроизводимость топологического рисунка, такие как, например, эффект оптической близости [1]. Таким образом, появляется необходимость совершенствования технологического оборудования оптической литографии.

В связи с этим необходимо наличие инструмента, позволяющего с достаточной степенью точности предсказать результат выполнения литографических операций, что позволит повысить процент выхода годных, снизить затраты на проведение экспериментов и дополнительных исследований, сократить время освоения производства СБИС. Результатом применения подобного инструмента должны быть параметры технологического процесса, позволяющие добиться разброса контролируемых параметров в заданных пределах допуска при определенной нестабильности самого технологического процесса. Одним из подходов к реализации подобного инструмента является использование так называемых процессных окон, построенных методом математического моделирования. Под процессным окном понимают интервал допустимых значений одного или нескольких параметров технологической операции в совокупности, при нахождении в котором текущих значений параметров будет обеспечен выпуск годной продукции.

Вопросам построения процессных окон применительно к операции литографии и посвящена настоящая работа.

Ранее математическое моделирование литографических процессов было отражено в работах Р. Дилла (R. Dill) [2], К. Мака (C. Mack) [1, 3-5], Г. Левинсона (H.J. Levinson) [6], Родионова И.А. [7], Домненко В.М. [8], Ивина В.В. [9].

В области математического моделирования литографических процессов имеется большое количество коммерчески доступных программ, осуществляющих моделирование как отдельных операций, так всего литографического процесса в целом. Как правило, стоимость оснащения одного рабочего места наиболее функциональными из подобных программ составляет несколько тысяч долларов США, что делает затруднительным и неоправданным их использование в исследовательских (некоммерческих) проектах. Среди наиболее известных и часто используемых программ подобного назначения стоит отметить зарубежные САПР Sample и Prolith, а также программный комплекс по моделированию оптической литографии PHOTO-LAMZ, LASER-LAMZ, MASK-LAMZ, разработанный в лаборатории Математического моделирования физико-технологических процессов микроэлектроники Физико-технологического института РАН [9]. Необходимо добавить, что названные программные продукты не всегда предоставляют функционал, требуемый для проведения интересующих исследований, что является предпосылкой для разработки собственной САПР литографического моделирования.

Цель данной работы заключается в рассмотрении алгоритма построения процессных окон литографической операции для дальнейшей разработки программного модуля, реализующего построение совмещенного процессного окна и позволяющего определять параметры технологического процесса проекционной литографии для любого конкретного производства СБИС с тем, чтобы стабильно воспроизводить как групповые, так и одиночные топологические структуры одновременно. Данный модуль будет являться составной частью отечественной САПР литографического моделирования «Optolithium» [10].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать профиль защитной маски, образованной резистом, чтобы определить характеристики, которые необходимо контролировать при производстве СБИС;
- проанализировать подходы к аппроксимации профиля защитной маски, образованного резистом на поверхности СБИС, чтобы в результате аппроксимации получить возможность определения интересующих параметров профиля;
- проанализировать характеристики литографического процесса, чтобы иметь возможность прогнозирования его стабильности;
- выявить основные этапы построения процессных окон и выбора рекомендуемых значений характеристик литографического процесса с целью возможности алгоритмизации и реализации в виде программного модуля.

Рассмотрим подробнее сформулированные задачи.

### **1 Аппроксимация профиля защитной маски, образованной резистом**

Известно, что в реальном профиле проявленного резиста в результате явления интерференции, как правило, присутствуют стоячие волны (англ. «standing waves»), «пьедестал» (англ. «resist foot»), Т-образная верхушка (англ. «T-top», также «T-cap») и др. Наличие этих искажений требует адекватной аппроксимации проявленного профиля для определения его технологических параметров, таких как: контролируемый линейный размер, потеря резиста, угол наклона боковой стенки профиля.

Наиболее распространенной моделью для аппроксимации профиля проявленного резиста является трапеция, что представлено на рисунке 1 [3].

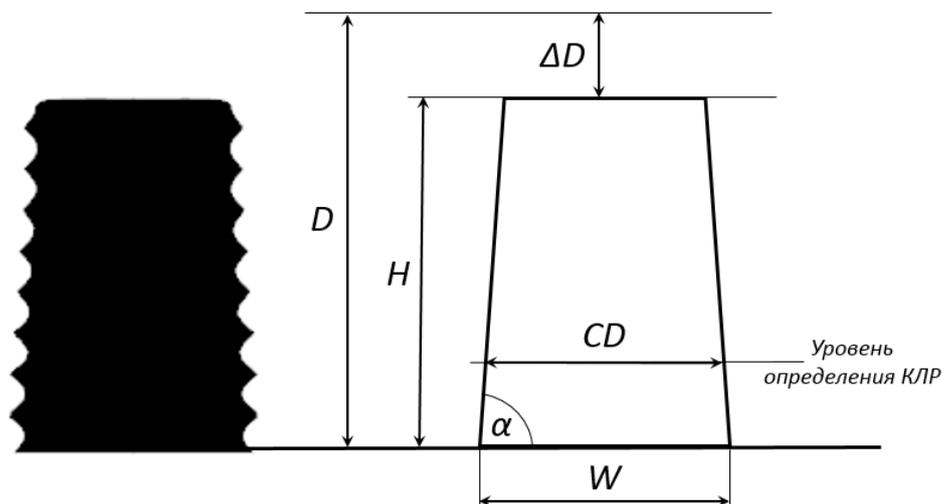


Рисунок 1 – Основные характеристики профиля проявленного резиста ( $CD$  – критический размер,  $W$  – толщина нижнего основания,  $\alpha$  – угол наклона стенок профиля защитной маски,  $\Delta D/D$  – потеря толщины резиста,  $D$  – толщина резиста до проявления,  $H$  – остаточная толщина профиля защитной маски)

Рассмотрим приведенные выше технологические параметры подробнее с целью определения ограничений на их значения (см. рисунок 1):

- критический линейный размер (КЛР) (англ. «critical dimension, CD»). Данный параметр характеризует ширину профиля проявленного резиста в заданном месте и на заданном уровне. Обычно полагают, что допустимыми являются значения КЛР в пределах  $\pm 10\%$  от номинального значения;

- угол наклона стенок профиля проявленного резиста (англ. «resist slope»). Как правило, чем ближе наклон стенок профиля к вертикальному, тем лучше характеристики создаваемых полупроводниковых устройств, поэтому в качестве допустимого диапазона обычно принимается  $90^\circ \pm 10^\circ$ ;

- потеря толщины резиста (англ. «resist loss»). В некоторых обстоятельствах (например, если создаваемая защитная пленка будет в дальнейшем использоваться для избирательного травления нижележащего слоя) существенным является требование на минимальную высоту защитного слоя, остающуюся после проявления. Данное ограничение удобно задавать как максимально допустимую потерю относительной толщины резиста, например,  $10\%$  от высоты пленки до проявления.

Следует отметить, что как номинальные значения вышеуказанных параметров, так и их допустимые отклонения определяются размерами и геометрией создаваемых устройств, а также особенностями тех технологических процессов, для которых создается резистивная пленка.

## 2 Анализ характеристик литографического процесса

Наиболее важными характеристиками литографического процесса являются его разрешающая способность (англ. «resolution»), глубина фокуса (англ. «depth of focus, DOF»), а также доза экспонирования (англ. «exposure dose»).

Как правило, каждый резист имеет определенное значение дозы ( $\text{мДж}/\text{см}^2$ ), необходимой для экспонирования. При недостаточной дозе могут возникнуть проблемы с проявлением фоторезиста, а чрезмерное экспонирование может вызвать повреждения плёнки фоторезиста.

Важность второго параметра обусловлена тем обстоятельством, что современные СБИС имеют непланарную структуру, т.е. различные области нанесенного слоя резиста могут находиться на разных вертикальных уровнях.

Из теории формирования изображения проекционной оптической системой известно [1], что разрешающая способность и глубина фокуса, определяемая по минимально разрешимому элементу, связаны с длиной волны экспонирующего излучения  $\lambda$  и числовой апертурой объектива NA (англ. «numeric aperture») согласно выражениям (1) и (2).

$$Res = k_1 \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

$$DOF = 2k_2 \frac{\lambda}{NA^2} \quad (2)$$

где случай  $k_1 = k_2 = 1/2$  соответствует дифракционному пределу разрешения.

Определение оптимальных (с точки зрения воспроизводимости размеров топологических структур СБИС) значений расфокусировки проекционной системы и дозы экспонирования в оптической литографии проводится одновременно, поскольку чувствительность литографического процесса к изменению одного из указанных параметров существенно зависит от значения другого. В силу целого ряда систематических и случайных погрешностей в оптической системе разброс параметров может достигать порядка 1 мкм для расфокусировки и 20% от номинального значения для дозы экспонирования. В связи с этим, в качестве номинальных выбираются такие значения, при которых возможно устойчивое воспроизведение топологических структур с заданными характеристиками, с учетом неконтролируемого ухода одного или обоих параметров в заданных пределах.

### 3 Основные этапы построения процессных окон

Количественными характеристиками устойчивости литографического процесса к уходу расфокусировки и дозы экспонирования являются допустимая глубина фокуса ( $DOF_{allow}$ ) и допустимый разброс по дозе экспонирования (англ. «exposure latitude, EL»). Допустимая глубина фокуса определяется согласно выражению (3):

$$DOF_{allow} = F_{up} - F_{low} \quad (3)$$

где  $F_{up}$ ,  $F_{low}$  – верхняя и нижняя границы диапазона допустимых значений расфокусировки.

Допустимый разброс по дозе экспонирования определяется согласно выражению (4):

$$EL = \frac{D_{up} - D_{low}}{D_{nom}}; D_{nom} = \frac{D_{up} + D_{low}}{2}; \quad (4)$$

где  $D_{up}$ ,  $D_{low}$ ,  $D_{nom}$  – соответственно верхняя и нижняя границы диапазона допустимых значений дозы экспонирования и ее номинальное значение.

Рассмотренные ранее параметры профиля (потеря резиста, КЛР, угол наклона профиля резиста), зависят как от дозы экспонирования, так и от значения расфокусировки. На рисунке 2 [1] зависимость КЛР от дозы экспонирования отображена в виде кривых Боссунга, представляющих собой зависимость КЛР от фокуса для фиксированного значения дозы экспонирования.

Предположим, что номинальное значение КЛР 100 нм, а допуск на значение КЛР  $\pm 10$  нм. Из рисунка 2 видно, что при малых значениях дозы экспонирования (14 мДж/см<sup>2</sup>) наблюдается недостаточное проявление (итоговое значение КЛР больше номинального при любых значениях расфокусировки), а при больших – излишнее проявление (итоговое значение КЛР меньше номинального при любых значениях расфокусировки). Если же выбрать значения дозы экспонирования в пределах от 18 до 22 мДж/см<sup>2</sup>, то глубина фокуса, при которой итоговое значение КЛР удовлетворяет требованиям, будет наибольшей: от -0,17 до 0,0 мкм. Таким образом, заштрихованная область является областью значений параметров

литографического процесса, при которых соблюдаются требования на итоговое значение КЛР. Данный способ позволяет определить границы процессного окна лишь по одному из контролируемых параметров и является неточным.

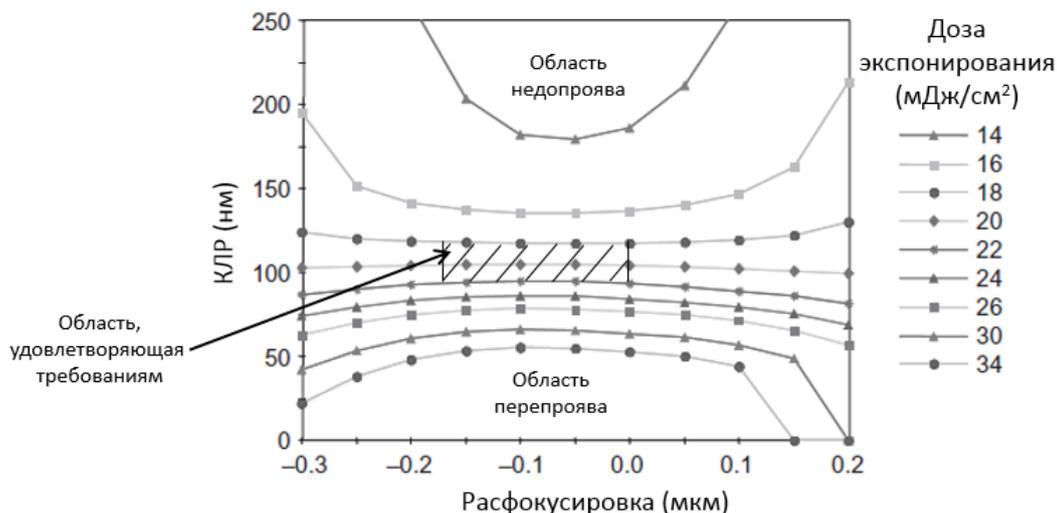


Рисунок 2 – Кривые Боссунга, показывающие зависимость КЛР от фокуса и дозы экспонирования (номинальное значение КЛР 100 нм)

Для одновременной оценки изменения параметров профиля от расфокусировки и дозы используются матрицы фокус-доза (англ. «focus-exposure matrix, FEM»), где в качестве индексов выступают значения дозы и расфокусировки, а в ячейках для данных значений записывается значение параметра профиля (КЛР, потеря резиста, угол наклона). Графически удобнее отобразить FEM с использованием линий уровня контролируемого параметра (рисунок 3а). Подобная матрица может быть составлена для каждого из интересующих параметров.

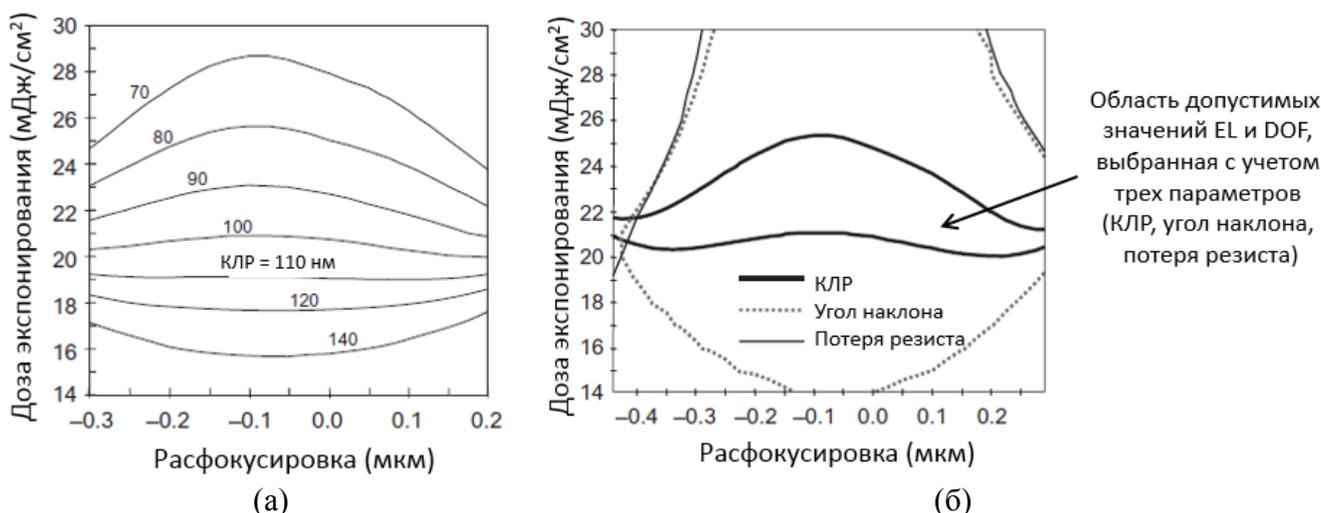


Рисунок 3 – Графическое отображение матрицы фокус-доза

(а) линии уровня КЛР; (б) пересечение контуров допустимых значений параметров КЛР, угла наклона и потери резиста

Следующий шаг построения процессного окна – это выделение области допустимых значений. Для этого необходимо выполнить пересечение областей допустимых значений по каждому параметру. Эти области ограничены контурами, составленными из линий уровня, соответствующих границам поля допуска для каждого параметра.

Для определения рекомендуемых параметров технологического процесса необходимо задаться значением  $EL$  или  $DOF_{allow}$ . В том случае если отклонения параметров технологического процесса имеют систематический характер, то процессное окно будет иметь вид прямоугольника, а если случайный – то вид эллипса (рисунок 4а). Координаты точки центра фигуры (пересечение диагоналей прямоугольника, либо осей эллипса) представляют собой рекомендуемые значения параметров технологического процесса, а сама фигура – процессное окно для заданных допусков на контролируемые параметры.

Для случая, если задано, например, значение  $EL$ , то в область допустимых значений, определенную на предыдущем шаге, необходимо вписать прямоугольник (эллипс) таким образом, что его ширина (горизонтальная ось) была максимальна, а отношение высоты (вертикальной оси эллипса) к вертикальной координате центра вписываемой фигуры была не меньше заданного  $EL$  (рисунок 4).

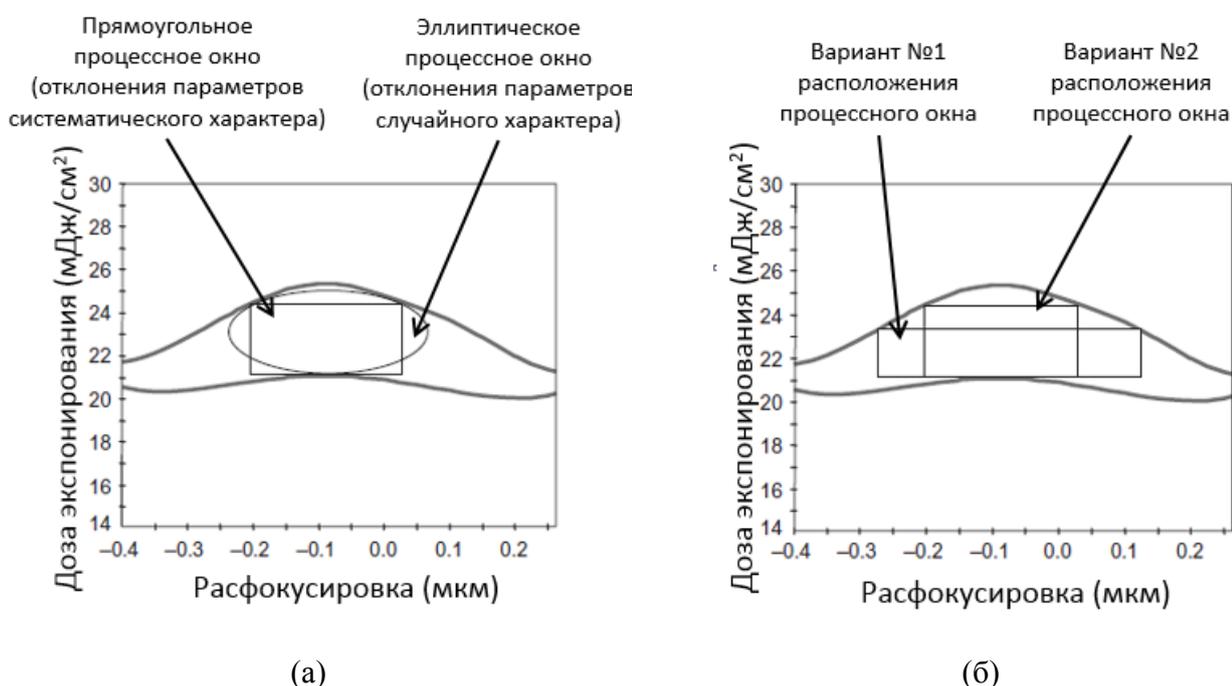


Рисунок 4 – Иллюстрация к построению процессного окна

(а) различные формы процессного окна; (б) поиск процессного окна с максимальной площадью

Как видно из рисунка 4б, для увеличения  $DOF_{allow}$  нужно добиваться снижения  $EL$  (вариант №1 расположения процессного окна), и наоборот, расширение  $EL$  приводит к сужению  $DOF_{allow}$  (вариант №2). В том случае если оба полученных значения ( $EL$  и  $DOF_{allow}$ ) являются неприемлемо низкими, приходится проводить дополнительную коррекцию технологического процесса.

Стоит отметить, что найденные с помощью вышеописанной методики рекомендуемые значения расфокусировки и дозы будут различными для разных типов элементов [3], в частности для одиночных и групповых топологических структур (структура считается групповой, если расстояние между соседними элементами одинаковой геометрии соизмеримо с размерами самих элементов).

На рисунке 5 представлен график, который показывает, что зависимости параметров профиля для одиночной и групповой структур существенно различаются.

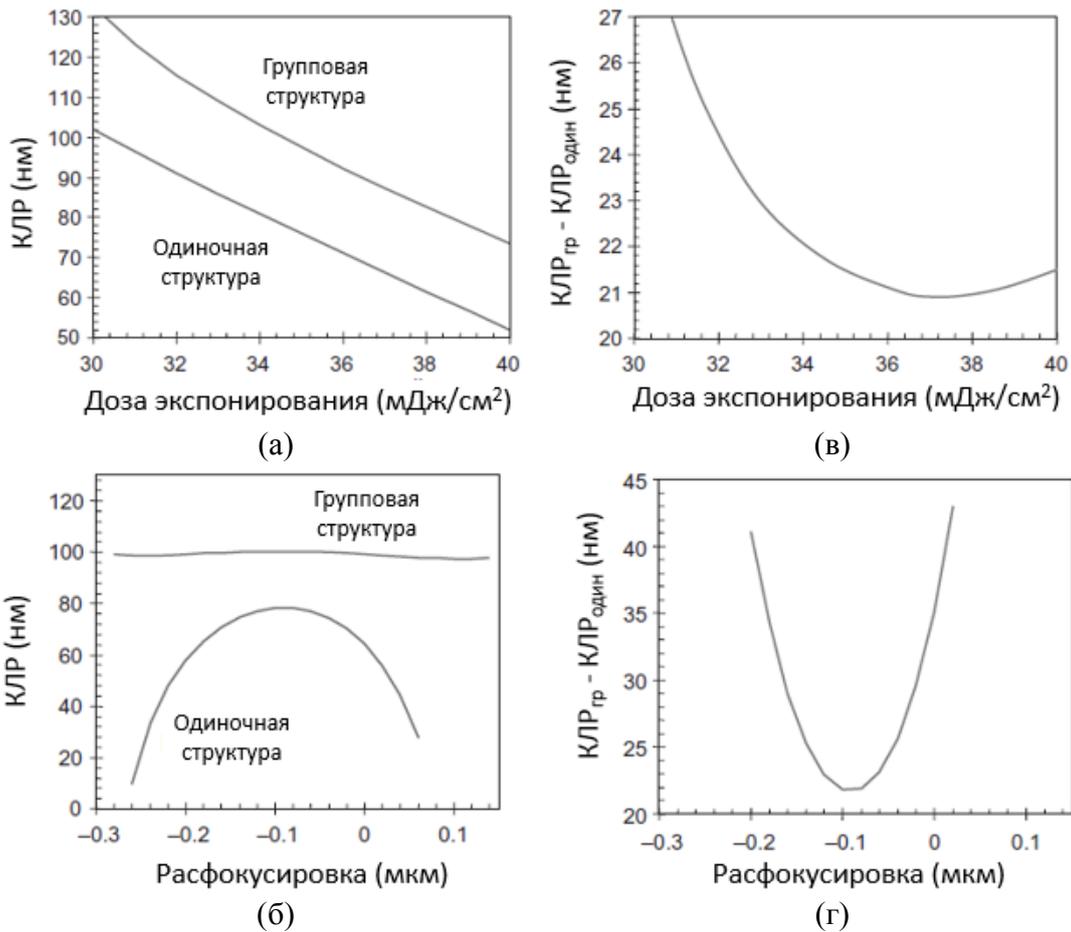


Рисунок 5 – Зависимости параметров от расфокусировки и дозы экспонирования для одиночной и групповой структур  
 (а) КЛР линий от дозы экспонирования; (б) КЛР линий от расфокусировки;  
 (в) разность КЛР групповой и одиночной структур от дозы экспонирования;  
 (г) разность КЛР групповой и изолированной структур от расфокусировки

Таким образом, необходим инструмент для одновременного построения процессных окон и их пересечения (совмещения) в автоматическом режиме (рисунок 6).

Алгоритм пересечения аналогичен пересечению областей допустимых значений для отдельных параметров (см. рисунок 3б)

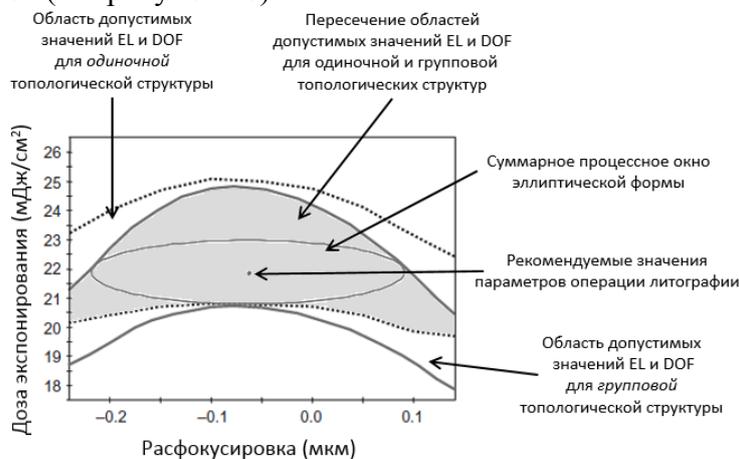


Рисунок 6 – К процессу построения суммарного процессного окна для одиночной и групповой структуры

Наличие этого инструмента позволило бы более точно определять необходимые параметры технологического процесса, хотя и наложило бы более жесткие ограничения на него.

### **Заключение**

В рамках данной работы были достигнуты следующие результаты.

Проанализированы технологические параметры профиля защитной маски, требующие контроля. К этим параметрам относятся: КЛР, угол наклона стенок профиля резиста, потеря резиста. Следовательно, допуски на данные параметры являются границами процессных окон.

Проанализированы параметры технологического процесса литографии (доза экспонирования и расфокусировка), а также выявлены показатели, характеризующие стабильность воспроизведения топологических структур в результате процесса литографии (допустимая глубина фокуса и разброс по дозе экспонирования).

Проведен анализ построения процессных окон для технологических параметров.

Дальнейшая работа заключается в разработке программного модуля, реализующего построение совмещенных процессных окон и позволяющего определять параметры технологического процесса проекционной литографии любого конкретного производства СБИС для стабильного воспроизведения как групповых, так и одиночных топологических структур одновременно. Кроме того, предварительно необходимо реализовать аппроксимацию профиля защитной маски с целью определения параметров данного профиля.

Построение суммарного процессного окна в пересечении областей допустимых значений  $EL$  и  $DOF_{allow}$  для различных топологических структур (одиночной, групповой) позволит точнее определять необходимые параметры технологического процесса проекционной литографии, при которых будут соблюдаться заданные допуски на контролируемые характеристики профиля защитной маски, образованной резистом, но в то же время наложит более жесткие ограничения на технологический процесс.

Актуальной является также разработка методик и алгоритмов трехмерного моделирования защитной маски, что позволит проводить анализ литографических процессов с использованием двухмерных масок.

## Литература

1. Chris Mack. *Fundamental Principles of Optical Lithography: The Science of Microfabrication*. – Wiley, November 2007. – 534 pages.
2. F. Dill. The basis for lithographic modeling // *Proc. SPIE*. – 2005. – Vol. 5754. – P. 377-382.
3. C. Mack. Focus effects in submicron optical lithography, Part 4: metrics for depth of focus // *Proc. SPIE*. – 1995. – Vol. 2440. – P. 458-471.
4. C.A. Mack. 30 years of lithography simulation // *Proc. SPIE*. – 2004. – Vol. 5754. – P. 1-12.
5. C.A. Mack. Optical lithography modeling // *Microlithography: Science and Technology*, J.R. Sheats and B.W. Smith, Eds. - Marcel Dekker, New York, 1998. – P. 109.
6. H.J. Levinson. *Principles of Lithography*, 2nd ed. – SPIE Press, Bellingham, WA, 2005. – P. 103.
7. Родионов И.А., Шахнов В.А. Метод расчета значений весовых коэффициентов топологических структур для калибровки литографических моделей // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Секция «Приборостроение»*. – 2010. – Спец. выпуск «Наноинженерия». – С. 150-160.
8. Домненко В.М. Математическое моделирование формирования фотолитографического изображения // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по направлению подготовки 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы»*. – СПб.: Санкт-Петербургский Государственный институт точной механики и оптики (технический университет), 1999. – 130 с. (рукопись).
9. Ивин В.В. Исследование перспективных фотолитографических процессов с суб-0.2 мкм проектными нормами с помощью математического моделирования // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по направлению подготовки 05.27.01 «Твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника»*. – М.: Физико-технологический институт РАН, 2000. – 149 с. (рукопись).
10. Гладких А.А. САПР литографического моделирования «Optolithium». – Электронный ресурс. Режим доступа: <https://bitbucket.org/gladkikhalexey/optolithium/overview>. – Проверено 31.01.2015.

---

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 15-07-03116).

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫХ ПРИБОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА PSPICE SCHEMATICS, ИНТЕГРИРОВАННОГО В МАРШРУТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ORCAD

Егоркин К.С., Кулик Д.В.

*Научный руководитель: проф., д-р техн. наук Семенов С.Г.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## AUTOMATION OF DESIGN OF DIGITAL-TO-ANALOG DEVICES BY MEANS OF THE PSPICE SCHEMATICS SOFTWARE PRODUCT INTEGRATED INTO DESIGN ROUTES FROM ORCAD

Egorkin K.S., Kulik D.V.

*Supervisor of studies: Dr. Semencov S.G.*

Bauman MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В данной статье рассматривается применение программного обеспечения PSpice Schematics, интегрированного в программный пакет OrCAD, для моделирования работы принципиальных схем электронных устройств. Подробно исследован процесс построения цифровых и аналоговых схем в среде программного продукта. Кратко рассмотрены функциональные возможности анализа работы принципиальных схем. В заключении представлены рекомендации по выбору и применению различных видов анализа работы принципиальных схем.

### Abstract

This article examines the use of the software PSpice Schematics, integrated in the software package OrCAD, for the simulation of schematic diagrams of electronic devices. The process of constructing the digital and analog circuits in the software product was studied in detail. Functionality analysis of schematic diagrams was briefly discussed. In conclusion, recommendations on the selection and application of various types of analysis of schematic diagrams were presented.

### Введение

При проектировании электронной аппаратуры в какой-то момент перед разработчиком встает вопрос о работоспособности устройства в целом и соответствии характеристик устройства необходимым характеристикам. Таким образом, **актуальность** данного исследования определяется целесообразностью моделирование работы принципиальной схемы перед созданием опытного образца электронного устройства, и тем более перед запуском производства прибора.

**Объектом исследования** является программное обеспечение PSpice Schematics, интегрированное в программный пакет OrCAD.

**Постановка задачи:** провести исследование процесса создания цифровых и аналоговых схем и функциональных возможностей анализа работы принципиальных схем в среде программного продукта PSpice Schematics.

**Целью работы** является выявление функциональных возможностей применения программного пакета PSpice Schematics при проектировании цифро-аналоговых приборов.

**Источники исследований:** общая информация о проектировании электронной аппаратуры в программном пакете OrCAD представлена в источнике [1,2], информация о проектировании принципиальных схем в программном продукте PSpice Schematics представлена в источнике [3-5].

**Научная и практическая новизна работы** заключается в применении программы симуляции аналоговой и цифровой логики, описанной на языке SPICE, при проектировании цифро-аналоговых приборов.

**Практическая ценность работы** заключается в определении возможных областей применения программного пакета PSpice Schematics при моделировании и анализе работы принципиальных схем электронной аппаратуры.

**Результатами работы** являются выявленные функциональных возможностей и виды анализа работы принципиальных схем в PSpice Schematics.

## **1 PSpice Schematics – интегрированный компонент OrCAD**

OrCAD — пакет компьютерных программ, предназначенный для автоматизации проектирования схемотехнической части электронной аппаратуры. Среда OrCAD является мощным универсальным современным средством сквозного проектирования электронных систем и обладает широкими возможностями. Для более удобного и простого управления комплексом программ, необходимо использовать интегрируемый компонент PSpice Schematics.

PSpice Schematics — графический редактор, использовавшийся в среде Design Lab 8.0. Хронологически среда Design Lab 8.0 является предшественницей OrCAD 9.2 и имеет с ней много общего. Возможности графического ввода информации в PSpice Schematics ограничены (по сравнению с OrCAD Capture и OrCAD Capture CIS), однако этот редактор имеет удобства, связанные с редактированием кода моделей, создания новых моделей с расширенными функциональными характеристиками. В поздних версиях исключен из состава программного комплекса и требует ручной интеграции в программный комплекс в качестве дополнительного инструмента.

При проведении моделирования электрических схем, так же используются некоторые важные компоненты OrCAD, работающие под управлением PSpice Schematics, в качестве отдельных модулей:

1. OrCAD PSpice Analog Digital(AD) — программа, позволяющая осуществлять обработку результатов моделирования в виде графиков.
2. OrCAD PSpice Model Editor — программа, предназначенная для создания и редактирования математических моделей электронных элементов.
3. OrCAD Stimulus Editor — программа, используемая при создании и редактировании моделей источников сигналов

## **2 Схемотехническое моделирование в PSpice Schematics**

PSpice Schematics – графический редактор обладающий очень высоким функционалом. Именно с этим редактором ведет свою основную работу пользователь. PSpice Schematics управляет и взаимодействует другими компонентами программного комплекса OrCAD, что позволяет вести автоматизированную работу с проектами. Перечислим некоторые возможности редактора:

1. Построение электрических принципиальных схем.
2. Работа с базой электро-радиоэлементов.
3. Анализ функционирования электрических схем.
4. Работа с OrCAD PSpice AD.

Практически вся основная работа ведется в основном интерфейсе программы интерфейсе программы, который показан на рисунке 1.

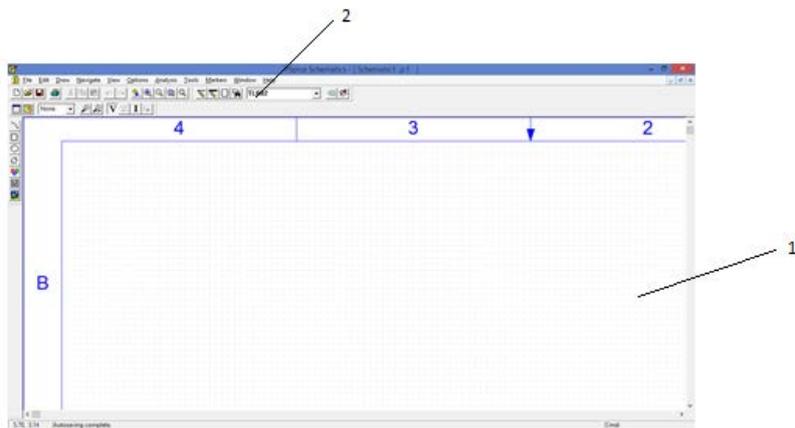


Рисунок 1 – Основной интерфейс PSpice Schematics

В рабочем поле (1) происходит построение необходимых для моделирования электрических цепей. Интерфейс программы удобен и понятен. Выбор элементов происходит в выпадающем меню (2) или через инструмент поиска по библиотекам (рисунок 2). Пакет содержит большое количество встроенных библиотек электро-радиоэлементов, а так же имеется возможность использования внешних библиотек (рисунок 3), что позволяет смоделировать практически любую электрическую схему от микроэлектронной до силовой.

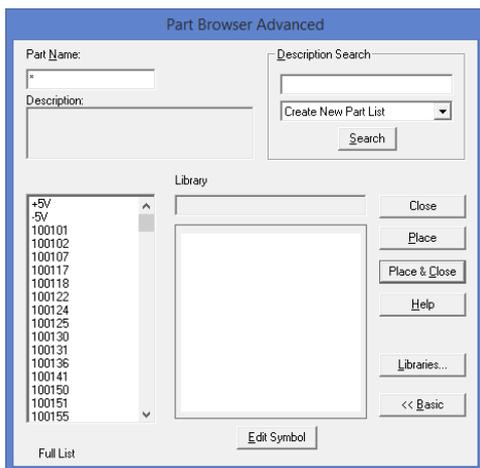


Рисунок 3 – Инструмент поиска по библиотекам.

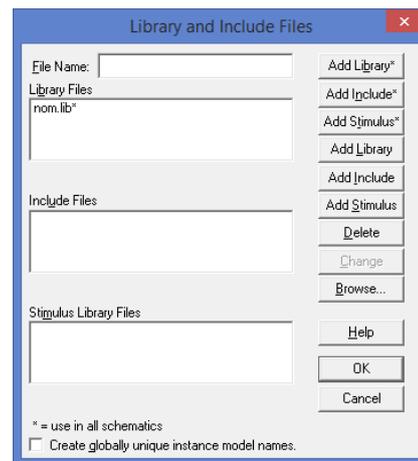


Рисунок 4 – Редактор библиотек.

PSpice Schematics содержит в себе большой инструментарий для анализа работы схем (рисунок 4).

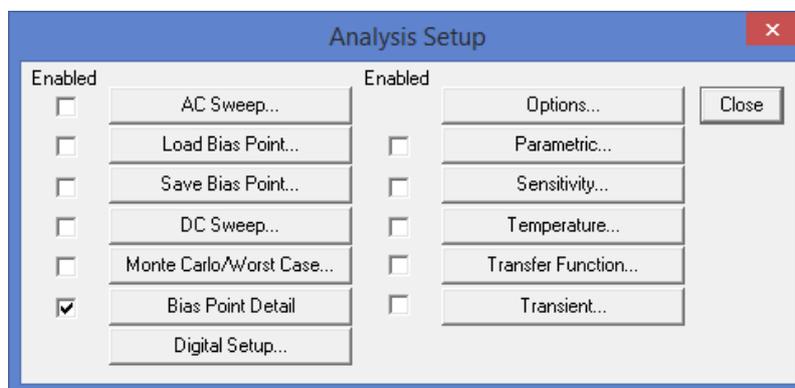


Рисунок 4 – Инструмент анализа работы электрических схем.

Инструменты анализа очень гибкие и имеют большую область применения: расчет электрических параметров схемы при постоянном токе, расчет электрических параметров схемы при переменном токе, параметрический анализ, анализ поведения электрических характеристик во времени, частотный анализ, исследования влияния температуры на работу схемы, определение выходного импеданса схемы. Большая часть результатов моделирования схемы приводится в виде графиков. Для этого PSpice Schematics передает результаты моделирования в OrCAD PSpice AD (рисунок 5), которое обрабатывает и выводит их в графическом виде.

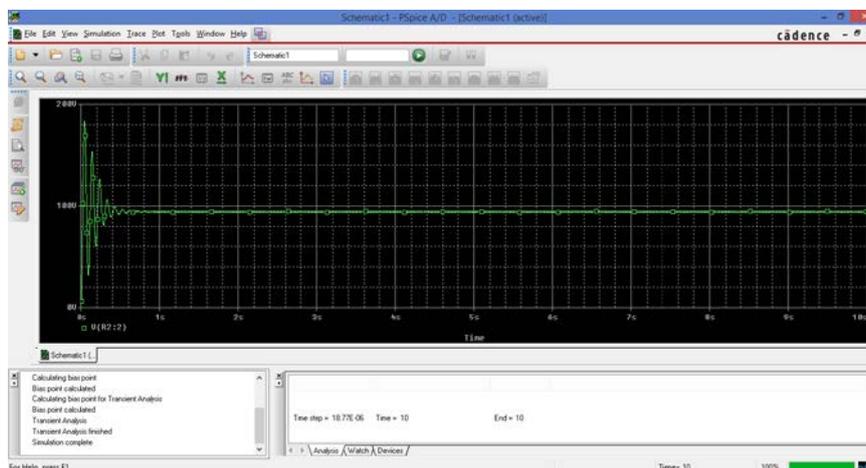


Рисунок 5 – Программный компонент графического отображения OrCAD PSpice AD.

Программа содержит удобные инструменты по работе с графиками, отслеживанию значений в конкретных точках, сравнения нескольких графиков, а так же имеет инструменты обработки результатов анализа, например преобразование Фурье.

## Заключение

В ходе данного исследования были выявленные основные функциональные возможности и инструментарий программного продукта PSpice Schematics. Виды анализа, доступные для проведения данным программным продуктом, позволяют всесторонне проанализировать работу принципиальных схем любой сложности и размера, как аналоговых, так и цифровых, при их моделировании. Задача, решенная в ходе данного исследования, привела к появлению новой задачи, требующей решения, а именно более подробное рассмотрение каждого из видов анализа принципиальных схем, предлагаемых PSpice Schematics.

## Литература

1. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств / О. В. Алексеев, А. А. Головкин, И. Ю. Пивоваров, Г. Г. Чавка; Под ред. О. В. Алексеева. – М.: «Высш. шк.», 2000. – 479 с.
2. Разевиг В.Д. Система проектирования цифровых устройств OrCAD. – М.: Солон-Р, – 2000. –160 с.
3. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE. Учебное пособие. Под ред. Роберта Хайнемана – М: ДМК Пресс, 2008. – 326 с.
4. OrCAD PSpice. User's Guide. — Oregon: Cadence PCB System Division, 2000.
5. OrCAD PSpice. Optimizer User's Guide. — Oregon: Cadence PCB System Division, 2000.

# ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ДАТЧИКОМ ТОКА

Леньков С.А.

*Научный руководитель: проф., д-р техн. наук Семенцов С.Г.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## CURRENT SENSING POWER MOSFETS APPLICATION

Lenkov S.A.

*Supervisor of studies: Dr. Semencov S.G.*

MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматриваются мощные полевые транзисторы с датчиком тока. Подробно исследовано применение данных транзисторов в мощных импульсных усилителях. Кратко представлено общее устройство и расчет параметров датчиков тока в транзисторах. В заключении представлены рекомендации по применению данных транзисторов в силовой электронике.

### Abstract

The paper describes current sensing power MOSFETs. The power switching amplifiers application is discovered in detail. General principles, properties and calculations are described. As conclusion the practical advices for power electronics applications are given.

### Введение

В современной силовой электронике используется импульсная схемотехника, а также все чаще микропроцессорное управление. При данном подходе старые принципы построения обратной связи в устройствах не работают. Как правило в импульсных блоках питания и усилителях необходимо снимать выходное напряжение для его коррекции в соответствии с требуемыми параметрами. Очевидное решение – снятие напряжения резистивным токовым шунтом. В маломощных приложениях этот способ широко используется. Однако при больших токах выходных цепей на шунте рассеивается большая мощность, снижая общий КПД устройства. На фоне общей тенденции к повышению КПД и борьбы за доли процента, такое решение является невыгодным.

Первое решение, которое приходит на замену предыдущему – это датчик тока, основанный на эффекте Холла. Такой датчик практически не влияет на КПД устройства и весьма точно измеряет протекающий в цепи ток. Данный подход используется во многих изделиях силовой электроники. Однако сам по себе датчик тока – это дополнительный компонент, который среди всего прочего не дешев и повышает себестоимость серийного устройства.

На помощь приходит специально спроектированный для данных приложений электронный компонент – транзистор с датчиком тока. Датчик тока уже встроен в транзистор и с его помощью можно измерить ток, протекающий непосредственно через транзистор. Применение данного компонента решает все вышеперечисленные проблемы.

Целью данной работы является поиск области применения мощных полевых транзисторов с датчиком тока. Основной задачей стоит исследование возможностей данных электронных компонентов. Исследование будет проводиться на примере импульсного усилителя системы управления вибростендом. Результаты будут сравниваться с измерениями датчика Холла, использующегося в той же системе.

## 1 Внутреннее устройство мощного полевого транзистора с датчиком тока

Современный мощный полевой транзистор состоит из множества транзисторных ячеек, работающих параллельно (Рисунок 1). Когда прибор находится во включенном состоянии, ток протекает от стока к истоку через узкую область канала вокруг края каждой

ячейки. Так как ток проводится в области канала основными носителями, то ток стока распределяется относительно равномерно между ячейками и мало отличается от прибора к прибору одного и того же типа. Следовательно, ток стока может определяться измерением тока, протекающего через небольшое количество ячеек и умножением его на коэффициент, который известен для конкретного типа прибора. Имеющие место потери мощности невелики, поэтому ток стока МОП ПТ может определяться методом, не учитывающим потери.

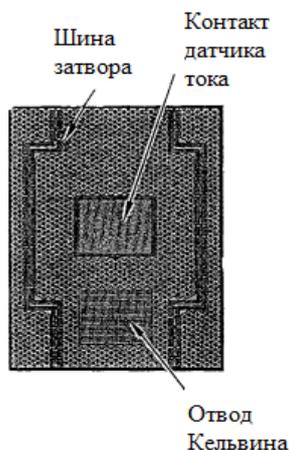


Рисунок 1 – Топология мощного полевого транзистора с датчиком тока

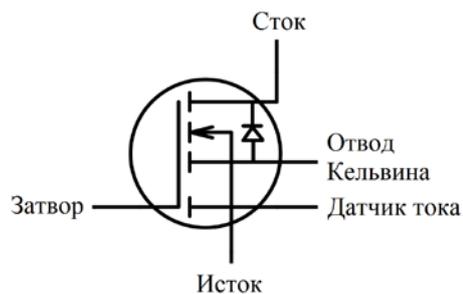


Рисунок 2 – УГО мощного полевого транзистора с датчиком тока

Область истока считывающих ток ячеек покрывается изолированной металлизацией, которая соединена с внешним выводом через отдельную контактную площадку и разварочную проволоку, этот вывод называют выводом считывания или выводом датчика. Буква С используется в символах, представляющих различные электрические параметры, связанные с функцией считывания тока, например:  $V_{dc}$ ,  $I_{dc}$  или  $I_c$  и т.п. Два соединения выводов выполнены к металлизации истока основных ячеек через отдельные термокомпрессионные проволоки. Это вывод силового истока и вывод истока термодатчика.

Практически, прибор состоит из двух параллельных МОП ПТ с изолированными истоками (Рисунок 3).

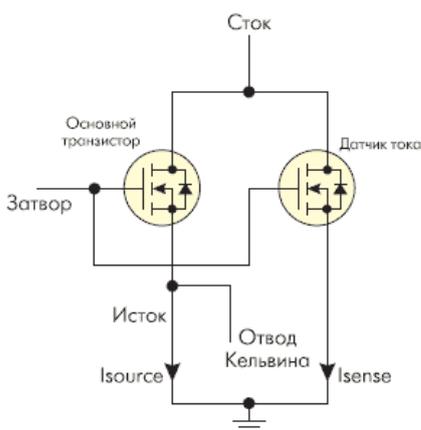


Рисунок 3 – Эквивалентная схема мощного полевого транзистора с датчиком тока

Ключевым параметром этой комбинации является коэффициент считывания тока ( $\gamma$ ). Это отношение между током, протекающим через вывод истока, и током, протекающим через вывод датчика. Это отношение, конечно, будет слегка отличаться с точки зрения тока стока, который является суммой обоих токов:  $I_D = (\gamma + 1)I_C$  При идеальных условиях равного усиления всех ячеек и хорошей металлизации истока коэффициент считывания тока будет

равен отношению числа ячеек в силовом приборе к числу ячеек в считывающем приборе. Выходная емкость считывающих ячеек выше величины, ожидаемой только от сравнения площадей из-за относительно большой емкости контактной площадки вывода датчика. Ее влияние будет чувствоваться в начале режима полного усиления (в виде избытка тока из-за ее разряда) и в его конце (в виде его снижения). Однако на практике эти явления малы по сравнению с вероятными ограничениями максимальной скорости нарастания выходного напряжения считывающего операционного усилителя.

### 3 Применение мощных полевых транзисторов с датчиком тока в схеме импульсного усилителя

Для данного приложения выбрана схема измерения тока с резистивным шунтом, поскольку питание схемы однополярное, а введение дополнительного источника питания нецелесообразно. Схема H-моста с измерением тока показана на Рисунок 4.

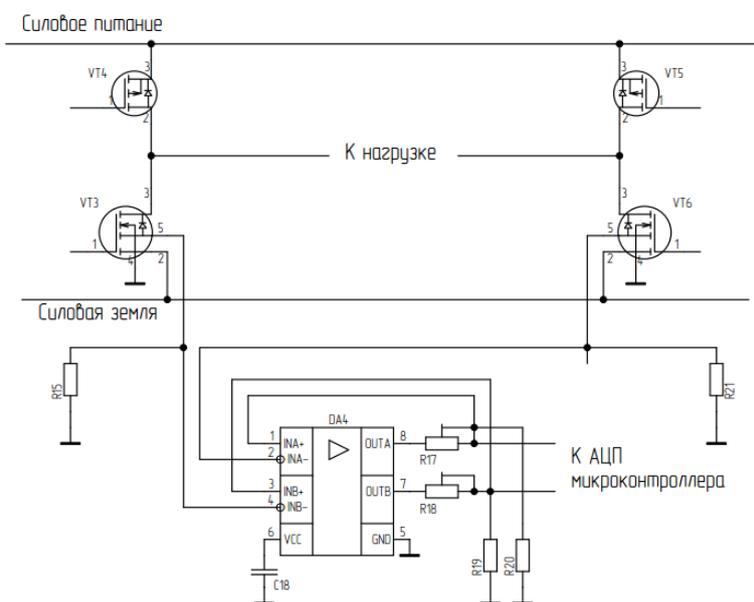


Рисунок 4 – Схема H-моста импульсного усилителя с измерением тока

Для выбора схемы включения операционного усилителя было произведено моделирование в программе LTSpice инвертирующей и неинвертирующей схемы включения (Рисунок 5).

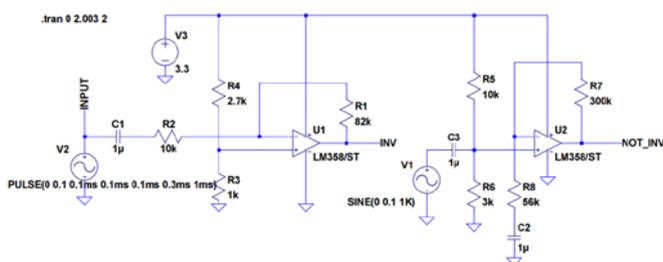


Рисунок 5 – Схема модели измерения тока.  
Инвертирующее включение – слева,  
неинвертирующее – справа.

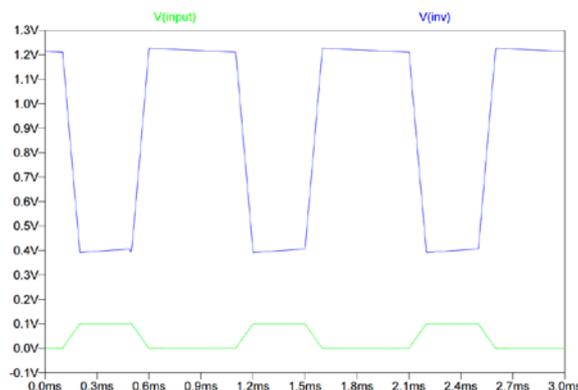


Рисунок 6 – Временные диаграммы  
про моделированной схемы измерения  
тока

В результате моделирования было выбрано инвертирующее включение операционного усилителя, поскольку данная схема работает стабильнее. Также были рассчитаны параметры обратной связи и входного смещения. Все значения показаны на схеме (Рисунок 5).

В качестве модели операционного усилителя был выбран LM358. Этот низковольтный усилитель спроектирован специально для применения с одним источником питания, минимальное на выходе включает ноль.

Экспериментальные исследования показали эффективность встроенных в транзистор датчиков тока исключительно для детектирования перегрузки. Также возможно отслеживание общего режима работы транзистора. Для точного измерения тока данный подход сильно проигрывает датчику Холла. Датчик тока в мощных полевых транзисторов не способен дать должной точности для осуществления динамической обратной связи усилителя.

### **Заключение**

Применение мощных полевых транзисторов с датчиком тока возможно в силовых импульсных схемах для организации защиты от перегрузок, а также для определения режима работы транзистора. Применение в цепях обратной связи очень ограничено из-за малой точности показаний и шума.

Таким образом данный подход эффективен для несложных серийных изделий с целью снижения себестоимости, упрощения схемы и уменьшения габаритов.

В рассмотренном приложении – импульсного усилителя системы управления вибростендом применение транзисторов с датчиком тока не оправдано. В данных условиях не удалось построить качественную обратную связь, улучшающую характеристики устройства. Однако данный узел может служить в качестве подстраховки на случай выхода из строя датчика Холла, что ведет за собой общее повышение надежности устройства.

### **Литература**

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. — М: СОЛОН-Пресс, 2005. — 416 с.
2. AN-959: An introduction to the HEXSense. Current-Sensing Device. — США.: International Rectifier, 1996. 6 с.

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

**Малышев К.А.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

**Malyshev K.A.**

*Supervisor: c.e.s., docent, Vlasov A.I.*  
MSTU named after N.E. Bauman, IU4 department, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматривается вопрос создания персональных производственных лабораторий. Приведена архитектура системы управления технологическим оборудованием, на базе которой можно разработать персональное оборудование. Описана структура компонентов предложенной системы управления. Представлена структура стека драйверов обработки команд, выполняемых системой.

### **Abstract**

The article discusses the creation of personal industrial laboratories. The architecture of equipment control system, which is basis for development of personal equipment. The structure of the components of the proposed control system is described. The structure of driver stack for processing commands by the system is shown.

### **Введение**

Появление 3D-принтеров и 3D-сканеров стало толчком для появления нового направления в производственной сфере – инструментальных лабораторий. Возможность создать собственную лабораторию, в которой можно распечатать смоделированный объект или даже отксерить уже существующую деталь, стала осуществимой мечтой многих людей. С развитием же микропроцессорной индустрии собрать собственный станок с ЧПУ, будь то фрезерный станок или 3D-принтер, стало возможным даже самому. Системы управления для таких устройств уже созданы, но все они привязаны к конкретной конструкции, аппаратному и программному обеспечению. Таким образом внесение изменений в такие системы либо затруднительно, либо вообще невозможно. Поэтому создание собственных модификаций станков и, тем более, других автоматизированных систем на базе уже разработанных также не представляется возможным.

В тоже время не так давно появилась концепция открытых производственных лабораторий ФАБЛАБ [1] (в оригинале FabLab [2] – Fabrication Laboratory). Данные лаборатории подразумевают наличие большого количества разнообразного оборудования для возможности изготовить практически любую деталь и даже полностью законченное устройство. Максимальное обеспечение таких лабораторий технологическим оборудованием можно осуществлять не только с помощью покупного оборудования, но и разрабатывая собственное (роботизированная рука, 3D-принтеры нестандартной конструкции, оборудование для намотки катушек, установщик компонентов на плату электронного устройства и пр.). Для быстрого и удобного создания такого оборудования необходимо наличие базовых компонентов, которые легко объединяются и программируются для выполнения заданного алгоритма действий. То есть необходимо разработать открытую архитектуру, описывающую базовые компоненты любого технологического оборудования (двигатели, концевые датчики) и связь между ними. При этом должна обеспечиваться возможность легкой интеграции компонентов, специфичных для определенного типа оборудования (шпиндель для фрезерного станка, экструдер для 3D-принтера, вакуумный захват для установщика компонентов), а также легкого описания всей конструкции в целом для задания конечной функциональности оборудования.

## 1 Структура комплекса системы управления технологическим оборудованием

Для решения поставленных выше задач была разработана архитектура системы управления, которая представлена на рисунке 1. Из рисунка 1 видно, что система состоит из главного контроллера (ведущий контроллер), компонентов оборудования (ось X, экструдер, техническое зрение, шпиндель) и клиентского ПК. Ведущий контроллер представляет собой одноплатный компьютер. Он связывается с клиентским ПК и с компонентами оборудования. С помощью клиента осуществляется настройка оборудования, передача файлов команд (G-Code и др.) или исходных файлов моделей, печатных плат и прочих поддерживаемых файлов, которые затем будут переводиться в набор команд непосредственно на ведущем контроллере. Использование одноплатного компьютера позволяет с минимальными затратами на реализацию программного обеспечения осуществлять соединение с клиентским ПК как посредством проводных каналов связи (Ethernet, USB), так и по беспроводным каналам (Wi-Fi, Bluetooth).

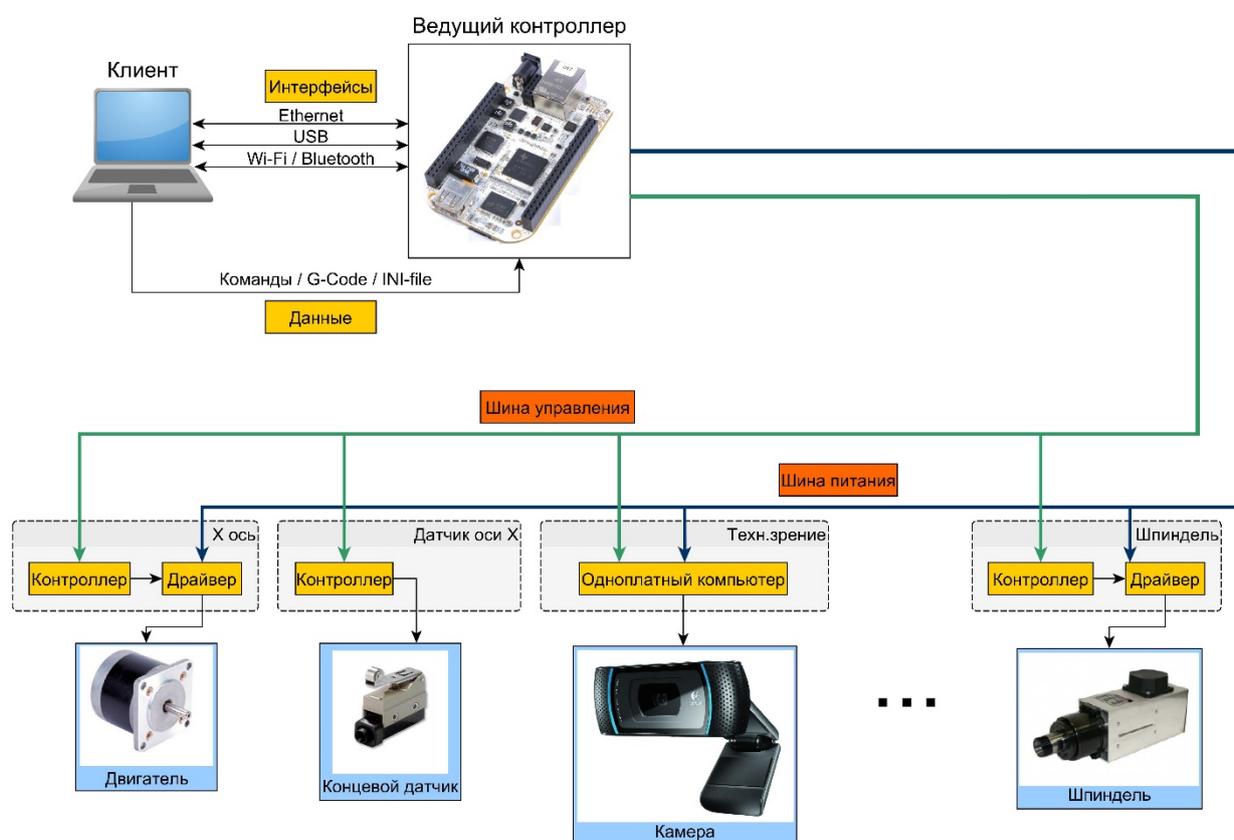


Рисунок 1 – Архитектура системы управления технологическим оборудованием

Ведущий контроллер и компоненты системы связаны между собой шиной управления и шиной питания. Шина питания обеспечивает компоненты цифровым (+5В) и аналоговым питанием (величина напряжения зависит от потребностей системы).

Управляющие сигналы между компонентами и ведущим контроллером передаются по шине управления. Данная шина должна обеспечивать возможность подключения максимального количества компонентов. По нескольким причинам в качестве интерфейса шины управления был выбран стандарт CAN [3, 4]. Во-первых, данный стандарт вообще не налагает ограничение на количество подключенных устройств. Единственное, на что следует обратить внимание при подключении большого количества устройств, это емкость линии связи. При большой скорости передачи данных и большой емкости линии связи могут возникать ошибки вследствие увеличенной длительности фронтов при изменении уровня сигнала.

Во-вторых, данный стандарт описывает разрешение коллизий на шине и предусматривает проверку данных с помощью контрольной суммы. Так как современные микроконтроллеры поддерживают интерфейс CAN, то все действия по разрешению коллизий и проверке на совпадение контрольной суммы выполняются аппаратно. Это позволяет упростить программную часть контроллеров, которые являются частью каждого компонента системы (структура компонентов будет рассмотрена ниже).

В-третьих, стандарт CAN является асинхронным, но в тоже время описывает механизм синхронизации, в результате применения которого рассинхронизация и нестабильность тактовых частот узлов сети становятся не существенны.

Еще одним преимуществом шины CAN является то, что идентификатор пакета определяет также его приоритет. Чем больше идентификатор пакета, тем выше его приоритет. Данная функция является частью механизма разрешения коллизий.

## 2 Структура компонентов системы управления технологическим оборудованием

Из рисунка 1 также видно, что каждый компонент системы, за исключением технического зрения, состоит из контроллера и драйвера. У технического зрения контроллер встроен в одноплатный компьютер. Смысл такого разделения заключается в следующем. Контроллер каждого компонента представляет собой микроконтроллер, поддерживающий аппаратную обработку CAN протокола, с микросхемой драйвера шины CAN. Каждый контроллер настроен на работу с определенным исполнительным механизмом или сенсором. Его задача заключается в том, чтобы обрабатывать поток данных с шины управления и определенным образом реагировать на команды, предназначенные данному контроллеру. Так как интерфейс управления двигателями и многими датчиками стандартный, то заранее реализовав программное обеспечение для работы контроллера с этими устройствами, можно легко собирать необходимую конфигурацию оборудования. Для этого необходимо подключить двигатель и его драйвер, либо датчик к контроллеру, указать контроллеру какой тип двигателя или датчика к нему подключен и можно задавать уже общий алгоритм работы этого оборудования.

На рисунке 1 каждый компонент состоит из контроллера, к которому присоединено одно устройство (двигатель, датчик), но описанная архитектура позволяет подключать к одному контроллеру несколько устройств. Такая схема подключения представлена на рисунке 2.

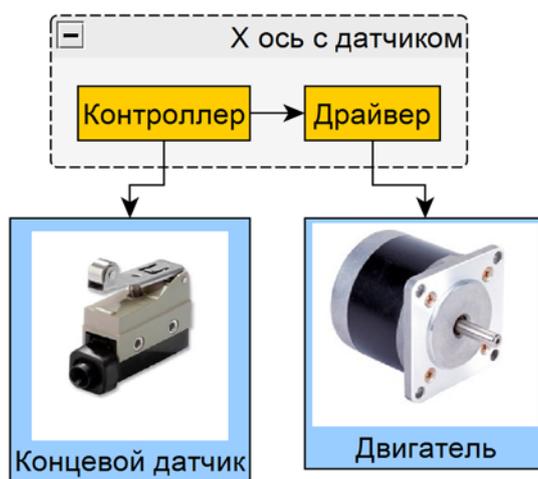


Рисунок 2 – Структура компонента с несколькими устройствами

Количество и тип устройств, которые могут быть подсоединены к одному контроллеру зависят от программного обеспечения контроллера. Для этого контроллер должен обрабатывать команды сразу всех подключенных устройств.

### 3 Структура программы обработки команд

Для реализации максимальной независимости аппаратного и программного обеспечения программа обработки команд должна иметь многоуровневую систему драйверов. На рисунке 3 представлена структура программы обработки команд, которая выполняется на ведущем контроллере, в соответствии с вышеназванным требованием.



Рисунок 3 – Структура программы обработки команд

Вначале команда из списка команд обрабатывается интерпретатором команд. На данном этапе просто вызывается функция, соответствующая данной команде. Набор команд характерен для определенного типа оборудования (фрезерный станок, 3D-принтер) и поэтому интерпретатор пишется для одного типа оборудования.

Функция, вызванная интерпретатором, далее обрабатывается драйвером конфигурации. Так, например, разнообразные конфигурации фрезерного станка [5] представлены на рисунке 4. Несмотря на то, что все они имеют разную конфигурацию, выполняют они одни и те же команды: перемещение оси фрезы относительно заготовки, управление скоростью вращения фрезы. Но перемещение фрезы относительно заготовки может осуществляться либо перемещением заготовки за счет подвижного стола, либо перемещением фрезы за счет подвижного портала, либо одновременным перемещением и стола, и фрезы. Таким образом команда перемещения фрезы может состоять из нескольких команд разным двигателям с разной величиной перемещения. Именно расчет управляющих воздействий на двигатели системы и обработка показателей с датчиков осуществляется драйвером конфигурации.

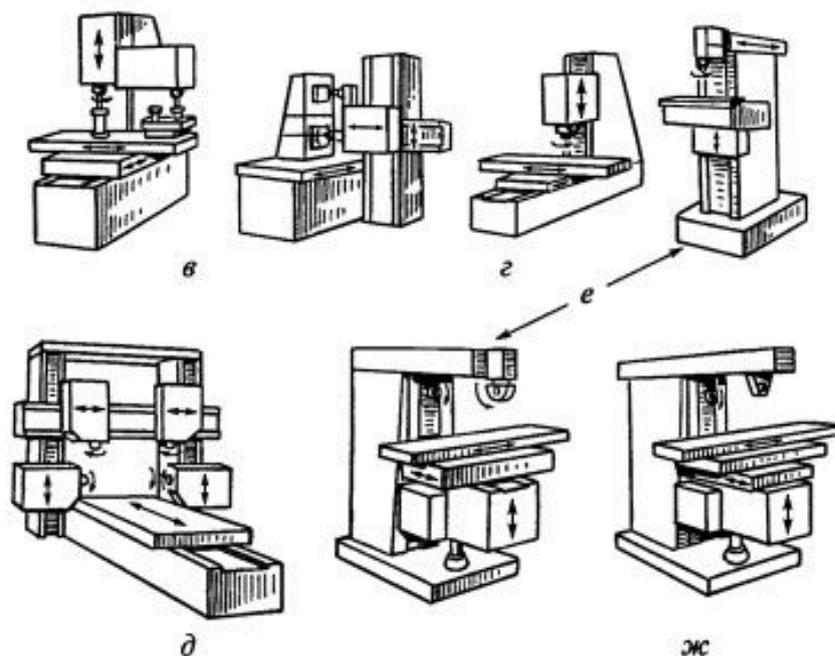


Рисунок 4 – Разновидности фрезерных станков

Драйвер компонентов осуществляет формирование пакетов для передачи команды исполнительным устройствам или для запроса данных с сенсоров. Драйвер компонентов достаточно реализовать один раз и его можно использовать для построения различных конфигураций различного оборудования.

Драйвер интерфейса позволяет использовать различные интерфейсы для передачи управляющих пакетов. В данном случае передача данных осуществляется посредством шины CAN. Но при отсутствии контроллера CAN интерфейса можно использовать переходники, например, CAN-UART, CAN-SPI. Тогда в системе будет соответственно использоваться драйвер интерфейса UART или SPI.

Здесь же стоит упомянуть тот факт, что рассмотренный стек драйверов не обязан знать, как устройства подключены к контроллеру, его не интересует кто примет его управляющий пакет, кто отошлет результат. Таким образом, к одному контроллеру может быть подключено несколько устройств, но при этом он должен успевать обрабатывать все запросы ведущего контроллера. Такая структура подключения устройств к контроллеру была описана выше и изображена на рисунке 2.

### Заключение

В настоящее время технический прогресс дошел до такого этапа, на котором практически любой человек при наличии материальной базы и определенных знаний способен создать собственную производственную лабораторию. Проект системы управления, описанной в данной статье, призван уменьшить трудозатраты, необходимые для создания собственного оборудования для такой лаборатории. Описанная архитектура системы управления позволяет легко изменять конфигурацию системы, добавляя необходимые компоненты и убирая ненужные. При этом аппаратное и программное обеспечение практически полностью не зависят друг от друга.

## Литература

1. RepRapPro Mendel hot end assembly – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://reprap.org/wiki/RepRapPro\\_Mendel\\_hot\\_end\\_assembly](http://reprap.org/wiki/RepRapPro_Mendel_hot_end_assembly) – Проверено 30.01.2013.
2. Фаблаб Москва – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fablab77.ru/> – Проверено 31.01.2013.
3. Fab Central – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fab.cba.mit.edu/> – Проверено 31.01.2013.
4. CAN in Automation (CiA): Controller Area Network (CAN) – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.can-cia.org/> – Проверено 31.01.2013.
5. CAN – шина, CAN – интерфейс | EmbeddedSystem.ru – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://embeddedsystem.ru/index.php?page=can-bus-can-interface> – Проверено 31.01.2013.
6. Основные типы фрезерных станков и их обозначение – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.autowelding.ru/publ/1/frezernye\\_stanki/osnovnye\\_tipy\\_frezernykh\\_stankov\\_i\\_ikh\\_oboznachenie/22-1-0-192](http://www.autowelding.ru/publ/1/frezernye_stanki/osnovnye_tipy_frezernykh_stankov_i_ikh_oboznachenie/22-1-0-192) – Проверено 31.01.2013.

# ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА MIDI ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ

**Фефелов М.Е.**

*Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Семенцов С.Г.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## APPLICATIONS OF MIDI PROTOCOL IN EMBEDDED SYSTEMS

**Fefelov M.E.**

*Supervisor: Dr., Prof. Semencov S.G.*

MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В данной статье рассматривается стандарт MIDI. Описывается протокол передачи данных, формат сохраняемых файлов, аппаратная реализация интерфейса. Проведён анализ возможностей предлагаемых стандартом, а также перспективные или разрабатываемые направления.

### **Annotation**

In this paper a MIDI standard is discussed. We examine the standard's fundamentals such as: data transfer protocol, file structure and hardware implementation. MIDI standard capabilities and prospective or developing trends in this area are analyzed throughout the paper.

### **Введение**

Стандарт **MIDI**- Musical Instrument Digital Interface-стандарт связи электронного музыкального оборудования, разработанный в начале 80-ых годов объединением производителей, в дальнейшем основавших ассоциацию **ММА** — MIDI Manufacturers Association. Начав использоваться как интерфейс для подключения электронного инструмента к синтезатору, стандарт MIDI за свою многолетнюю историю объединил в себе достижения всей музыкальной электронной промышленности. На данный момент стандарт используется в подавляющем большинстве цифровой техники работающей со звуком.

**Работа посвящена** исследованию возможностей предоставляемых стандартом, особенностей реализации, направлений развития.

**Объектом исследования** является стандарт midi, в его важнейших областях применения: передачи информации, хранения информации, подключения интерфейса.

**Актуальность работы** определяется необходимостью систематизации начальных знаний о стандарте, важных для разработчика электронных систем.

**Результатом работы** является обзорная статья, знакомящая читателя с основами стандарта midi.

### **1 Анализ стандарта MIDI**

MIDI-Musical Instrument Digital Interface, стандарт связи электронного музыкального оборудования.

Данный стандарт объединяет собой:

- протокол передачи данных;
- формат хранения информации;
- спецификацию аппаратной реализации.

В настоящее время технология применяется в:

- электронных музыкальных инструментах: синтезаторах, барабанных установках, контроллерах, гитарных эффектах, флейтах;
- программном обеспечении: секвенсорах, обучающем ПО, программах записи, визуализации, обработчиках звука;
- системах управления концертными выступлениями: системах управления освещением, спецэффектами, видео и т.д.

- игровой и развлекательной индустрии: различные игры, консоли и прочее.

## 2 Протокол передачи данных стандарта MIDI

Важнейшая часть стандарта описывает формат передаваемых в реальном времени сообщений. Сообщения содержат в себе от 1 до 3 байт информации. Первый байт называется «Статус» (Status byte) Байт статуса отвечает за действие с одним из 16 возможных каналов, например: включение/выключение ноты, изменение пресета на канале, системный сброс и т.д. Данный байт всегда имеет установленный в «1» 7 бит и находится в диапазоне значений от 0x80 до 0xFF. Таким образом, принимающее устройство всегда может определить начало следующего сообщения. Все последующие байты будут находиться в диапазоне значений от 0x00 до 0x7F и соответственно иметь 7 бит установленный в 0.

Пример сообщения (binary hex dec):

/10011010= 9A= 154/ 01011011=5B=91/ 01010111=57=87 /  
/ Channel 11 note on / note number / note velocity /

Таким образом, первый байт задает команду note on на канале 11, ноту номер 91, значение для силы нажатия 87. При этом сообщение может содержать только первый байт, так и большее чем 3 количество байт.

Для каждой версии протокола MIDI составлены подробные спецификации, в которых регламентируются коды событий. При этом различные версии обладают высокой совместимостью и не противоречат друг другу.

## 3 Формат хранения информации MIDI

Стандартный MIDI файл –SFM файл формата \*.mid или \*.midi Данный формат разработан специально для записи и хранения сообщений MIDI, которые впоследствии могут быть воспроизведены любым устройством поддерживающим стандарт. В отличие от аудио-файла файл MIDI хранит информацию о событиях и времени.

Каждый файл Midi состоит из блоков. Каждый блок состоит из трех полей:

Таблица 1 - Блок midi файла

type	length	data
4 bytes	4 bytes	length bytes

Type (Ascii) –Указывает на тип данного блока.

Length-Указывает размер в байтах поля Data

Data- Хранимые сообщения размером в {length} байт.

В каждом midi файле присутствует заголовок, начинающийся с идентификатора “MThd”

Таблица 2 - Блок заголовка midi файла

Header Chunk				
Chunk Type	length	Data		
4 bytes (ascii)	4 bytes (32-bit binary)	{length}		
MThd	<length>	<format>	<tracks>	<division>

MThd – идентификатор заголовка. Фактически показывает интерпретатору, что данный файл подчиняется стандарту.

Length- размер поля в байтах. Обычно равен 6

Data – содержит 6 байт информацию:

Format-формат файла,

Tracks - количество дорожек

Division - количество отсчетов (тиков), соответствующих одной четвертой длительности.

Следует отметить, что значения данных полей регламентируются стандартом, например, в данный момент определено только три формата файла, а именно 0, 1, и 2.

После заголовка следуют блоки сообщений.

Таблица 3. Блок сообщения midi файла.

Track Chunk		
type	length	data
4 bytes (ascii)	4 bytes (32-bit binary)	{length bytes} (binary data)
MTrk	<length>	<delta_time> <event> ...

MTrk – идентификатор начала записи.

Length – размер поля data в байтах

Data- поле размера {length} включает в себя:

Delta time – количество отсчетов, после предыдущего события.

Event—событие, хранит информацию о действии. В данном поле хранится сообщение описанное в пункте 2.

Помимо этого стандартный midi файл может содержать в себе информацию об авторе, слова произведения, копирайт и прочее. В рамках формата можно указывать события разработчика. Если интерпретатор не сможет распознать команду, он должен её проигнорировать. Это важное положение стандарта позволяет обеспечить высокую совместимость, а также непрерывность воспроизведения.

#### 4 Аппаратная реализация.

При реализации устройств, использующих данный стандарт, удобно использовать интерфейс UART. Сообщения имеют формат 8-N-1 и передаются со скоростью 31,25 кбит/с.

В midi применяется 5 штырьковые разъемы типа DIN41524.

Рассмотрим принципиальную схему подключения midi устройства (рис.1).

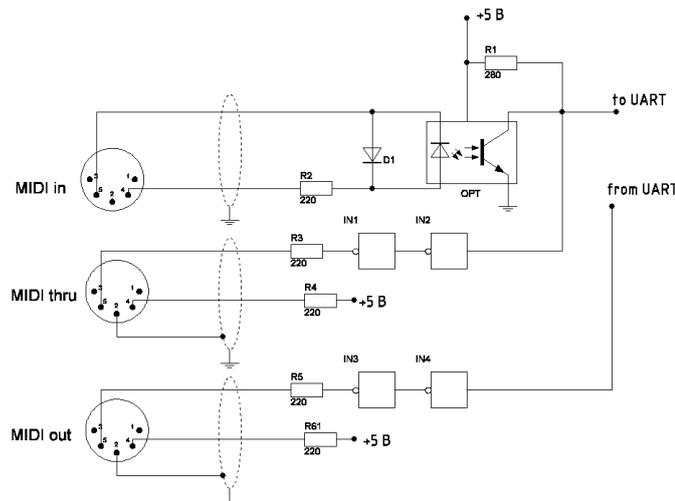


Рисунок 1 - Схема электрическая принципиальная подключения midi разъемов

В схеме используются резисторы точностью 5%. Длина экранированного кабеля может достигать 15 метров без потери качества передачи.

К midi-входу возможно подключение выхода midi-thru позволяющее передать сигнал на входе на другой приемник. Стандарт midi предписывает обязательную гальваническую развязку на входе, реализованную на оптроне. Также на разъеме midi in 2 контакт не должен

быть заземлён, так как это станет источником шума. Это относится и при подключении midi устройства к последовательному порту ПК. При не соблюдении данных рекомендаций возникнут посторонние шумы и помехи. Это следует принимать во внимание при использовании кабелей сторонних производителей неизвестных брендов.

## 5 Сферы применения стандарта

Благодаря простоте и высокой гибкости, стандарт midi нашел свое применение в различных сферах, начиная от синтезаторов до программного обеспечения персональных компьютеров и смартфонов. Рассмотрим схему представленную на рисунке 2.

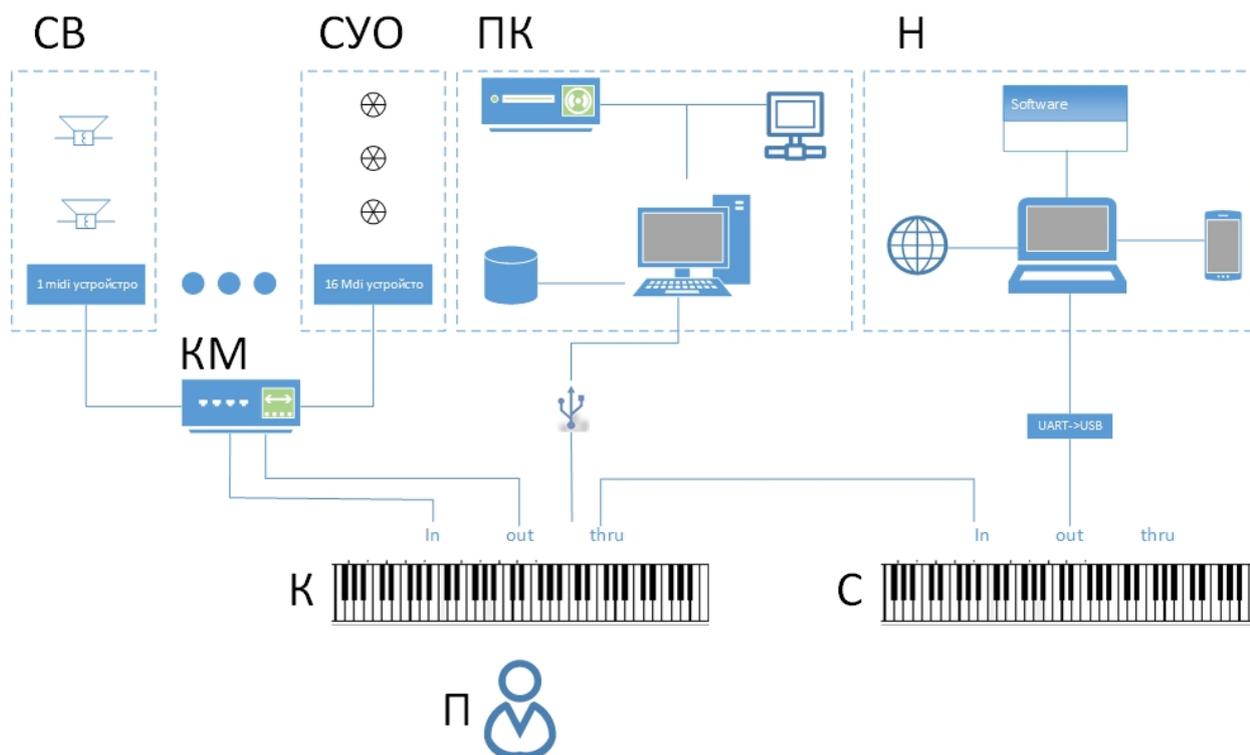


Рисунок 2 - Пример схемы включения  
(П-пользователь, К-контроллер, С-синтезатор, КМ-коммутатор, СВ-система  
воспроизведения, СУО-система управления освещением, ПК персональный компьютер, Н-  
ноутбук)

В данном примере отражены возможности стандарта, на практике же используются только те средства, которые соответствуют поставленным задачам.

Пользователь находится за контроллером, который может быть представлен в виде электронной клавиатуры, с широким набором функций управления (keyboard controller). Данное устройство является ведущим (master). Выход данного контроллера подключен к коммутационной панели (pitchbay panel), осуществляющей синхронное управление ведомыми (slave) устройствами.

Осуществляя передачу midi сообщений, ведущий в реальном времени может управлять различными системами: системой воспроизведения (используя собственный банк аудио-записей или семплов, система генерирует звучание); системой освещения (проводит управление светом в соответствии с заложенной программой).

Сигнал, передаваемый на вход контроллера, может быть, напрямую, через выход thru быть передан другому устройству. Таким образом, устройства могут быть подключены последовательно без использования прочего оборудования. Недостаток такого способа включения - каждое устройство должно использовать только свой midi канал, неиспользуемый другими. Также стоит помнить о задержке при прохождении сигнала.

Устройство midi, оснащенное USB портом, может быть подключено к персональному компьютеру, который будет осуществлять функции медиа-сервера. Такой сервер должен в реальном времени обрабатывать полученную информацию. Сервер может выступать в роли посредника при связи midi устройства с приборами, не поддерживающими стандарт. Стоит отметить, что нельзя соединить два midi устройства по USB напрямую.

Выход любого midi устройства можно подключить к последовательному порту компьютера, но на данный момент проще использовать преобразователь «MIDI->USB» (соответствует «UART->USB»).

Стандарт midi широко используется в программном обеспечении, начиная от виртуальных синтезаторов, заканчивая обучающим ПО и получает все большее распространение в мобильных устройствах.

### **6 Версии спецификаций, пути развития**

За 30 лет было разработано несколько расширений спецификации midi:

- **MIDI 1.0 Detailed Specification** Базовая версия протокола. Включает в себя разделы аппаратного управления и управления концертным оборудованием
- **eXtensible Music Format ("XMF")** - расширенный музыкальный формат.
- **General MIDI ("GM") Device Specifications** - расширение стандарта, обеспечивающее совместимость обработчиков звука, использующих различные банки звуков и эффектов.
- **Standard MIDI Files ("SMF")** – стандарт формата файлов
- **Downloadable Sounds ("DLS") Device Specifications** – спецификация, регламентирующая загрузку дополнительных банков звуков
- **Mobile MIDI & Ringtone Specifications** – спецификация, регламентирующая использование стандарта в мобильных телефонах.
- **Transport Specifications and Info** - описание интерфейсов подключения.
- **External Standards that Incorporate MIDI** - совместимые с midi стандарты.

Включает в себя стандарт usb-midi

На данный момент стандарт развивается в области беспроводных технологий. К сожалению, в данный момент использование технологий **Bluetooth** и **WI-FI** официально не поддерживается, но в 2014 году была начата работа по созданию спецификаций для работы по беспроводной связи.

### **Заключение**

В данной статье были рассмотрены основные положения стандарта MIDI, протокол обмена сообщениями, формат данных, особенности подключения, возможности использования технологии в различных сферах деятельности. Благодаря удобству стандарт нашел множество применений в современной музыкальной индустрии и продолжает развиваться. MIDI технология является простым, но в тоже время невероятно мощным и гибким инструментом в руках разработчика.

### **Литература**

1. Complete MIDI 1.0 Detailed Specification, 1996, MMA – Электронный ресурс. <http://www.midi.org/techspecs/index.php>
2. MIDI-DIN Electrical Specification, 1996, MMA – Электронный ресурс. <http://www.midi.org/techspecs/electrispec.php>
3. Introduction to MIDI, 2009, Roland corporation U.S., MMA – Электронный ресурс. <http://www.midi.org/aboutmidi/intromidi.pdf>

# СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ВИХРЕТОКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

**Мартьянов Е.В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Арбузов Е.В.*  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра РК-9, Москва, Россия

## MODERN COMPUTER-AIDED SYSTEMS OF EDDY CURRENT NON-DESTRUCTIVE TESTING.

**Martyanov E.V.**

*Supervisor: Ph.D., Associate Prof. Arbuzov E.V.*  
BMSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Научно-технический прогресс делает насущной проблему повышения качества продукции и эффективности производства. В связи с этим постоянно возрастает роль и значение средств неразрушающего контроля. Возникает задача разработки нового и модернизации действующего оборудования.

В статье описаны основные преимущества вихретокового метода неразрушающего контроля и рассмотрены современные высокопроизводительные автоматизированные вихретоковые системы.

### **Abstract**

Scientific and technological progress makes the essential problems to improve product quality and production efficiency. Thereby significance and importance of non-destructive testing are increasing. There arises the problems of developing a new and modernization of existing equipment.

The basic advantages of eddy-current testing method are described and the modern efficient computerized systems for nondestructive inspection.

Металлопрокат широко используется в промышленном и гражданском строительстве, машиностроении, химической, нефте- и газодобывающей промышленности и в других сферах производства. Изделия из металлов – это одни из основных конструктивных элементов, незаменимых во всех отраслях народного хозяйства.

Согласно международным и отечественным стандартам на поверхности металлоизделий не допускается наличие дефектов, таких как трещины, плены, рванины и закаты. Допускаются отдельные незначительные следы зачистки поверхностных дефектов и правки, не выводящие геометрические параметры проката за предельные размеры.

Многие виды дефектов имеют подповерхностный характер расположения и могут быть обнаружены только средствами неразрушающего контроля (НК). Создание современных средств НК с высокими показателями быстродействия и достоверности обнаружения дефектов необходимо для повышения качества продукции и эффективности производства. [3]

Среди различных методов НК одно из ведущих мест занимает вихретоковый контроль. Вихретоковая аппаратура имеет ряд важнейших преимуществ перед приборами, основанными на других физических принципах, к числу которых относятся большая производительность, высокий уровень автоматизации, широкий диапазон рабочих температур и давлений. Возможность контроля на высоких скоростях ставит вихретоковые приборы вне конкуренции при решении ряда производственных задач по контролю массовой продукции непосредственно в технологическом потоке производства. [2]

Вихретоковый метод НК основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля (ОК). Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного расположения измерительного вихревого преобразователя (ВТП) и объекта. В качестве преобразователя обычно используют индуктивные катушки (одну или несколько).

Синусоидальный или импульсный ток, действующий в катушках ВТП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение или сопротивление катушки, получают информацию о свойствах объекта контроля. [1]

Одна из важных особенностей вихретокового контроля заключается в том, что его можно проводить без контакта преобразователя и объекта. Взаимодействие обычно происходит на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта контроля (от долей миллиметра до нескольких миллиметров).

Также к преимуществам метода относят то, что на сигнал ВТП практически не влияют внешние факторы: влажность, давление, радиоактивные излучения, загрязненность газовой среды или поверхности объекта контроля непроводящими веществами. [1]

В современных экономических условиях, с учетом тенденций импортозамещения оборудования на отечественных предприятиях, задача разработки и модернизации средств НК становится все более актуальной.

### **1 Автоматизированная система вихретокового НК для контроля металлопроката в потоке производства.**

На сегодняшний день выпуском трубного металлопроката занимаются не только крупные металлургические заводы, но и большое количество малых предприятий, имеющих в своем оснащении небольшие производственные линии. В связи с этим вырос спрос на системы поточных вихретоковых дефектоскопов, соответствующих требованиям действующих международных и национальных стандартов. Отделом электромагнитной технической диагностики металлоизделий научно-исследовательского института интроскопии МНПО «СПЕКТР» был разработан современный высокопроизводительный автоматизированный дефектоскоп ВД-41П для неразрушающего контроля труб, проката, проволоки, изделий из металлопроката в процессе их производства и при входном контроле. (Рис.1.) Прибор может применяться для широкой номенклатуры диаметров и марок материалов (ферромагнитных и нержавеющей сталей, цветных и тугоплавких металлов и сплавов) [4]. Дефектоскоп предназначен для использования на трубных заводах в линиях непрерывных электросварных агрегатов, в линиях отделки горячекатаных и холоднотянутых труб и проката, в отдельно стоящих транспортных роллгангах, при входном контроле на заводах машиностроительного профиля (автомобильных, авиационных, сельхозмашиностроения и др.), трубных базах нефтяных и газовых компаний. [3]

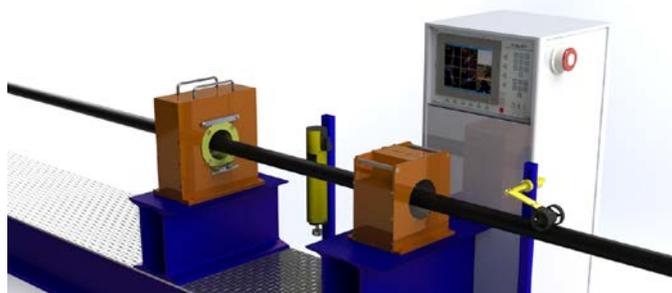


Рисунок 1 - Схема размещения участка неразрушающего контроля на базе ВД-41П в составе трубного стана (слева на право: блок преобразователей, краскоотметчик, демагнетизатор, стойка с электронным блоком, сирена, датчик пути).

Дефектоскоп ВД-41П может быть интегрирован в любую поточную производственную линию. Гибкая наладка модулей измерения и электроники позволяет настроить прибор на контроль широкой номенклатуры форм и диаметров (от 3 до 120 мм в базовой комплектации) металлопроката [5]. Возможность подключения большого количества периферийных устройств, таких как демагнетизатор, краскоотметчик, датчик пути,

светозвуковая сигнализация, позволяет создать ячейку НК, удовлетворяющую требованиям, как малого, так и крупного производства. [2]

Автоматизированная вихретоковая система полностью совместима с отечественными дефектоскопами предыдущего поколения, имеет унифицированные разъемные соединения и может использовать протоколы коммутации для подключения к станам отечественных и зарубежных производителей. Технические характеристики и возможность гибкой наладки [6] позволяют внедрить её на металлургических предприятиях вместо устаревших вихретоковых дефектоскопов импортного производства. Полное документирование результатов контроля и сбор статистики позволяет снизить издержки на ликвидацию брака и повысить конкурентоспособность продукции металлопроката.

## **2 Автоматизированная вихретоковая установка для контроля объектов термоядерного экспериментального реактора.**

Автоматизированная вихретоковая установка (АВУ) предназначена для выполнения операционных и сдаточных процедур НК сварных швов резистивных элементов (РЭ) при опытном и серийном изготовлении резисторов для коммутирующей аппаратуры электропитания и защиты сверхпроводящей магнитной системы интернационального термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР).

Резисторы коммутирующей аппаратуры предназначены для аварийного вывода энергии из магнитной системы ИТЭР. Два типа РЭ представляют собой секции, изготовленные из нержавеющей и ферромагнитной стали, сваренные из пластин толщиной 1 мм. Секции РЭ имеют сходные по конфигурации швы, но различаются общими габаритами, расположением швов в пространстве, их количеством и длиной. Все сварные соединения РЭ подлежат неразрушающему контролю, и должны соответствовать определенным требованиям качества по стандарту EN ISO 5817. [5]

Сложная конфигурация, исследуемых сварных швов, требует создания адаптивной системы НК, позволяющей проведение дефектоскопии в условиях трудной доступности, контролируемых поверхностей.



Рисунок 2 - Манипулятор АВУ для контроля сварных швов РЭ

АВУ разработана на базе вихретоковой системы ВД-41П. Робот-манипулятор, входящий в состав установки представлен на Рисунок 2.

## **3 Автоматизированная многоканальная система вихретоковой дефектоскопии.**

Многоканальный дефектоскоп ВД-91НМ (Рис.3.) представляет собой новое слово в вихретоковом неразрушающем контроле. Заложенные в нем программные и аппаратные решения позволяют в широчайших пределах отстроиться от такого мешающего параметра как рабочий зазор преобразователя.[5] На сегодняшний день ВД-91НМ единственная вихретоковая система в мире, позволяющая работать с переменным зазором до 10 мм без потери чувствительности к трещиноподобным дефектам. Для увеличения числа каналов дефектоскопы могут объединяться в сеть (16к. x N, где N число дефектоскопов). На базе ВД-91НМ была разработана система неразрушающего контроля труб магистральных нефте- и

газопроводов. Она позволяет решить задачу поиска дефектов типа несплошности и пятен повышенной твердости на внутренней и наружной стенках, в том числе через защитные покрытия толщиной до 10 мм. Пылевлагозащищенное исполнение (IP67), широкий диапазон рабочих температур (-30°C - +50°C), возможность передачи информации по Wi-Fi позволяют использовать ВД-91НМ в полевых условиях, на трубных базах, в том числе при переизоляции трубопроводов.



Рисунок 3 - Блок электроники ВД-91НМ

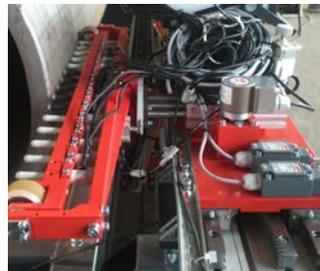


Рисунок 4 - Наружная каретка ВД-91НМ во время контроля через защитное покрытие магистральной трубы для газопровода

Оригинальная конструкция несущей каретки преобразователей (Рис.4.) позволяет проводить контроль в зоне сварного шва [7].

### **Заключение**

Автоматизированные системы являются гибкими производственными модулями, могут быть интегрированы в любые существующие производственные линии по изготовлению металлоизделий. Полное документирование результатов контроля и сбор статистики при внедрении приведенных вихретоковых систем, позволяет снизить издержки на ликвидацию брака, уменьшить затраты на обслуживающий персонал и повысить конкурентоспособность продукции.

### **Литература**

1. Klyuev, V.V. Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications / V.V. Klyuev, V.F. Muzhitskiy, E.S. Gorkunov, V.E. Scherbinin, Yu.K. Fedosenko, et al. Handbook: In 8 volumes // Edited by V.V. Klyuev. V. 1: in 3 books. Москва, 2010. Том 1.
2. Шубочкин, А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля / А.Е. Шубочкин – М.: Издательский дом «Спектр» 2014. –285 с. Мартьянов, Е.В. Модернизация вихретоковых средств неразрушающего контроля трубного и сортового металлопроката / Е.В. Мартьянов, А.Е. Шубочкин // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2014. — № 12. — С.17-20.
3. Арбузов, Е.В. Определение критериев подобия и построение электромагнитного поля вихретоковых преобразователей / Е. В. Арбузов, Е. О. Петренко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2012.— № 13. — С. 30–36.
4. Ефимов, А.Г. Распределение сигнала накладного вихретокового преобразователя над стальным изделием с внутренним дефектом сплошности а приложенном магнитном поле / А.Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. — 2012. — № 3. — С.17-24.
5. Ефимов, А.Г. Сравнительный анализ методов цифровой фильтрации / А.Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. — 2009. — № 10. — С.67-68.
6. Ефимов, А.Г. Современные вихретоковые системы неразрушающего контроля металлопроката / А.Г. Ефимов, А.Е. Шубочкин, Е.В. Мартьянов // Контроль. Диагностика. — 2014. — № 12. — С.19-20.

# АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ МНОГОПРОФИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЕРМООБРАБОТКИ В ЛАБОРАТОРИИ FABLAB

**Матлахов А.А.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент, Гриднев В.Н.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## ANALYSIS REQUIREMENTS FOR MODERNISATION OF MULTIFUNCTIONAL UNIT HEAT IN THE LABORATORY FABLAB

**Matlakhov A.A.**

*Supervisor: Ph.D in Engineering, Assoc. Prof., Gridnev V.N.*  
MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы анализа требований для модернизации установки, предназначенной для термообработки изделия в процессе сборки. Подробно исследованы существующие параметры термошкафа, исходя из выполняемых функций. Кратко представлены необходимые дополнительные функции установки, повышающие технологичность процесса. В заключении представлены рекомендации по модернизации установки.

### **Annotation**

The article deals with the analysis of the requirements for the modernization of the unit for heat treatment of products during assembly. Details are researched existing settings oven, on the basis of their functions. Summarizes the necessary additional installation features that improve manufacturability process. In conclusion, recommendations on the modernization of the installation.

### **Введение**

В последнее время прототипирование электронного устройства становится доступным не только для компаний, но и для групп студентов и даже для отдельных разработчиков. Во многом благодаря развитию сети лабораторий FabLab создание готового модуля больше не является неразрешимой проблемой для независимых разработчиков [3]. Оборудование лаборатории FabLab часто включает в себя фрезерный ЧПУ станок, 3D принтер, станок для трафаретной печати и экспонирования и т.д. Важной частью лаборатории является установка термообработки разрабатываемого изделия, которая может функционировать как печь пайки оплавлением, так и как термошкаф, необходимый для полимеризации клея, электроизоляционных лаков и компаундов.

**Актуальность работы** определяется необходимостью модернизации существующего термошкафа в многопрофильную установку, которая способна выполнять описанные выше функции. **Целью статьи** является анализ требований по модернизации оборудования для термообработки и постановка задач, решаемых в процессе работы бакалавра.

Для достижения поставленной цели в рамках работы были решены следующие задачи:

- Экспериментальное исследование параметров термошкафа «СНОЛ 3.5»
- Анализ требований по модернизации установки.
- Постановка задач по улучшению оборудования.

### **1 Классификация и особенности установок термообработки в FabLab**

В единичном производстве важна максимальная функциональность каждой из единиц оборудования, поэтому каждая лабораторная установка должна выполнять большое количество функций. В частности, установки термообработки могут применяться как термошкафы для сушки кремниевых кристаллов и полимеризации клеев и компаундов, так и как печи для пайки оплавлением [1].

Установки термообработки классифицируются следующим образом:

- по уровню мощности,
- по теплоносителю (инфракрасный или конвективный).

Инфракрасные печи для нагрева используют ИК-излучение. Такой способ передачи эффективнее, чем теплопроводностью и конвекцией, так как он гарантирует передачу всей тепловой энергии на весь внутренний объем устройства. Любые другие виды теплопередачи могут передавать тепло только с помощью поверхности устройства. Однако, такие печи имеют свои недостатки: так, количество энергии, которые поглощаются компонентами и платами, напрямую зависит от способности материалов ее поглощать. Именно поэтому все монтируемое устройство нагревается неравномерно. Такие операции как пайка кристаллоносителей иногда не может быть выполнена в печи с таким типом нагрева.

Установки конвекционного нагрева основаны на конвекционном способе теплопередачи, что обеспечивает равномерный нагрев устройства. Процесс осуществляется через специальные виды сопел, которые проводят воздух от нагревателя в зону нагрева. Непосредственно в процессе пайки компоненты нагреваются слишком сильно, что может вызвать внутренние повреждения, если термопрофиль подобран неправильно.

Камера, обычно, изготавливается из низкоуглеродистой стали. В современных установках благодаря микропроцессорной системе терморегулирования с цифровой индикацией температуры обеспечивается простая установка режимов и их поддержание с высокой степенью точности. Контроль параметров, как правило, обеспечивают терморезисторные или полупроводниковые датчики. За счёт плотного износоустойчивого уплотнителя дверцы гарантируется хорошее прилегание к корпусу рабочей камеры, а благодаря эффективной теплоизоляции стенок достигается стабильность режима и высокий КПД камеры.

## **2 Результаты экспериментальных исследований параметров термошкафа «СНОЛ 3.5»**

За основу будущей установки был взят термошкаф «СНОЛ 3.5» (рис. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид электропечи «СНОЛ 3.5»

В настоящее время «СНОЛ 3.5» применяется для следующих операций:

- Полимеризация клея.
- Полимеризация электроизоляционных лаков и компаундов.
- Подогрев поверхностей деталей перед процессом склеивания.
- Сушка поверхностей кремниевых кристаллов и печатных плат перед процессом заливки компаундами.
- Проведение процессов термообработки деталей и узлов с целью уменьшения внутренних напряжений, возникающих в процессе механообработки, пайки, склеивания.

Конструктивные особенности термошкафа:

- Электромеханическая система терморегулирования.
- Естественная конвекция воздуха в камере.

- Ручное поддержание заданного терморежима.
- Отсутствие принудительного охлаждения камеры.
- Отсутствие индикации текущей температуры.

Таблица 1 – Экспериментальные данные, полученные при испытаниях установки

Мощность, кВт	2
Диапазон температур, °С	50÷350
Скорость нарастания температуры, °С/сек	1÷3
Максимальная скорость спада температуры, °С/мин	5
Стабильность температуры в установившемся режиме, °С	±2
Сопротивление ТЭНов, Ом	45

В рамках данной статьи проводились испытания установки.

### 3 Анализ требований по модернизации установки

Расширение функциональных возможностей установки может осуществляться прежде всего за счет добавления функции пайки оплавлением. Среди всех условий данного процесса температурный профиль является одним из наиболее важных характеристик, определяющих уровень дефектов при пайке. Основным фактором, который влияет на термопрофиль, является оборудование. Рассмотрим термопрофиль пайки бессвинцовым припоем (рис. 2).

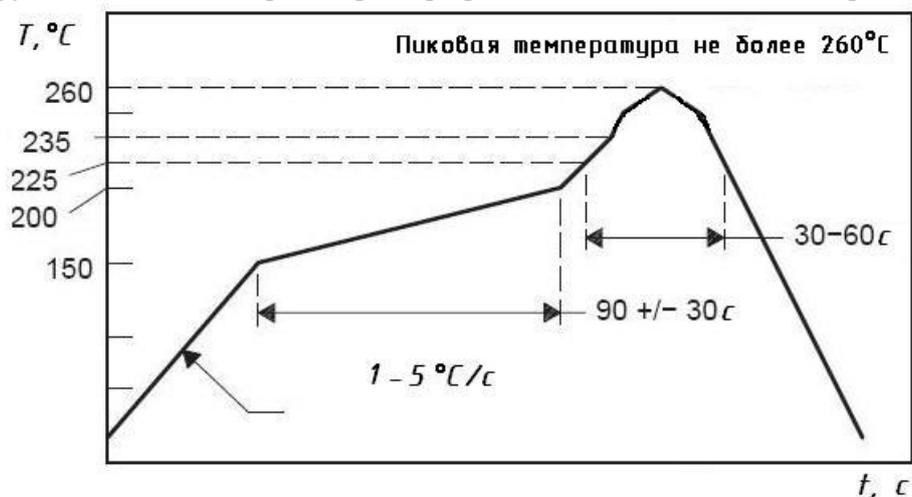


Рисунок 2 – Термопрофиль пайки бессвинцовым припоем

Анализируя график, разобьем процесс на 4 стадии [2]:

- Предварительный нагрев
- Стабилизация
- Оплавление
- Охлаждение

При предварительном нагреве важно не превышать скорость нагрева, поскольку это может привести к преждевременному испарению растворителя, содержащегося в паяльной пасте. Сокращение времени стабилизации может приводить к дефектам типа «холодная пайка» и эффекта «надгробного камня» [1].

В стадии оплавления важно поддерживать заданный термопрофиль, так как при низкой температуре обеспечивается слабая смачиваемость компонентов припоем.

Завышение скорости охлаждения может приводить к образованию внутренних напряжений в печатной плате из-за различного коэффициента теплового расширения материала печатных плат и корпусов компонентов.

Исходя из перечисленных выше требований по обеспечению качества пайки, делаем вывод, что печь пайки оплавлением должна иметь микропроцессорное управление с точным заданием термопрофиля с помощью ПИД регулятора и индикацией текущей температуры, а также информации о скорости нагрева/охлаждения для оператора. Также немаловажным фактором является скорость охлаждения заготовки, которую необходимо регулировать принудительной конвекцией воздуха. Простоту настройки и программирования для оператора необходимо обеспечить связью с ПК и программным обеспечением, автоматизирующим как процесс пайки, так и операции, проводимые в шкафу до модернизации.

### **Заключение**

В результате проведенного анализа были получены характеристики термошкафа СНОЛ 3.5, исследованы требования по обеспечению максимальной функциональности оборудования, а также сформулированы задачи по модернизации установки термообработки.

Таким образом, исходя из результатов работы, обобщим необходимые доработки:

- Разработка микропроцессорного управления термопрофилем пайки, сушки кремниевого кристалла, термообработки деталей и узлов.
- Разработка интерфейса обмена с ПК и программного обеспечения.
- Обеспечение искусственной конвекции камеры.

### **Литература**

1. Сускин В.В. Основы технологии поверхностного монтажа — М: Наука, 2001. — 160 с.
2. Шмаков М., Тиханкин А. Оптимизация температурного профиля пайки печатных плат оплавлением. Режим доступа: [http://www.tech-e.ru/2008\\_1\\_44.php](http://www.tech-e.ru/2008_1_44.php)
3. What is a Fablab? Режим доступа: <http://www.fabfoundation.org/fab-labs/what-is-a-fab-lab/>

# ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ В ОБЛАСТИ ВИХРЕТОКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

**Мефодичев П.Н., Мартьянов Е.В.**

*Научный руководитель: д.т.н. Ефимов А.Г.*

ЗАО «НИИН МНПО «Спектр», Отдел НИО-12, Москва, Россия

## APPLICATION SYSTEMS MODELING AND TECHNICAL PAYMENTS IN EDDY CURRENT NDT

**Mefodichev P.N., Martyanov E.V.**

*Supervisor: Sc.D. Efimov A.G.*

RII MSIA "Spectrum", Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье представлены системы автоматизированного моделирования и технических расчётов, применяемые в области вихретокового неразрушающего контроля. Рассмотрены ведущие мировые CAE-средства моделирования физических процессов и полей, такие как ANSYS, MSC Nastran, CIVA EXTENDE, LS-DYNA R7, ELCUT. Приведён краткий обзор отечественного пакета для моделирования электромагнитных полей Elcut производства компании ООО «Тор». В заключении представлены преимущества и недостатки рассмотренных в обзоре CAE-средств.

### **Abstract**

The article deals with computer-aided simulation and engineering calculations used in eddy current non-destructive testing. Considered the world's leading CAE-tools for modeling physical processes and fields, such as ANSYS, MSC Nastran, CIVA EXTENDE, LS-DYNA R7, ELCUT. Is a brief overview of the national package for the simulation of electromagnetic fields Elcut production company "Thor." In conclusion, presented the advantages and disadvantages considered in the review of CAE-tools

### **Введение**

На современном этапе развития науки и техники нельзя недооценивать роль металлоизделий, которые являются основными конструктивными элементами для большинства видов продукции и широко применяются в различных отраслях промышленности, таких как энергетика, машиностроение и многие другие. Для экономического роста необходимо обеспечить выпуск высококачественной продукции. Разработка и внедрение современных средств неразрушающего контроля (НК) металлоизделий с высокими показателями быстродействия и достоверности обнаружения дефектов [1] необходимо, чтобы обеспечить мировой уровень качества продукции.

Среди различных видов НК, при контроле металлоизделий, одно из ведущих мест занимает вихретоковый метод неразрушающего контроля (ВК) [2,3]. Для производства современных систем вихретоковой дефектоскопии, на этапе проектирования необходимо произвести большой объем математических расчётов, связанных с физикой электромагнитных полей. Для упрощения и автоматизации задач ВК, применяются программные пакеты и программы для расчётов, анализа и симуляции физических процессов и полей, так называемые CAE-средства (англ. Computer-aided engineering).

Формализация ВК в общем виде зачастую не реализуема из-за большого числа влияющих факторов. Поэтому для автоматизации проведения визуального моделирования и расчётов физических процессов, связанных с взаимодействием вихревых токов, необходимо иметь представление о существующих CAE-средствах, использующих численные методы расчета, и уметь грамотно выбрать подходящий программный пакет для решения конкретной задачи.

## 1 Вихретоковый метод неразрушающего контроля

Вихретоковый метод НК основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой вихретокового преобразователя (ВТП) в электропроводящем объекте контроля (ОК).

Достоинством вихретокового контроля является то, что его можно проводить при отсутствии контакта между ВТП и ОК, поэтому его часто называют бесконтактным. Получение первичной информации в виде электрических сигналов, отсутствие контакта и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля [4]. Так же преимуществом этого метода является то, что на сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязнённость газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности ОК непроводящими веществами. [5]

## 2 Обзор CAE-систем

Наиболее популярными CAE-системами для моделирования и анализа, электромагнитных полей являются программные продукты следующих разработчиков [6]:

*ANSYS inc. (США)* – на сегодняшний день мировой лидер в области систем CAE. Изображение моделей трещиноподобных дефектов в среде ANSYS 15.0 представлено на рисунке 1.

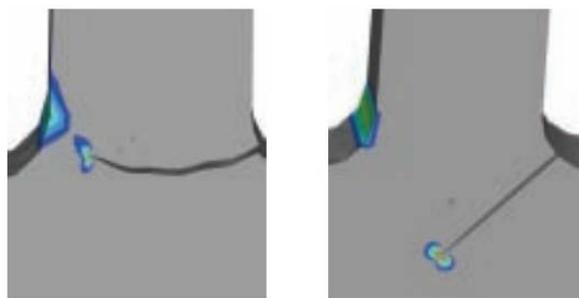


Рисунок 1 – Модели дефектов в среде ANSYS 15.0

Данный программный пакет предназначен для решения задач анализа структуры, теплового расчёта, а также высоко- и низкочастотного анализа электромагнитных полей. Программный пакет ANSYS MAXWELL решает задачу анализа двухмерного и трёхмерного проектирования и электромагнитных, и электромеханических устройств, в том числе трансформаторов, зондов и катушек.

*Cobham Technical Services (Великобритания)* – компания с 80-летней историей инжиниринговых работ в авиапромышленности и *Vector Fields Software (Великобритания)* в течение последних 25 лет разрабатывают и улучшают свой программный продукт *Opera v.16*, основанный на анализе электромагнетизма методом конечных элементов (МКЭ). *Opera* – ряд программных средств для проектирования и оптимизации электромагнитных устройств в двух или трех пространственных измерениях. *Opera* предназначена для выполнения численных решений реальных задач в магнитостатике, электромагнитных исследованиях на низких и высоких частотах; позволяет смоделировать движущиеся части (линейное и вращательное движения), синусоидальные и переходные временные зависимости, нелинейные материалы, внешние цепи. [6]

*MSC Software Corporation (США)* – компания предлагает программный пакет *MSC Nastran*. *MSC Software* использует для линейного и нелинейного анализа МКЭ для задач мультифизики, акустики, динамики нескольких тел. Особенности программы являются пакеты моделирования материалов с анизотропными свойствами, расчеты дефектов и их поведения во времени, расчет ресурса объекта *Material Center* *MSC Software*. Не имея собственного специализированного пакета по расчетам электромагнитных полей,

компания выпустила программный модуль построения сеток с возможностью экспорта полученных построений в большинство сторонних программ, таких как Ansys, Abaqus, LS-DYNA and Pam-Crash.

Проектирование с использованием универсальных средств САЕ в последнее время заменяется новыми специализированными пакетами программ. На мировом рынке появляются программные продукты, предназначенные для решения задач вихретоковой дефектоскопии.

*INTEGRATED Engineering Software (Канада)* – в линейке своих САЕ имеет модули для двухмерного и трехмерного гибридного моделирования полей. Данный программный пакет полностью совместим с MATLAB®. Для использования в НК предлагается двухмерный модуль OERSTED, 2D/RS временных гармоник поля вихревых токов, использующий МГЭ Boundary Element Method (BEM) и МКЭ Finite Element Method (FEM). OERSTED – инструмент, позволяющий при анализе электромагнитных полей рассчитать такие результирующие параметры, как сила, крутящий момент, наведенное напряжение, токи смещения, потокосцепление, наведенное напряжение, мощность, сопротивление и ток. Трёхмерная модель, созданная в программном пакете компании INTEGRATED Engineering Software, представлена на рисунке 2.

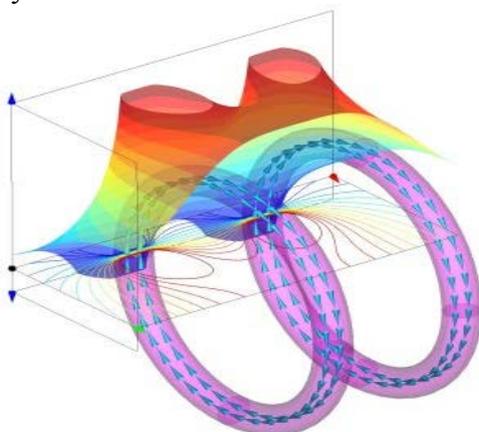


Рисунок 2 – 3D-модель катушки Гельмгольца

*EXTENDE (Франция)* – компания, предлагающая продукт CIVA EXTENDE, разработанный под патронажем французского научно-исследовательского института CEA (Commissariat à l'énergie atomique – фр. Комиссариат атомной энергии). CIVA EXTENDE позволяет смоделировать процедуру контроля, включая преобразователь, ОК и их взаимную ориентацию в пространстве, влияющие параметры и дефекты различного типа и геометрии. В программу входят несколько модулей по каждому из методов НК: акустическому, радиационному и вихретоковому.

Для вихретокового контроля предлагается программный продукт CIVA ET, в состав которого входят три модуля – расчета полей, 3D-процедуры контроля и несимметричных объектов. Отличительной особенностью CIVA является наличие в модуле ET большой библиотеки преобразователей. Виды ВТП в библиотеке модуля CIVA ET представлены на рисунке 3.

*Livermore Software Technology Corporation (LSTC) (США)* – в последней версии своего программного продукта LS-DYNA R7 обновил модуль EM (Electromagnetics). Модуль EM решает приближенно уравнения Максвелла для вихревых токов (индукция-диффузия). Данный подход применим для допущения, когда распространение электромагнитных волн в воздухе (или в вакууме) можно рассматривать как мгновенное, т.е. распространение волн не решается.

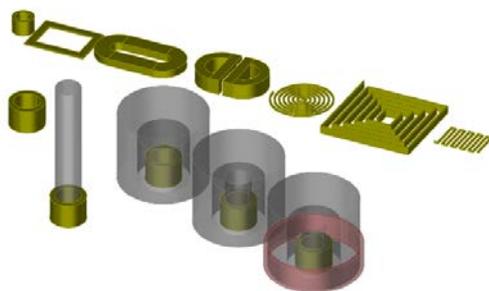


Рисунок 3 – Виды ВТП в библиотеке модуля CIVA ET

ООО «Тор» (Россия, Санкт Петербург) – отечественная компания, представившая в области компьютерного моделирования электромагнитных полей программный продукт Elcut. Данный программный пакет широко применяется для решения задач ВК не только в России, но и странах ЕС и Китае, при этом его стоимость значительно ниже конкурентов. Последняя версия ELCUT 6.0 обрела 3D модуль моделирования полей и объектов. Пакет использует программу конечно-элементного моделирования осесимметричных и плоскопараллельных двухмерных задач.

### Заключение

Были рассмотрены два типа программ: универсальные САЕ-средства, такие как ANSYS, MSC Nastran и Elcut, и специализированные программные пакеты, такие как CIVA EXTENDE и LS-DYNA R7. Преимущество универсальных САЕ-средств заключается в их широкой распространённости, недостаток – в их сложности для конечного пользователя, обусловленной универсальностью. Преимуществом специализированных пакетов является их узкая направленность непосредственно на задачи вихретокового НК. В специализированном САЕ-средстве можно найти библиотеки готовых ВТП, а также смоделировать процедуру контроля, что значительно упрощает проектирование средств НК. Мировой лидер в области вихретокового НК «НИИИИ МНПО «Спектр» также использует ряд рассмотренных в обзоре САЕ-средств для решения задачи проектирования приборов НК.

### Литература

1. Ефимов А.Г. Сравнительный анализ методов цифровой фильтрации / А.Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. – 2009. – №10. – С.67-68.
2. ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ. Федосенко Ю.К., Шкатов П.Н., Ефимов А.Г., учебное пособие для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике / Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике. Москва, 2011. Сер. Диагностика безопасности
3. NONDESTRUCTIVE TESTING. Klyuev V.V., Muzhitskiy V.F., Gorkunov E.S., Scherbinin V.E., Fedosenko Yu.K., Gerasimov V.G., Pokrovskiy A.D., et al. Handbook: In 8 volumes / Edited by V.V. Klyuev. V. 1: in 3 books. Москва, 2010. Том 1 Eddy-current testing
4. Мартьянов Е.В. Модернизация вихретоковых средств неразрушающего контроля трубного и сортового металлопроката / Е.В. Мартьянов, А.Е. Шубочкин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2014. – № 12. – С.17-20.
5. Ефимов А.Г. Распределение сигнала накладного вихретокового преобразователя над стальным изделием с внутренним дефектом сплошности в приложенном магнитном поле / А.Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 3. – С.17-24.
6. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля / А.Е. Шубочкин – М.: Издательский дом «Спектр» 2014. – 285 с.

# АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ РОБОТА ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА СВАРКИ

**Комахин М.О.**

*Научный руководитель: к.т.н., доц. Гриднев В. Н.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

# ANALYSIS REQUIREMENTS FOR MODERNISATION OF DEBUGGING BOARD FOR THE ROBOT TO TEST WELDS

**Komakhin M.O.**

*Supervisor: Ph.D in Engineering, Assoc. Prof. Gridnev V. N.*  
MSTU, Moscow, Russia

## **Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы анализа требований по разработке отладочной платы для робота, проверяющего качество сварных соединений. Изучена структура робота. По результатам полученных данных разработан список требуемого функционала отладочной платы. Также разработана предварительная версия печатной платы требуемого устройства. В заключении представлены рекомендации по доработке платы.

## **Annotation**

The article deals with the analysis of the requirements for the development of a debug unit for the robot to test welds. The robot structure has been studied. A preliminary version of the pcb was developed. In conclusion, recommendations on the modernization of the installation.

## **Введение**

В последнее время робототехника все больше проникает во все области жизни человека, в частности все больше роботов применяется при строительных работах. Робот имеет возможность более точно (и объективно в случае контроля качества) производить работы. Также робот, имея небольшие габариты обеспечивает возможность проникновения в места, недоступные человеку.

Робот проверки качества сварных соединений представляет собой платформу на шасси, передвигающуюся с помощью трех колес, имеющую также два магнитных колеса, которые позиционируются таким образом, чтобы сварной шов находился между ними. Также на борту имеется камера, с помощью которой оператор позиционирует робота в условиях ограниченной видимости, непосредственно устройство для контроля качества. Таким образом робот проверки сварных соединений представляет собой сложную техническую систему, для разработки и тестирования которой требуется отдельное аппаратное обеспечение.

**Актуальность работы** определяется необходимостью разработать систему, помогающую отлаживать и разрабатывать различные части робота.

**Целью** является разработка модуля отладки робота, обеспечивающего взаимодействие с некоторыми из составных частей робота.

## **1 Анализ конструктивной реализации робототехнической платформы**

При разработке робота учитывались следующие требования:

- требование минимизации габаритов,
- требование маневренности
- требование защищенности от внешних факторов (пыль, грязь, влага)



Рисунок 1 – Шасси робототехнической платформы

Для выполнения этих требований была разработана конструкция робота, представленная на рисунке 1. Робот управляется ARM11 процессором Broadcom BCM2835 в составе одноплатного компьютера Raspberry Pi.

Часть логики анализа данных получаемых с устройства контроля реализована на ПЛИС Xilinx.

## 2 Требования к отладочному модулю

Отладку микропроцессорных систем удобно производить, посылая данные в последовательный порт компьютера используя UART интерфейс. Требуется предусмотреть соответствующий разъем на отладочной плате и обеспечить преобразование уровней напряжения последовательного порта компьютера в уровни стандарта RS-232. Для этих целей на отладочной плате установлена микросхема MAX3380ECP.

Программирование основного процессора осуществляется по интерфейсу JTAG, по нему же можно производить и отладку.

Также на отладочной плате необходимо предусмотреть JTAG разъем для программирования ПЛИС.

На плате нужно реализовать три стабилизатора напряжения питания на 1.8, 2.5, 3.3В, а также регулируемый стабилизатор 1,2 – 5 В для питания различной периферии. Выбор напряжения питания осуществляется соответствующим джампером.

На случай если требуется использовать не все линии для отладки устройстваа лишь некоторые, следует предусмотреть отдельные разъемы.

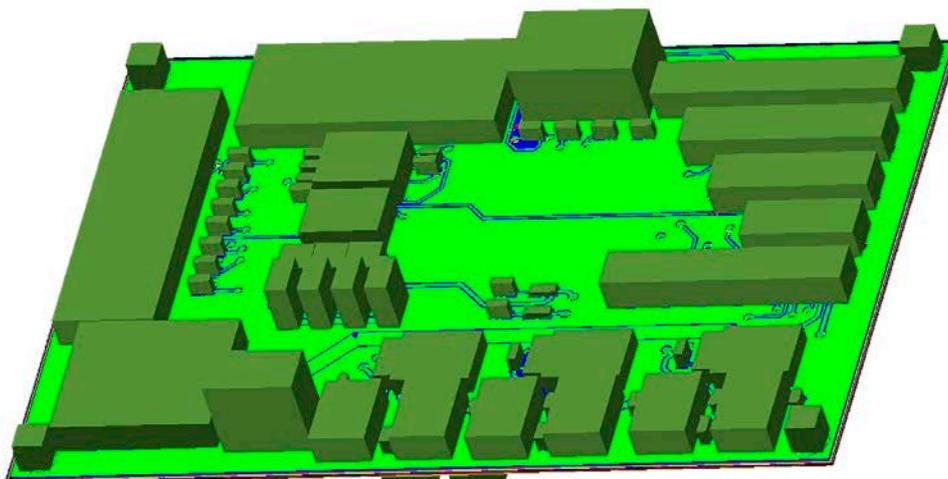


Рисунок 2 – 3D модель отладочного модуля

Условная (учитывающая только геометрические размеры и расположение элементов) 3D модель отладочного модуля представлена на рисунке 2.

Для наглядности на плате предусмотрены светодиоды, индицирующие наличие питания.

До 2015 года аналогичные роботы производились с другими разъемами отладки, которые присоединялись с помощью шлейфа, что неудобно при испытаниях устройств, но для обеспечения обратной совместимости такой разъем необходимо предусмотреть на отладочном модуле.

### **Заключение**

Робототехническая система является сложным техническим устройством и требует дополнительных аппаратных средств для удобного выполнения отладки и тестирования всех узлов. В результате данной работы был разработан модуль отладки робота, проверяющего качество сварных соединений. С помощью данного модуля можно использовать COM порт компьютера для отладки, также предусмотрены разъемы для программирования основного процессора и ПЛИС на борту робота. Отладочная плата удобна в использовании всем сотрудникам, занимающимся разными частями робота т.к. обеспечена возможность подачи разного напряжения питания.

С технологической точки зрения возможна доработка печатной платы путем уменьшения количества задействованных слоев (с четырех до двух), что значительно снизит стоимость данной платы за счет снижения затрат на подготовку к производству.

### **Литература**

1. С.А. Кузнецова, А.В. Нестеренко, А.О. Афанасьев OrCAD 10. Проектирование печатных плат — М: Горячая Линия-Телеком, 2005 — 454с
2. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.acsys.ru/> — Сайт Акустические контрольные системы — Проверено: 11.02.2015
3. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.youtube.com/channel/UCnIynmZ6xfarrAyZnpBsgVQ> — Уроки Cadence OrCad — Проверено: 11.02.2015.

# УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАХВАТЫВАЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ПЛАЗМОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Сафаров М.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.В.Лавров  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

## THE MULTIFUNCTION DEVICE FOR DEMONSTRATION AND STUDY OF THE ELECTRIC PHENOMENA

Safarov M.A.

The scientific chief: Ph.D., associate professor Lavrov A.V.  
Bauman MSTU

### Аннотация

Работа посвящена разработке, изготовлению и исследованию универсальной, недорогой, зрелищной демонстрационной установки по физике на основе трансформатора Тесла, отвечающей всем требованиям, предъявляемым к современному школьному оборудованию.

### Abstract

Scientific work is devoted to development, production and research of universal, affordable, spectacular demonstration device based on the Tesla coil that meets all the requirements for the modern school equipment.

### Введение

В настоящее время школьное демонстрационное и лабораторное оборудование по физике в большинстве своем является неинтересным и морально устаревшим [1].

**Актуальность** данной проблемы заключается в том, что это является одной из причин снижения интереса к изучению естественнонаучных и технических дисциплин [2].

**Цель** данной работы - создание качественно новой демонстрационной установки по электродинамике, основой которой будет являться трансформатор Тесла

Для этого в рамках работы были проведены

- математическое и компьютерное моделирование;
- схемотехническое, конструкторское и технологическое проектирования;
- всесторонние экспериментальные исследования;

Особое место в работе было уделено обеспечению безопасности устройства.

В первую очередь было проведено математическое моделирование и расчет наиболее значимых параметров трансформатора Тесла. Математические модели отражены на рис. 1, рис. 2.

В результате моделирования определены: длина, диаметр проводника, количество витков, индуктивность, емкость вторичной обмотки, толщина скин-слоя, емкость тороида, емкость вторичного контура.

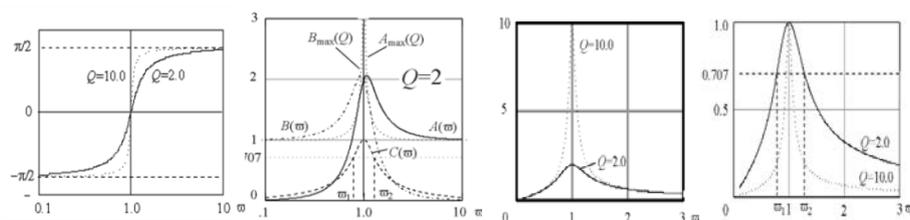


Рисунок 1 - фазовый сдвиг между током и напряжением при разных значениях добротности; изменение величин в окрестности резонанса при Q=2, 3 (в логарифмическом масштабе оси абсцисс); абсолютные значения напряжения при разных значениях добротности [3]

Далее было проведено компьютерное моделирование трансформатора Тесла как цепи с сосредоточенными параметрами в САПР SwitcherCAD (рис. 2). Так как вторичная обмотка является цепью с распределенными параметрами [4], [5], [6], [7], она промоделирована также в САПР INCA и Wolfram Mathematica (рис. 3).

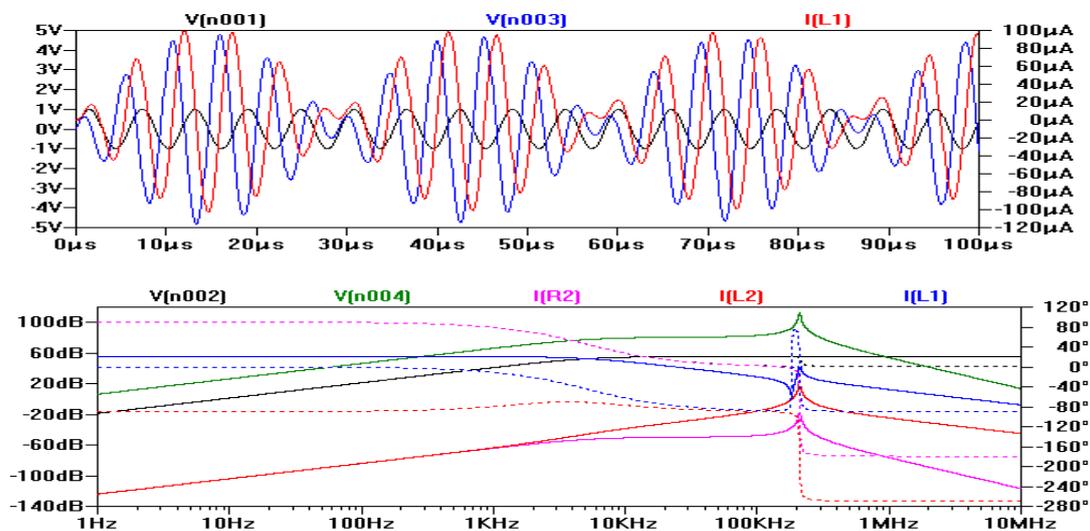


Рисунок 2 - Результат моделирования трансформатора Тесла в SwitcherCAD: временные диаграммы напряжений и токов при резонансной частоте; частоте, отличной от резонансной; АЧХ и ФЧХ токов и напряжений

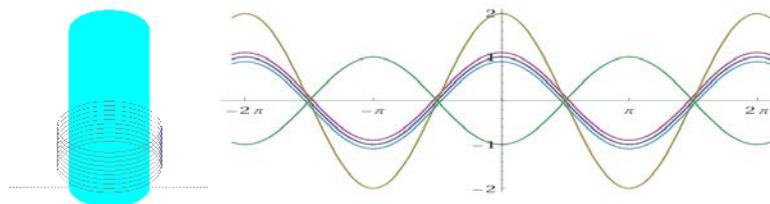


Рисунок 3 - Изображение моделируемого в САПР INCA трансформатора; результат моделирования трансформатора Тесла в Wolfram Mathematica

В результате моделирования рассчитаны коэффициент связи, параметры стоячей волны, резонансная частота, выходное напряжение без учета интерференции; выяснено, что резонансная частота в катушке Тесла пропорциональна коэффициенту связи.

Далее было проведено схемотехническое проектирование блока управления трансформатором Тесла. Первоначальная схема (рис. 4), обладала множеством недостатков и в дальнейшем прошла целый ряд усовершенствований: повышение мощности, снижение тепловых потерь, обеспечение устойчивости и надежности (устранение искажений ШИМ-сигнала (рис. 4), эффекта Миллера, тиристорного эффекта, импульсных помех, влияния ЭМИ (рис.4)).



Рисунок 4 – Первоначальная схема блока управления трансформатором Тесла (с полумостовым инвертором и трансформаторной развязкой): сигналы на выходе управляющей части, трансформатора, инвертора

В результате схемотехнического проектирования разработан и изготовлен блок управления (рис. 5), который отличается повышенной мощностью, надежностью, низкими тепловыми потерями и возможностью быстрой точной настройки импульсов на резонансную частоту. Также, в данную схему введена возможность регулировки скважности выходных импульсов аналоговым сигналом.

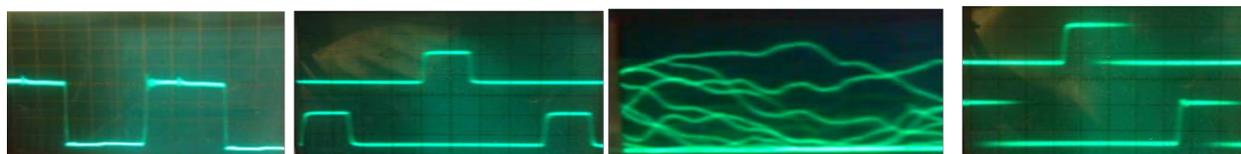


Рисунок 5 – Лицевая панель блока управления трансформатором Тесла; сигналы на истоке транзистора верхнего плеча инвертора, затворах транзисторов инвертора, входе DTC, выходе ШИМ

Далее были проведены конструкторское и технологическое проектирования. В частности, для смены объектов демонстрации был использован реверсивный электромеханический привод, лицевая панель была создана с помощью CorelDraw и системы TROFTEC, для изготовления вторичной обмотки изготовлен самодельный намоточный станок.

Большое внимание при создании устройства было уделено обеспечению безопасности: специальные схемотехнические решения позволили снизить питающее напряжение до безопасного (~42 В), для защиты от выделяющегося озона использован угольный фильтр, клетка Фарадея защищает от ЭМИ, LC-фильтр обеспечивает ЭМС с другими устройствами, высокая частота тока защищает от воздействия высокого выходного напряжения (скин-эффект) [8], [9], [10].



Рисунок 6 – Результат конструкторского и технологического проектирования

В рамках работы было проведено множество экспериментальных исследований.

1. Исследование зависимости длины дугового разряда от параметров катушки Тесла.



Рисунок 7 – Дуговые разряды при различных параметрах КТ

В результате данного исследования были определены оптимальное расположение первичной обмотки, количество ее витков. Выяснено, что емкость вторичного контура положительно влияет на длину дугового разряда

2. Измерение выходного напряжения (проведенное при помощи самодельного киловольтметра), исследование влияния вторичной обмотки на первичную.

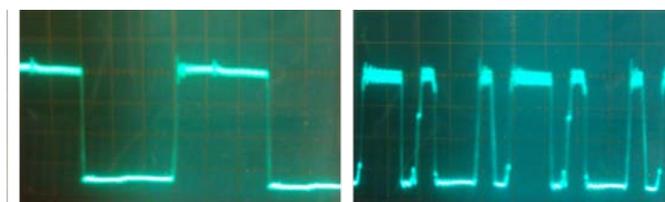


Рисунок 8 – Сигналы на первичной обмотке без резонанса, при резонансе в КТ

Измерения показали, что при резонансе напряжение на вторичной обмотке многократно увеличивается, и оно оказывает значительное влияние на первичную.

3. Исследование параметров ЭМП трансформатора Тесла, проведенное при помощи самодельного датчика на основе магнитной антенны.

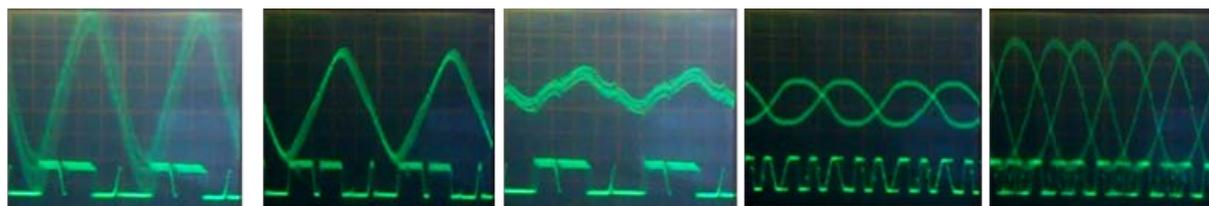


Рисунок 9 – Сигнал на антенне при различных параметрах

Данное исследование показало, что напряженность распределена в форме стоячей волны, пучность которой находится на верхнем конце вторичной обмотки.

4. Измерение периода гармоник и тока в первичной обмотке трансформатора Тесла в различных режимах работы

В результате данного исследования было выяснено, что в трансформаторе Тесла большая часть потребляемой энергии переходит в энергию электромагнитного поля, а также то, что в нём можно наблюдать картину пространственных гармоник, период которых пропорционален емкости вторичного контура

5. Лабораторное исследование эффективности экранирования ЭМИ от демонстрационной установки клеткой Фарадея

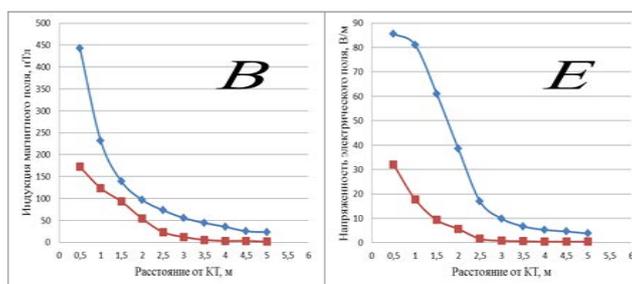


Рисунок 10 – Результаты исследования индукции магнитного поля, напряженности электрического поля

Исследование с помощью профессионального метрологического оборудования показало, что применение клетки Фарадея позволяет снизить уровень ЭМИ от КТ до безопасных значений. Данные зафиксированы в Акте технической экспертизы (рис. 10).

В рамках работы проведено сравнение с единственным найденным аналогом – учебной катушкой Тесла немецкой фирмы «3B Scientific». Устройство, созданное в рамках данной работы, обладает преимуществом по функциональности, универсальности, инвариантности, возможности расширения функционала, стоимости, наличии защиты от электромагнитного излучения и озона, но однако, уступает аналогу по массе и габаритам.

**Результаты работы:**

- разработана, изготовлена и исследована демонстрационная установка по электродинамике, которая отвечает всем требованиям к современному учебному оборудованию, в том числе соответствующим СанПиН и ГОСТ [11 - 16];
- созданная установка успешно апробирована на региональных и всероссийских конференциях;
- разработано методическое пособие для работы с установкой.

**Научная новизна** работы заключается в комплексной адаптации трансформатора Тесла к учебному процессу, а также в применении клетки Фарадея в качестве дополнительной емкости вторичной обмотки, что существенно повышает эффективность установки.

Фотографии опытов, проводимых на разработанной установке, представлены на рисунке 11.

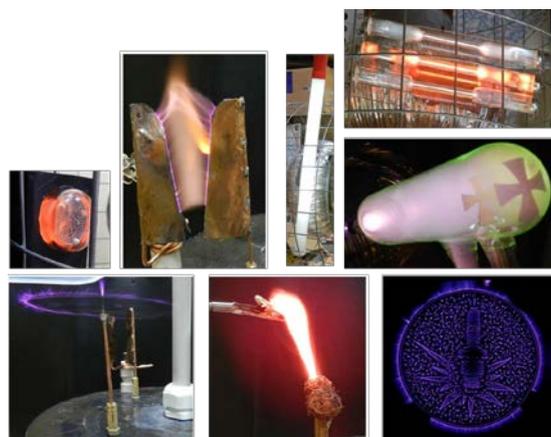


Рисунок 11 – Опыты, проводимые на созданной установке: демонстрация стоячей электромагнитной волны, эффект «лестницы Иакова», свечение различных газов в ЭМП высокой напряженности и беспроводная передача энергии, опыт с «мальтийским крестом», эффект «ионного двигателя», окрашивание дугового разряда различными веществами и демонстрация плазменного громкоговорителя, эффект Кирлиана

**Практическая ценность** созданного устройства заключается в том, что оно может использоваться в качестве демонстрационной установки в учебном процессе, и для популяризации технических и естественнонаучных дисциплин.

### Литература

1. Федеральный компонент государственного стандарта общего образования. Часть II. Среднее (полное) общее образование./ Министерство образования Российской Федерации. - М. 2004. - 266 с.;
2. Резник Н.И., Берестнева О.Г., Алексеева Л.Ф., Шевелев Г.Е. Вопросы образования: Инвариантный подход. Компетентностный подход.— Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 461 с.;
3. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. — 9-е изд. — М.: Высшая школа, 1996;
4. "RF Coils, Helical Resonators and Voltage Magnification by Coherent Spatial Modes" by Kenneth and James Corum;
5. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория поля. — Издание 7-е, исправленное. — М.: Наука, 1988;
6. О.С. Литвинов, К.Б. Павлов, В.С. Горелик. Электромагнитные волны и оптика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана.
7. Tesla's lectures before the Institution of Electrical Engineers (London) and the Royal Institution (London), February 3 and 4, 1892;
8. Hyper and Ultra High Frequency Engineering, by R. Sarbacher and E.W. Edson, Wiley, 1943;
9. Быков В.Л. Глава 4. Кожа и её производные // Частная гистология человека. — СПб: Сотис, 2001. — С. 56-70. — 304 с. — 3000 экз. — ISBN 5-85503-116-0;
10. Улащик В. С. Универсальная медицинская энциклопедия. Физиотерапия. — Книжный дом, 2008. — 640 с. — ISBN 978-985-489-713-4;
11. ГОСТ 28139-89 Оборудование школьное. Общие требования безопасности;
12. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.4.2.2821-10;
13. Инструкция по охране труда при проведении демонстрационных опытов по физике ИОТ-008-2004;
14. СанПиН 2.4.2.1178-02 «Гигиенические требования к условиям обучения в общеобразовательных учреждениях»;
15. «Правила безопасности труда для кабинетов (лабораторий) физики общеобразовательных школ» (Приложение к письму Минпроса РСФСР от 11 апреля 1983 г. № 96-М);
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».

# РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ПУТИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

**Пичугин Н.**

*Научный руководитель: к.т.н., доц. Гриднев В. Н.*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## OPTICAL PATH OF THE PROXIMITY SENSOR FOR ULTRASONIC ARRAY

**Pichugin N.**

*Supervisor: Ph.D in Engineering, Assoc. Prof. Gridnev V. N.*  
MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Данная работа посвящена разработке оптического бесконтактного датчика пути для ультразвуковой антенной решетки с целью замены механического контактного энкодера. Рассмотрены схема проведения ультразвукового неразрушающего контроля, принцип работы оптической системы слежения за перемещением, блок-схема системы, структурная схема разработанного датчика. Приведены трехмерные модели разработанного датчика, внешний вид и блок-схема антенной решетки со встроенным датчиком, обозначены преимущества от внедренной разработки.

### **Abstract**

This work is devoted to the development of the optical path of the proximity sensor for ultrasonic array to replace the mechanical contact encoder. Consider the scheme of ultrasonic nondestructive testing, the principle of operation of the optical motion tracking, a block diagram of a system block diagram of the developed sensor. Shows three-dimensional models developed sensor, appearance and block diagram of the antenna array with built-in sensor, designated benefits from the introduction of development.

### **Введение**

Актуальность проведенной разработки обусловлена необходимостью замены механического контактного датчика-энкодера. Основным условием для работы такого датчика является соприкосновение колеса измерительного вала с поверхностью, что приводит к износу поверхности колеса, нарушению геометрической формы колеса, и снижает точность измерений. Различная кривизна контролируемых поверхностей требует использования системы прижима датчика для исключения проскальзывания. Значительные габариты датчика делают его неудобным в эксплуатации при проведении ультразвукового контроля.

Применение оптического бесконтактного датчика пути позволяет избежать многих из изложенных выше проблем, а компактный размер самого датчика позволяет встроить его в модуль ультразвуковой антенной решетки.

Рассмотрим принцип ультразвукового контроля материалов на примере контроля сварного шва металлического трубопровода (см. рисунок 1).

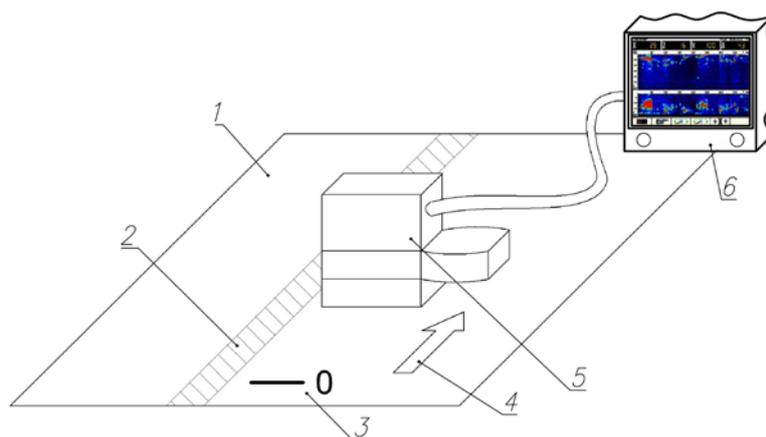


Рисунок 1 - Схема ультразвукового контроля сварного шва трубопровода

- 1 – участок трубопровода;
- 2 – сварной шов;
- 3 – нулевая метка;
- 4 – направление перемещения решетки;
- 5 – ультразвуковая антенная решетка;
- 6 – дефектоскоп-томограф.

Контроль производится при помощи наклонной ультразвуковой антенной решетки и ультразвукового дефектоскопа-томографа с цифровой фокусировкой антенной решетки и томографической обработкой данных. На объект контроля - трубу - наносится нулевая метка, относительно которой будут производиться измерения. Поверхность трубы, где пройдет антенная решетка, смазывается маслом для обеспечения акустического контакта. Антенная решетка устанавливается на нулевую метку, прибор переводится в режим измерения и антенная решетка перемещается вдоль сварного шва. При этом датчик пути отслеживает перемещение решетки, и получаемая на приборе томограмма имеет привязку к нулевой метке на трубе. Таким образом, после анализа отснятой диаграммы можно точно локализовать положение дефекта, имеющего место в сварном шве.

### 1 Принцип работы оптической системы слежения за перемещением

При помощи источника освещения и системы фокусирующих линз под оптическим модулем освещается участок поверхности. Отраженный от поверхности свет проходит через систему линз и фокусируется на приемном сенсоре микросхемы – процессоре обработки изображений. Процессор состоит из двух основных частей: системы получения изображений и обработчика снимков.

Система получения изображений производит снимки поверхности с высокой частотой (до 12000 кадров в секунду). Снимок представляет собой квадратную матрицу из черно-белых пикселей разной яркости. Обработчик изображений анализирует несколько последовательно снятых снимков, определяет направление и дальность перемещения, производит расчет и передает по последовательному интерфейсу смещение вдоль осей X и Y для дальнейшей обработки внешними вычислительными устройствами.

В качестве источника освещения поверхности под оптическим модулем может использоваться как лазер, так и светодиод. На рисунке 2 показаны снимки поверхности белой кафельной плитки при использовании светодиодного освещения (см. рисунок 2а) и лазерного освещения (см. рисунок 2б).

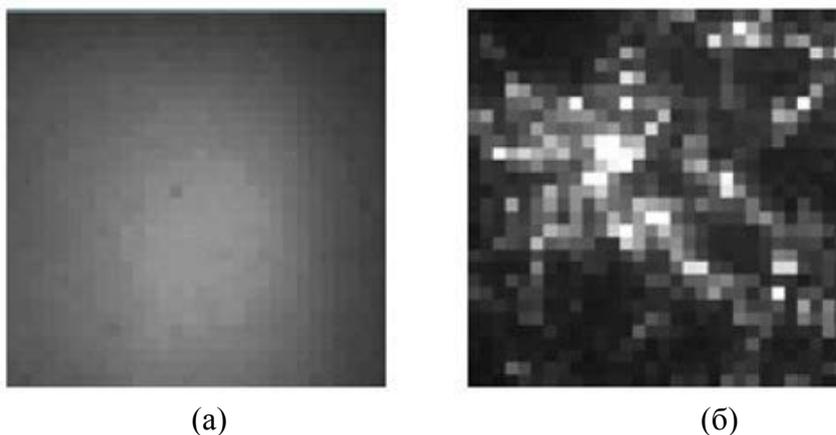


Рисунок 2 – Снимки поверхности белой кафельной плитки с использованием а – светодиодного освещения, б – лазерного освещения

Из рисунков видно, что контрастность снимка, полученного при применении лазерного освещения, гораздо выше, а значит и распознавание перемещения процессором обработки изображений будет совершенно с большей точностью. Данный эффект достигается за счет узконаправленности пучка, излучаемого лазером, что позволяет получить большую освещенность поверхности под оптическим модулем.

Таким образом, использование лазера для освещения поверхности вместо светодиодной системы позволяет значительно повысить чувствительность оптического датчика пути.

## 2 Принцип работы датчика пути

В качестве оптического модуля разработанного датчика пути был выбран модуль ADNS9500. Он имеет габариты 15,6мм x 14,4мм x 5,95мм, работает при напряжении питания 3В или 5В, имеет 16 разрядные регистры для хранения координат перемещения, обладает высоким быстродействием (до 11750 кадров в секунду с разрешением до 5737,5 счетов на дюйм) и встроенной схемой управления питанием и тактированием. В качестве источника освещения используется одномодовый лазер с длиной волны излучения 832..865нм.

Рассмотрим блок-схему оптического датчика ADNS9500 (см. рисунок 3).

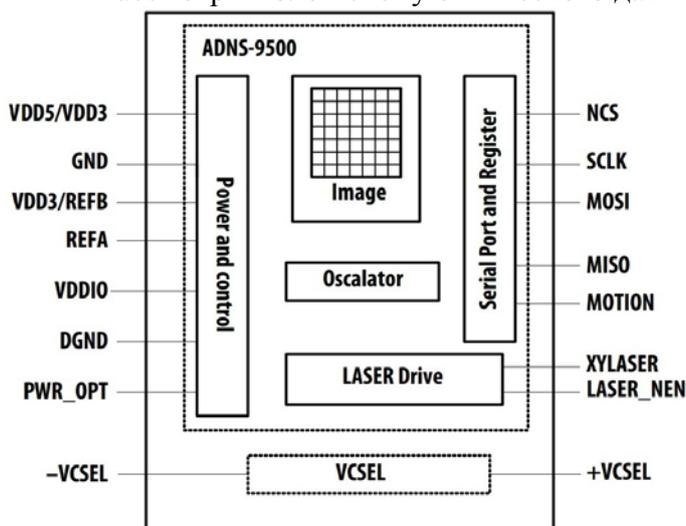


Рисунок 3 – Блок-схема оптического датчика ADNS9500

Image – процессор обработки изображений;

Oscillator - встроенный в чип высокостабильный кварцевый резонатор;

Laser drive – драйвер управления лазером;

VCSEL – вертикально излучающий лазер, использующийся для подсветки поверхности;

Serial port and register – порт последовательного интерфейса SPI и регистры памяти;

Power and control – блок питания и управления.

Оптический датчик ADNS9500 предназначен для применения вместе с оптической линзой ADNS-6190-002, обеспечивающей фокусировку лазерного излучения на поверхности под датчиком и на системе получения изображений. Внешний вид оптического датчика с линзой представлен на рисунке 4.

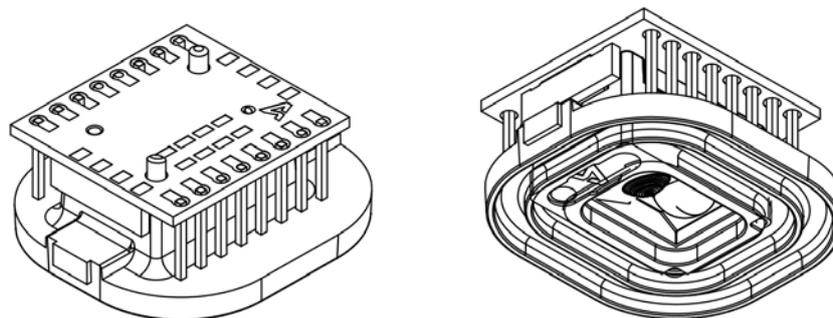


Рисунок 4 – Внешний вид оптического датчика с линзой

В соответствии с техническими характеристиками и возможностями оптического модуля, была разработана структурная схема датчика пути, представленная на рисунке 5.

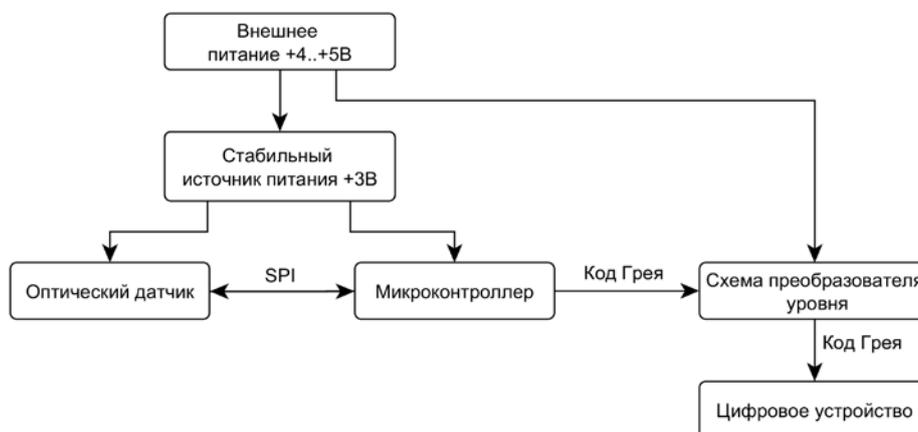


Рисунок 5 – Структурная схема датчика пути

Центральным блоком датчика пути является микроконтроллер. Его управляющая программа выполняет:

- инициализацию и начальную настройку оптического модуля;
- чтение значений смещения датчика по оси X;
- накопление и обработку значений смещения;
- генерацию кода Грея.

Код Грея поступает на дефектоскоп-томограф. Генерируемый код Грея аналогичен коду, генерируемому механическим энкодером, что позволяет подключить разработанный датчик пути к разъему, предусмотренному для энкодера, и не требует внесения изменений в конструкцию, электрическую принципиальную схему и управляющую программу серийно выпускаемого дефектоскопа-томографа. Электропитание микроконтроллера и оптического модуля осуществляется от стабильного источника питания +3В.

Датчик пути разработан как встраиваемый модуль в антенную решетку, что отразилось на его конструкции (см. рисунок 6). Датчик подключается к антенной решетке между модулем коммутатора и акустическим модулем. В соответствии с этим разводка модуля производится на двух печатных платах. На первой печатной плате (см. рисунок 6а, 6в) установлен микроконтроллер со схемой обвязки и преобразования уровня. Печатная плата устанавливается и припаивается поверх оптического модуля. Для точной установки в печатной плате предусмотрены базовые отверстия, в которые вставляются штыри оптической линзы. Спаянный модуль вставляется в нишу детали (см. рисунок 6б, 6в),

поэтому печатная плата выполняется на гибком полиимидном основании. На границе платы предусмотрены контактные площадки для припайки к соответствующим площадкам второй печатной платы (т.к. малые габариты не позволяют разместить разъем).

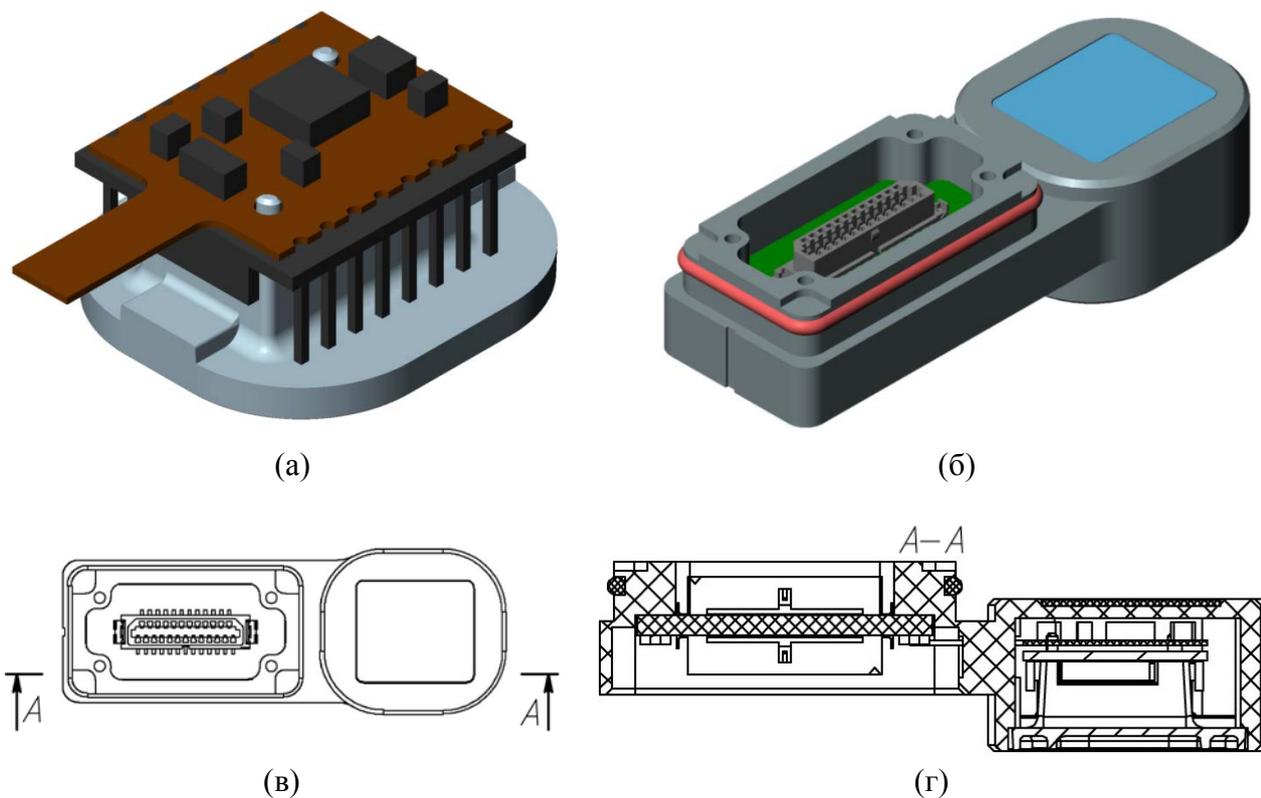


Рисунок 6 – Трехмерная модель датчика пути

а – оптический модуль со схемой управления, б – датчик пути в сборе, в – датчик пути: вид сверху, г - датчик пути в разрезе

На второй печатной плате (см. рисунок 6б, 6в) также установлены разъемы, повторяющие коммутацию модуля коммутатора и акустического модуля, а также содержащие сигналы с датчика пути.

Антенная решетка, к которой выполняется подключение датчика пути, представлена на рисунке 7.

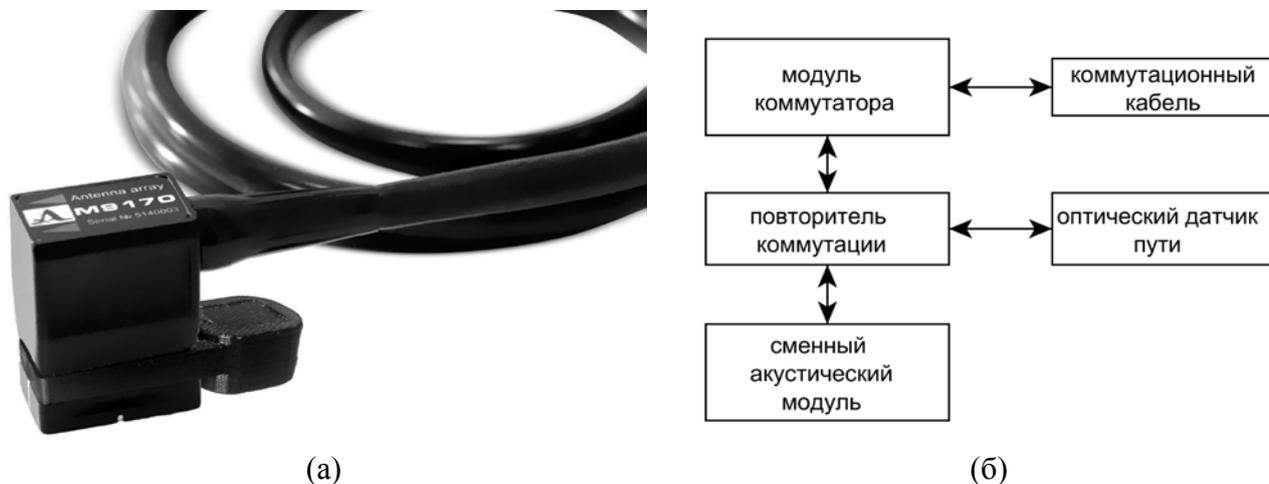


Рисунок 7 – Высокочастотная антенная решетка М9170 с оптическим датчиком пути  
а - внешний вид, б – блок-схема

Антенная решетка состоит из сменного акустического модуля, в котором находится матрица пьезоэлементов и модуля коммутатора, который под управлением измерительного прибора осуществляет попеременную коммутацию пьезоэлементов в соответствии со строго определенным алгоритмом. Полученный сигнал с антенной решетки поступает в прибор, где производится его цифровая обработка и отображение на экране. Разработанный датчик пути встраивается между сменным акустическим модулем и модулем коммутатора, сигнальные линии с датчика добавляются в общий многожильный коммутационный кабель.

### **Заключение**

В данной работе был разработан бесконтактный оптический датчик пути, предложенный в замен контактного механического энкодера, обладающий следующими преимуществами:

- для работы датчика не требуется контакт с поверхностью;
- отсутствие контакта с поверхностью избавляет от применения расходных материалов и увеличивает срок службы;
- выходной сигнал датчика аналогичен выходному сигналу энкодера, благодаря чему не требуется доработка схемотехники и ПО дефектоскопа-томографа;
- сборка датчика пути осуществляется без применения специализированной оснастки;
- датчик встраивается в модуль антенной решетки, что повышает удобство эксплуатации.

### **Литература**

1. ADNS9500 Laser Gaming Sensor – Technical datasheet – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.pixart.com.tw/upload/ADNS-9500%20DS\\_S\\_V1.0\\_20130514144327.pdf](http://www.pixart.com.tw/upload/ADNS-9500%20DS_S_V1.0_20130514144327.pdf) – Проверено 21.12.2014.
2. ADNS-6190-002 Laser Gaming Round Lens– Technical datasheet – Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.pixart.com.tw/upload/ADNS-6190-002%20DS\\_S\\_V1.0\\_20130514144327.pdf](http://www.pixart.com.tw/upload/ADNS-6190-002%20DS_S_V1.0_20130514144327.pdf) - Проверено 21.12.2014.
3. Дефектоскоп ультразвуковой A1550 IntroVisor – Руководство по эксплуатации – Электронный ресурс – <http://www.acsys.ru/downloads/%c4%ee%ea%f3%ec%e5%ed%f2%e0%f6%e8%ff/%c01550%20%d0%f3%ea%ee%e2%ee%e4%f1%f2%e2%ee%20%ef%ee%20%fd%ea%f1%ef%eb%f3%e0%f2%e0%f6%e8%e8.pdf> - Проверено 21.12.2014.
4. Kinetis KL02 32 KB Flash 48 MHz Cortex-M0+ Based Microcontroller – Technical datasheet – Электронный ресурс – [http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/data\\_sheet/KL02P32M48SF0.pdf](http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/data_sheet/KL02P32M48SF0.pdf) – Проверено 21.12.2014.

## ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С БОЛЬШИМ АСПЕКТНЫМ СООТНОШЕНИЕМ

Беда Н.В., Миронова Ж.А.  
*Научный руководитель: к.т.н., доц. Гриднев В.Н.*  
МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## PREPARING OF THROUGH-HOLES' SURFACES OF MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS WITH LARGE ASPECT RATIO

Beda N.V., Mironova Z.A.  
*Supervisor: prof. Gridnev V.N.*  
MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье представлены общие сведения о методах подготовки отверстий ПП к металлизации. Указано влияние аспектного соотношения, т. е. отношения толщины ПП к диаметру переходного отверстия. Подробно исследованы следующие технологические операции подготовки поверхности отверстий к металлизации: метод плазмохимического травления и перманганатная очистка, а так же их сочетание. Выявлен оптимальный режим обработки поверхности для отверстий с большим аспектным соотношением.

### Abstract

This article provides general information about methods of preparing of through-holes' surfaces of PCB for plating. The influence of aspect ratio is shown. Operations of preparing: permanganate etching, plasma etching and their combination, are described. And the best method of preparing for through-holes with large aspect ratio is defined.

В настоящее время наблюдается значительное усложнение конструкции радиоэлектронной аппаратуры. Из-за большого количества компонентов, ведущего к увеличению числа связей между ними, широкое распространение получили многослойные печатные платы [1]. Для межслойного соединения используются металлизированные отверстия. Качество металлизации отверстия определяется его равномерностью и сплошностью. Если металлизация будет иметь такие дефекты, как трещины, разрывы или уменьшение толщины в середине отверстия, то это может привести к отказу печатной платы. На рис. 1 приведены фотографии дефектов металлизации отверстия печатной платы диаметром 0,6 мм.

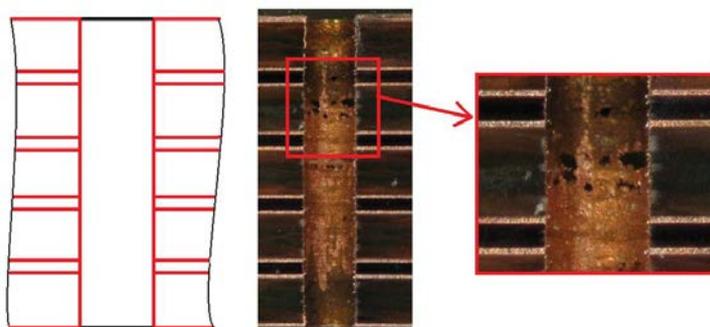


Рисунок 1 – Дефекты металлизации отверстия

Также из-за увеличения числа компонентов на единицу площади печатной платы требуется уменьшение размеров элементов проводящего рисунка, при этом повышается класс точности [2]. Все это ведет к изменениям в технологическом процессе производства

печатных плат. Так из-за уменьшения диаметра отверстий и увеличения числа слоев становится необходимо учитывать аспектное соотношение отверстий – величину равную отношению толщины печатной платы к диаметру металлизированного отверстия.

При сверлении из-за разогрева сверла происходит наволакивание смолы на стенки отверстия. Чем больше аспектное соотношение, тем больше перегрев сверла, а это ведет к тому, что смола на стенках отверстия может создать диэлектрическую пленку, которая после металлизации может разделить внутренние проводящие слои и слой металлизации в отверстии в соответствии с рис. 2.

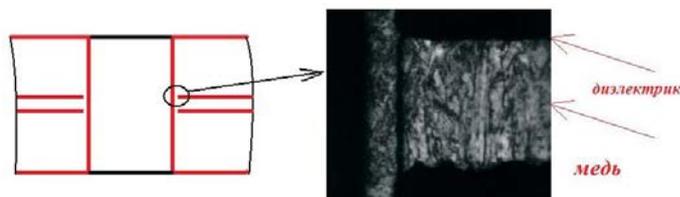


Рисунок 2 - Диэлектрическая пленка эпоксидной смолы [3]

Таким образом, для исключения диэлектрической пленки необходимо удалить смолу со стенок отверстия, для этого в технологический процесс вводятся операции подготовки поверхности отверстий к металлизации. Существует несколько основных методов подготовки поверхности, которые делятся на три типа:

1. механическая обработка;
2. химическая обработка;
3. плазмохимическая обработка.

Основным видом механической обработки является *гидроабразивная очистка* поверхности [1]. Суть данного процесса заключается в прокачивании через отверстия печатной платы гидроабразивной суспензии. Данный вид обработки позволяет убрать заусенцы с торцов и выровнять стенки отверстий. Но при уменьшении диаметра и увеличении аспектного соотношения возникают сложности с подбором режимов обработки отверстий, так как нужно обеспечить свободное прокачивание гидроабразивной суспензии через отверстия малого диаметра. Так же не вся смола удаляется со стенок, что может привести в дальнейшем к неисправности платы. Отсюда следует, что механическая обработка при подготовке к металлизации отверстий малого диаметра и с большим аспектным соотношением не дает требуемого результата.

Химическая обработка позволяет значительно повысить качество обработки поверхности отверстия. Основной способ обработки – травление. Самым распространенным травителями являются *серная кислота, хромовая кислота и перманганат калия*.

Процесс химической обработки можно разделить на несколько этапов:

- 1) Подготовка платы к травлению;
- 2) Травление;
- 3) Удаление продуктов реакции;
- 4) Очистка.

Предварительная подготовка чаще всего подразумевает обезжиривание и промывку поверхности. Сам процесс травления зависит от травящего раствора и подбора соответствующего режима обработки. Удаление продуктов реакции и очистка поверхности необходимы для проведения операции металлизации.

Установка для химической обработки схематично представлена на рис. 3 и отражает общий процесс.

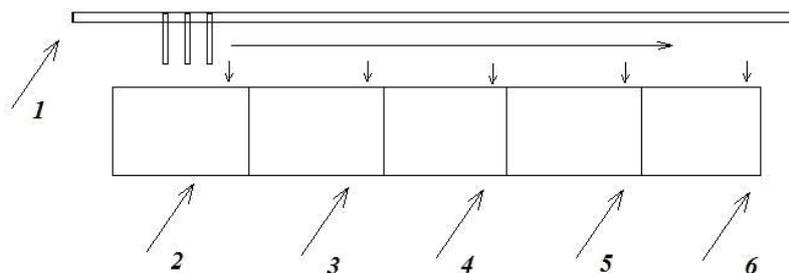


Рисунок 3 - Схема установки химического травления

На схеме цифрами обозначены:

- 1 – механизм для перемещения заготовок плат вдоль линии
- 2 – ванна для обезжиривания поверхности
- 3 – ванна для промывки
- 4 – ванна с травящим раствором
- 5 – ванна с раствором для нейтрализации продуктов травления
- 6 – ванна промывки

Основные параметры режимов обработки приведены в [4].

Широкое распространение получила *перманганатная очистка*. Ее преимуществом является в хороших адсорбционных и адгезионных свойствах. Благодаря этому многие линии металлизации включают в себя линию перманганатной очистки.

В настоящее время для обработки отверстий также применяют метод *плазмохимического травления*. Процесс травления происходит в вакуумной камере в высокочастотном электромагнитном поле в атмосфере кислорода и фреона. В результате обработки происходит подтрав стекловолкна и удаление смолы со стенок отверстий. После такого вида обработки необходимо удалить образовавшуюся золу со стенок отверстий.

Для исследования оптимальной подготовки к металлизации поверхности отверстий с большим аспектным соотношением была предложена структурная схема методики, представленная на рис.4.



Рисунок 4 - Структурная схема проведения исследования

Как видно из схемы, тестовые образцы печатных плат с металлизированными отверстиями с аспектным соотношением более 10:1 были разделены на 4 части, и каждая подверглась своему виду обработки. Образцы группы А сразу были отправлены на операцию металлизации. Образцы группы Б подверглись перманганатному травлению. Процесс осуществлялся на автоматической линии металлизации, в которую включена перманганатная очистка. Режим обработки представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Режим обработки при перманганатном травлении

Номер операции	Ванна	Состав	Режимы
1	Ванна набухания	Метилэтилкетон Натрия гидроокись 20г/л	5 мин, 60оС
2	Ванна промывки	Вода дистиллированная	7 мин, 45оС
3	Ванна перманганатного окисления	Перманганат натрия 50 г/л Натрия гидроокись 45 г/л	10 мин, 70оС
4	Ванна восстановления	Серная кислота 30 мл/л Перекись водорода 35 мл/л	1 мин
5	Ванна промывки	Вода дистиллированная	7 мин, 45оС
6	Сушка	Воздух	10 мин, 60оС

Образцы группы В были отправлены на плазмохимическое травление. Обработка проходит в течении 20 мин. Образцы помещаются в камеру, которая затем вакуумируется. После этого камера заполняется кислородом, который ионизируется сильным высокочастотным полем. Плазма разрушает полимеры и стекло.

Таблица 2 - Режим обработки при плазмохимическом травлении

Цикл обработки		
среда	кислород	Время обработки
ток	5 А	10 мин
вакуум	$5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст.	

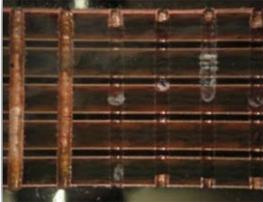
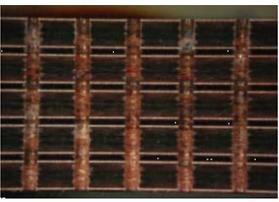
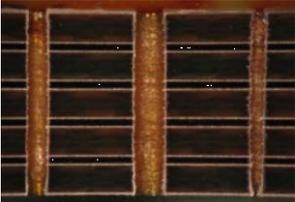
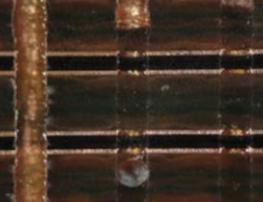
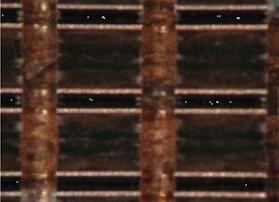
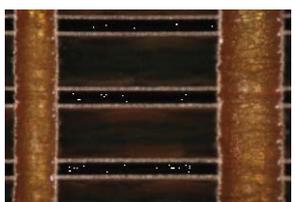
При комбинированном методе обработки для образцов группы Г режим плазмохимического травления остался таким же, а длительность перманганатного травления сократилась. Укороченный режим обработки перманганатным травлением представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Укороченный режим обработки при перманганатном травлении

Номер операции	Ванна	Состав	Режимы
1	Ванна набухания	Метилэтилкетон Натрия гидроокись 20г/л	2 мин, 60оС
2	Ванна промывки	Вода дистиллированная	5 мин, 45оС
3	Ванна перманганатного окисления	Перманганат натрия 50 г/л Натрия гидроокись 45 г/л	5 мин, 70оС
4	Ванна восстановления	Серная кислота 30 мл/л Перекись водорода 35 мл/л	1 мин
5	Ванна промывки	Вода дистиллированная	7 мин, 45оС
6	Сушка	Воздух	10 мин, 60оС

После обработки образцы группы Б, В и Г металлизировались. Результаты исследований представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Фотографии металлизированных отверстий при различных методах обработки

А контроль	Б Перманганатное травление	В Плазмохимическое травление	Г Перманганатное + Плазмохимическое травление
			
			

Таким образом, удовлетворительный результат качества металлизации отверстий с большим аспектным соотношением был получен только в случае комбинированной подготовки, т.е. сочетания плазмохимической обработки и перманганатного травления.

#### **Заключение**

Качество металлизации переходных отверстий многослойных печатных плат напрямую зависит от технологии подготовки поверхности к металлизации. Для подготовки к металлизации высокоплотных печатных плат с аспектным соотношением отверстий более 10:1 рекомендуется комбинированный метод, включающий плазмохимическую обработку и последующее перманганатное травление.

#### **Литература**

1. ГОСТ Р 53429-09.
2. ГОСТ 23664-79.
3. В.Терешкин, Л. Григорьева, Ж. Фантгоф Подготовка поверхности и отверстий при производстве печатных плат – Москва: Технологии в электронной промышленности № 1, 2006.
4. Печатные платы: Справочник в 2-х книгах. Книга 1/ под редакцией Кумбза – Москва: Техносфера, 2011. – 1016 с.

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНТЕРФЕЙСА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТУДЕНТА И ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

Подорин А.А.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлева Л.В.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

## THE DESCRIPTION OF MODULES OF INTERFACE BETWEEN STUDENT AND TEACHER

Podorin A.A.

*Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Juravleva L.V.*

Bauman MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В работе представлено описание модулей для реализации интерфейса взаимодействия преподавателя и студента в учебном процессе. Основное внимание в работе уделено описанию модулей АИС, ее функций, взаимодействия модулей и практической реализации АИС.

### Abstract

This work is devoted to the description of modules of interface for interaction of student and teacher. The main attention is given to description of modules of interface, function of interface, interconnections of this modules, frameworks that will be used for realization.

### Введение

**Актуальность работы** определяется низкой автоматизацией труда в области сдачи письменных работ, непрозрачностью проверки письменных работ, несоблюдение стандартов и регламентов при оформлении письменных работ.

Процесс сдачи различных письменных работ чаще всего контролируется вручную преподавателем и требует, либо проверки большого количества печатных работ, либо приём работ непосредственно в процессе собеседования со студентом, либо принятие работ в электронном виде. В последнем случае необходимо находить способы передачи работы, контроля над проверкой работ и простановки баллов за работу. Основной функцией данного интерфейса является устранение всех этих проблем.

При выполнении различных письменных работ студент чаще всего не выполняет требования регламента при оформлении документов в электронном виде. Кроме того, часто отсутствуют шаблоны для оформления различных документов. Данный интерфейс должен помочь решить эти проблемы.

**Объектом исследования** является процесс сдачи различных письменных работ, включающий в себя передачу работу преподавателю, проверку, возврат работы или простановку баллов.

Данный процесс достаточно длителен, ограничен возможностями преподавателя и заставляет студентов тратить большое количество времени на ожидание очереди для собеседования. Всё это приводит к непродуктивной работе студентов и преподавателей. При использовании электронной формы документооборота имеется возможность повысить продуктивность работы студента, при этом незначительно увеличивая трудоемкость работы преподавателя, т.к. большинство преподавателей используют неформализованные электронные способы приема письменных работ.

**Постановка задачи:** представить функциональное описание отдельных модулей интерфейса взаимодействия преподавателя и студента [7], определить структуру проекта, используемую модель реализации, используемые программные библиотеки, полный список реализуемых функциональных возможностей.

**Целью работы** является разработка структуры проекта для реализации указанного функционала.

**Практическая ценность работы** заключается в последующей разработке данной системы и возможности её внедрения для приёма письменных работ.

**Результатом работы** являются:

- описание полного функционала системы;
- описание отдельных модулей системы;
- определение функций каждого модуля;
- описание взаимодействия модулей;
- определение используемой программной библиотеки для разработки.

## 1 Оценка полного функционала системы

Основной задачей системы является упрощение взаимодействия и документация взаимодействия преподавателя и студента в учебном процессе. В данной модели реализуются следующие роли:

- общий пользователь;
- администратор;
- преподаватель;
- студент.

Общий пользователь – права данного пользователя предоставляются всем описанным ниже ролям. С точки зрения программирования данная роль является родительской для всех остальных.

Администратор – пользователь, который должен иметь возможность добавлять новых пользователей, объединять их в группы, обеспечивать привязку преподавателей к группам и аналогичные функции.

Преподаватель – пользователь, который должен иметь доступ к загрузке работ своих студентов и возможность оценки выполненной работы.

Студент – пользователь, который должен иметь доступ к загрузке работ по установленным предметам.

В таблице 1 представлен полный список функций каждого пользователя.

Таблица 1 – Полный список функций каждого пользователя

<b>Общий пользователь</b>	<b>Администратор</b>	<b>Преподаватель</b>	<b>Студент</b>
Смена пароля	Создание пользователя	Выгрузка работы	Загрузка работы
Смена фотографии	Добавление предметов/кафедр/факультетов и установка связей между ними	Простановка баллов за выполненную часть	Просмотр баллов за выполнение частей
Изменение даты рождения	Добавление групп и добавление пользователей в группу (студенты)	Просмотр статистики по текущему студенту	Написание текстовых сообщений преподавателю
Просмотр персональных данных	Добавление преподавателей к определённому предмету	Просмотр статистики по группе/потоку	Просмотр своей статистики/статистики по группе/потоку
Обратная связь	Привязка списка изучаемых предметов к группе	Написание текстовых сообщений студенту/комментарии к выполненной части	Просмотр работ других студентов
		Создание шаблона письменной работы	

В представленной системе следует отдельно выделить функции, которые не относятся ни к одной из описанных ролей, но выполняются в фоне и упрощают процесс взаимодействия:

- проверка загружаемых работ на плагиат по базе уже загруженных работ;
- уведомление студента и преподавателя по электронной почте о загрузке работы/изменении статуса работы.

## 2 Анализ модели реализации модулей

На основании описанных выше функций были выделены следующие модули, каждый из которых реализует определенную часть функций системы:

- модуль авторизации;
- модуль профиля;
- модуль студента;
- модуль преподавателя;
- модуль администратора;
- модуль проверки на плагиат;
- модуль почтовой рассылки;
- модуль обратной связи.

На рисунке 1 представлено взаимодействие модулей между собой.



Рисунок 1 – Модель взаимодействия модулей АИС между собой

Как видно из модели в системе присутствуют общие модули, доступ к которым предоставляется всем авторизованным пользователям, и есть модули, доступ к которым предоставляется по результатам авторизации.

## 3 Программные модели системы

При разработке отдельных модулей системы каждый модуль делится на отдельные компоненты, взаимодействие между которыми документируется, и зависит только от данных, которые будут передаваться между этими модулями.

При разработке тонких клиентов стандартом разработки является модель MVC (Model-View-Controller – Модель-Вид-Контроллер). Основываясь на данной модели для каждого модуля необходимо реализовать три типа компонентов. Количество компонентов каждого типа определяется функциональной сложностью модуля.

Модель – основной задачей модели является считывание информации из базы данных, запись информации в базу данных, проверка данных на валидность и обеспечение безопасного взаимодействия тонкого клиента с СУБД. Чаще всего количество моделей определяется количеством используемых сущностей/таблиц, которые используются в данном модуле.

Вид используется для отображения информации, которая поступает из модели через контроллер. В вид передаются данные, которые необходимо просто вывести без необходимости их предварительной обработки т.е. является шаблоном интерфейса тонкого клиента (то что видит пользователь на экране монитора).

Контроллер – управляющая часть модуля, которая организует движение из моделей в виды и от пользователей к моделям. Основной задачей контроллера является обработка информации поступающей от моделей и пользователей, а также определение логики работы модуля в целом, т.е. контроллер решает, какие модели в данном случае используются, какой вид использовать и какие данные передать в этот вид.

Описанная модель реализации модулей позволяет реализовывать отдельные компоненты модуля различными группами людей без ущерба для их функциональности, а также является стандартом при разработке на основе различных библиотек (фреймворков).

#### 4 Описание функций модулей и их реализации в модели MVC

Весь реализуемый функционал разделён между отдельными модулями. Также для реализации данного модуля представлена графическая модель, в которой определены список моделей, видов и контроллеров, которые будет использовать данный модуль. Отдельные модели могут использоваться различными модулями.

*Модуль авторизации* реализует функцию авторизации т.е. предоставление различных прав доступа пользователям. На рисунке 2 представлена реализация данного модуля в модели MVC.

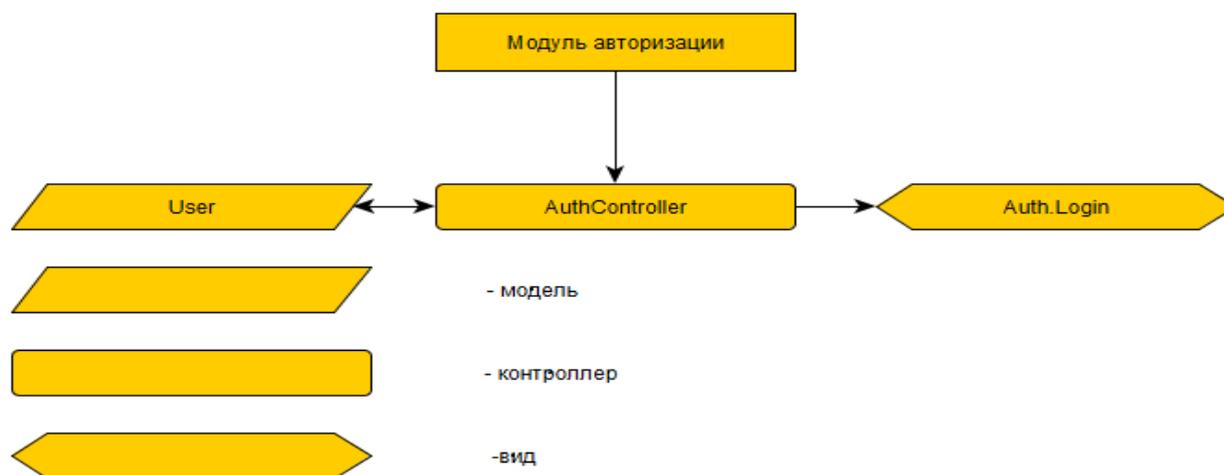


Рисунок 2 – Модуль авторизации в модели MVC

Изначально при отсутствии входных данных от пользователя контроллер отображает вид Auth.Login. После получения данных от пользователя и проверки их с помощью модели User пользователь будет перенаправлен на главную страницу.

*Модуль профиля* используется для изменения и просмотра основной информации о пользователе самим пользователем:

- смена пароля;
- смена фотографии;

- изменение даты рождения.

На рисунке 3 представлена реализация данного модуля в модели MVC. Условные обозначения модуля, модели, контроллера и вида аналогичны рисунку 2.

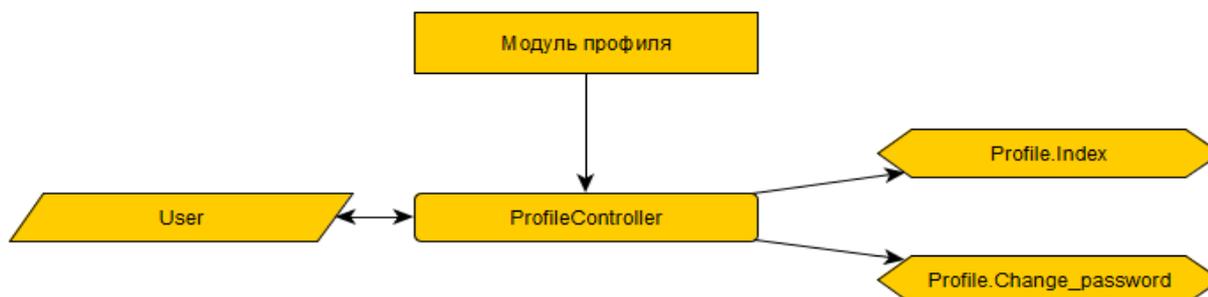


Рисунок 3 – Модуль профиля в модели MVC

Изначально контроллер отобразит пользователю вид Profile.Index, который даёт возможность изменить основные данные, либо перейти к смене пароля. При смене пароля отображается вид Profile.Change\_password. В обоих случаях данные сначала проверяются контроллером, а позже передаются в модель User для записи в базу данных.

*Модуль студента* реализует следующие функции:

- загрузка работы;
- просмотр баллов за выполнение частей;
- написание текстовых сообщений преподавателю;
- просмотр своей статистики/статистики по группе/поток;
- просмотр работ других студентов.

На рисунке 4 представлена реализации данного модуля в модели MVC. Условные обозначения модуля, модели, контроллера и вида аналогичны рисунку 2.

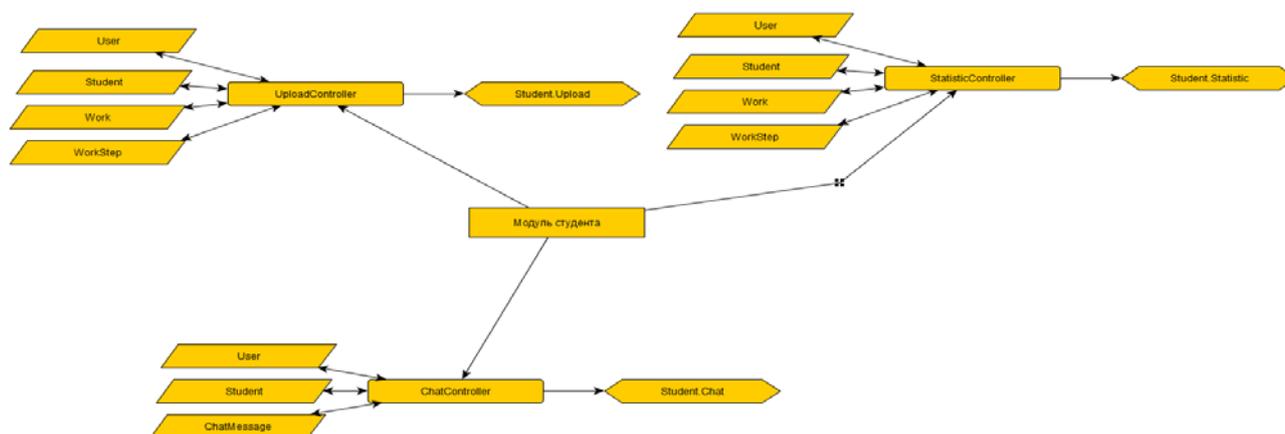


Рисунок 4 – Модуль студента в модели MVC

Изначально контроллер UploadController отобразит вид Student.Upload, с помощью которой студент может загрузить файлы с заданием. После этого данные будут обработаны с помощью моделей Work и WorkStep. Для просмотра статистики используется контроллер StatisticController, а чат обрабатывается контроллером ChatController.

*Модуль преподавателя* реализует следующие функции:

- выгрузка файлов;

- простановка баллов за выполненную часть;
- просмотр статистики по текущему студенту;
- просмотр статистики по группе/потоку;
- написание текстовых сообщений студенту;
- создание шаблона письменной работы.

Модуль преподавателя в модели MVC аналогичен модулю студента, т.к. большей частью выполняет аналогичные функции.

Для остальных модулей описываются только выполняемые ими функции, т.к. их модели достаточно просты.

*Модуль администратора* выполняет функции:

- создание пользователя;
- добавление предметов/кафедр/факультетов и установка связей между ними;
- добавление групп и добавление пользователей в группу (студенты);
- добавление преподавателей к определённому предмету;
- привязка списка изучаемых предметов к группе;

*Модуль почтовой рассылки* выполняет функции:

- отправка почтовых сообщений из других модулей;
- взаимодействие с почтовыми серверами.

*Модуль обратной связи* выполняет функцию связи между администраторами и пользователями системы.

### **Заключение**

В работе был представлен программный вариант реализации АИС взаимодействия преподавателя и студента в учебном процессе, описан полный функционал реализуемой системы. Данный функционал разбит на отдельные модули и представлена модель реализации данных модулей на основе модели MVC.

### **Литература**

1. Резчикова Е.В. Как и кого готовить для профессий, которых пока нет// Сборник докладов V Международной конференции. Триз. Практика применения методических инструментов в бизнесе // Москва. 22-23 ноября 2013 г., МГТУ им.Н.Э.Баумана.
2. А.И.Власов Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей //Международный научно-исследовательский журнал. - 2013. - № 10-2 (17). - С. 17-26.
3. Лунина И. Н., Покровская М. В., Резчикова Е. В. Об опыте интеграции педагогических технологий в техническом университете// Высшее образование в России. - 2013г. - №2.
4. Власов А.И., Журавлева Л.В., Макушина Н.В., Резчикова Е.В., Шахнов В.А., Чебова А.И. Онтология наноинженерии// Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. - 2013. - № 12-1 (19). - С. 50-67.
5. Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро- наносистем // Научное обозрение. - 2013. - №1. - С.107-111.
6. Власов А.И., Журавлева Л.В. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2013. - №1. - С.133-140.
7. Подорин А.А. Концепция функционального интерфейса взаимодействия студента и преподавателя // XVI молодежная международная научно-техническая конференция учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых – 2014 – Секция 2 №19 – С.227-231.

# ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ НА МАССИВЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКТУАТОРОВ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ажгиревич И.Л., Пущин А.В.  
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-2, Москва, Россия

## CYLINDRICAL WAVE ENGINE BASED ON ARRAY OF MICROMECHANICAL SELF-COMBUSTION ACTUATORS

Azhgirevich I.L., Pushchin A.V.  
MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматривается способ применения микромеханических актуаторов, работающих за счет внутреннего сгорания продуктов электролиза, для создания тяги двигательной установки. Предложен способ организации таких актуаторов в пространственный массив, позволяющий создавать как продольную силу тяги, так и моменты сил по трем ортогональным осям. Кратко представлены результаты моделирования распределения давления в зазоре с рабочей средой. В заключении рассмотрены преимущества и недостатки такой системы, возможности ее применения.

### Abstract

The article discusses how to use micromechanical actuators, working through the internal combustion of products of electrolysis to produce the thrust of the propulsion system. Then we provide a method of organization of such actuators into a spatial array, allowing to create both a longitudinal traction force and moments of forces along three orthogonal axes. We also presented the results of the simulation of the pressure distribution in the gap with the mediating liquid. Finally, we consider the advantages and disadvantages of such a system, the possibility of its application.

### Введение

Современный мир невозможно представить без двигателей. В том или ином виде моторы присутствуют практически в любом электронном устройстве, как носимом, так и стационарном. Существует великое множество типов и разновидностей двигателей, использующих различные источники энергии и принципы ее преобразования для совершения механической работы.

Последнее время распространение получили пьезоэлектрические (ультразвуковые) двигатели, обеспечивающие движение за счет преобразования электрической энергии в механическую пьезоэлектрическими актуаторами. В таких системах подвижное тело (ротор или ползун) протягивается через статор толкателями. Перемещение осуществляется дискретными шагами. Зацепление происходит за счет сухого трения между опорными поверхностями толкателей и подвижного тела. Подобные двигатели применяются в случаях, когда важна значительная скорость при высокой точности позиционирования, малая шумность при работе, а также когда в отсутствие управляющего воздействия на двигатель предполагается возможность свободного перемещения подвижного тела относительно статора. Яркий пример применения ультразвуковых моторов – в качестве приводов автофокуса в лучших современных объективах фото- и киноаппаратуры.

Также применение нашли ультразвуковые насосы. Их можно назвать двигателями, подвижным (рабочим) телом которых является жидкая или газообразная среда, прокачиваемая через узкий зазор. Применяются два принципа перемещения вещества: непосредственная прокачка путем создания в зазоре перемещающихся в пространстве замкнутых камер с веществом или движение его вместе с бегущей волной давления, возбуждаемой в зазоре. Наиболее распространенный в быту пример применения таких насосов – в соплах печатающих головок струйных принтеров.

Применение этих схем ограничено возможностями преобразователей. Пьезокерамика как материал весьма хрупка и не всегда долговечна, а актуаторы на ее основе, хоть и обеспечивают отличное быстродействие, не могут развивать высокую мощность. Стоит

отметить и технологический аспект: любой такой преобразователь принципиально представляет собой сборочную единицу из элементов, изготовленных из различных материалов. Это удорожает и усложняет массовое производство, внося при том массу возможностей для брака и поломок. Объединение подобных актуаторов в большие массивы для пропорционального увеличения извлекаемой мощности не целесообразно по экономическим причинам.

Недавнее изобретение, описанное в статье «New type of microengine using internal combustion of hydrogen and oxygen» в журнале «Scientific Reports», позволяет пересмотреть конструктивную схему и области применения существующих двигателей и насосов, описанных выше. Авторы статьи разработали, изготовили и успешно испытали рабочий прототип микродвигателя, работающего за счет внутреннего сгорания продуктов электролиза.

Мы же в данной статье предлагаем способ применения подобных микродвигателей для создания двигательной установки, способной придать подвижному объекту всевозможные по направлению угловые скорости и обеспечить поступательное его движение.

## 1. Описание микродвигателя

Микродвигатель представляет собой полость, вытравленную в кристалле кремния и герметично закрытую листом стекла. Одна из стенок камеры представляет собой гибкую тонкую мембрану. По такому же принципу построены микромеханические барометры. Объем камеры заполняется электролитом (водным раствором сульфата натрия) через специально оставленные каналы. После заполнения каналы запечатываются. Также внутри камеры расположены два иницилирующих электрода.

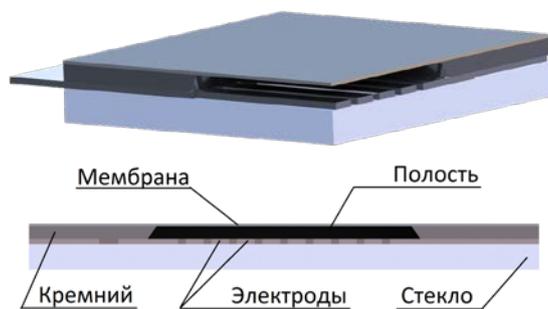


Рисунок 1 – Микродвигатель в разрезе

При подаче управляющего напряжения на двух электродах начинают появляться пузырьки двух различных газов – кислорода и водорода соответственно. Если прикладывать переменное напряжение высокой частоты, то из-за непрерывного изменения направления электрического тока таких пузырьков, образуется весьма много, причем размеры их исчисляются в нанометрах. При этом несложно догадаться, что вблизи каждого электрода будут находиться пузырьки обоих газов в больших количествах. После снятия напряжения объем камеры резко сокращается, предположительно из-за сгорания образующейся при объединении пузырьков смеси газов. В результате эксперимента авторов изобретения быстрое действие его составило около 600 мкс на один рабочий цикл.

Более подробно с конструкцией микродвигателя, методикой и результатами экспериментов можно ознакомиться в указанной статье, электронная версия которой опубликована по адресу: [www.nature.com/srep/2014/140306/srep04296/full/srep04296.html](http://www.nature.com/srep/2014/140306/srep04296/full/srep04296.html)

## 2. Объединение микродвигателей в массив

Технология, с помощью которой возможно изготовление подобных микродвигателей, хорошо развита и успешно применяется для массового производства многих видов

микромеханических приборов (MEMS) различной сложности. Особенности MEMS технологии (травление по маске на едином кристалле кремния) обеспечивают сравнительную легкость и дешевизну создания плоских конструкций, объединяющих в себе множество одинаковых участков. Таким образом, путем объединения микродвигателей в линейный массив можно создать устройство, подобное по принципу действия ультразвуковому насосу (второго типа из описанных выше). Тогда за счет значительного увеличения удельной мощности каждого актуатора можно добиться более высокой скорости потока вещества (для определенности будем считать его жидкостью) в сравнении с пьезонасосами, что позволит обратить сам способ применения насоса – использовать его в качестве водоструйного двигателя.



Рисунок 2 – Модель линейного массива микродвигателей

Расположим линейный массив микродвигателей напротив твердой стенки (или два массива друг напротив друга) с малым зазором между ними. Путем подачи импульсов питающего напряжения последовательно на наборы актуаторов можно создать в жидкости, заполняющей объем зазора, бегущую волну давления, которая будет увлекать за собой эту жидкость.

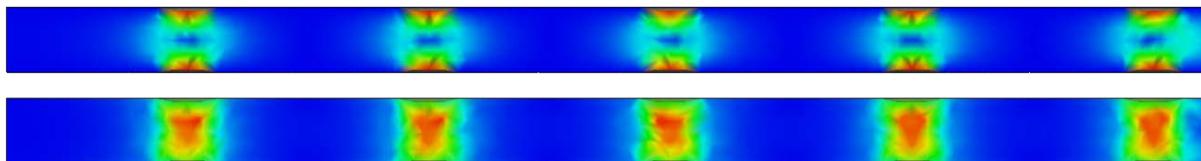


Рисунок 3 – Результаты моделирования распространения импульсов давления в жидкости в программном пакете SolidWorks Flow Simulations

Изменением последовательности включения микродвигателей можно изменять направление прокачки вещества, а значит и направление вектора тяги. Путем изменения временных характеристик (или амплитуды) управляющих импульсов можно регулировать скорость потока рабочего тела, а вместе с ней и силу тяги.

### 3. Организация пространственного массива микродвигателей

Итак, одиночный линейный массив микродвигателей позволяет управлять знаком и величиной вектора тяги. Значит, разместив на корпусе подвижного объекта хотя бы три таких массива и подавая на них различные последовательности импульсов, регулируя таким образом тягу каждого из них, мы сможем сообщать объекту любые по направлению моменты сил относительно его центра масс для осуществления пространственного поворота.

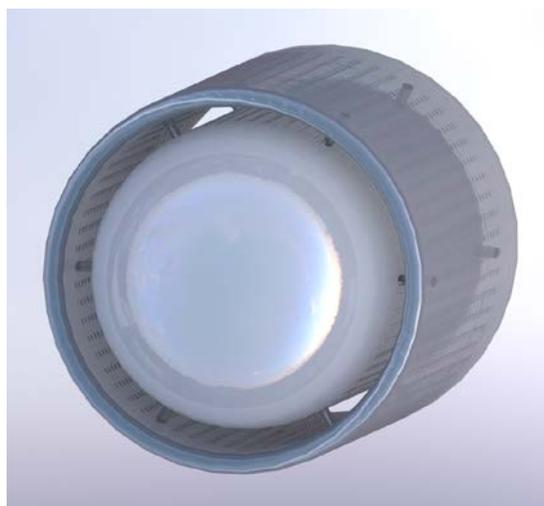


Рисунок 4 – модель возможного варианта исполнения кольцевого массива микродвигателей на подвижном объекте

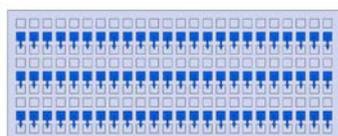


Рисунок 5

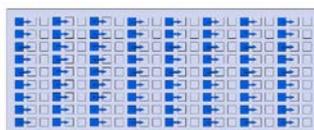


Рисунок 6

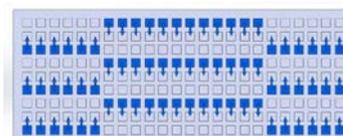


Рисунок 7

Изображенные на развертке цилиндра варианты последовательностей активации микродвигателей для создания бегущих волн, приводящих к линейному перемещению объекта, вращению его вдоль продольной оси и вращению вдоль одной из поперечных осей соответственно реверса

Предельным же случаем будет создание некоего «кольцевого массива массивов», иначе говоря – цилиндрического массива микродвигателей.

Как мы можем видеть, такое расположение микродвигателей позволяет осуществлять вращение во всех направлениях, а также линейное перемещение вдоль оси цилиндра с возможностью

Путем программного комбинирования последовательностей подачи напряжения на актуаторы (микродвигатели), которые указаны на рисунках 5-7, можно динамически составлять в вычислительном устройстве управляющей системы объекта «узоры» включений элементов массива, позволяющие этому объекту в любой момент времени двигаться с необходимой линейной и угловой скоростью, опираясь на сигналы обратной связи с датчиков ориентации и навигационной системы.

## Заключение

Предложенный вариант организации элементарных микродвигателей позволит создать двигательную установку, дающую возможность подвижному объекту передвигаться линейно и осуществлять при этом пространственный поворот любой сложности. В отличие от существующих, такая двигательная установка будет полностью герметичной, малозумной, в ней будут отсутствовать вращающиеся и вообще как бы то ни было заметно движущиеся части. Движение будет осуществляться без выбросов рабочего вещества или отходов, только за счет электрической энергии. Выход из строя отдельного микродвигателя или даже линейного их массива не сыграет заметной роли в движении, так как закон управления активацией микродвигателей будет динамически формироваться на основании датчиков обратной связи. Быстродействие двигательной установки ограничивается лишь инертностью прокачиваемого рабочего тела (жидкости), так как в установке отсутствуют массивные элементы двигателя, такие как ротор или гребные винты. Даже одновременная

разгерметизация всех микродвигателей не повлечет сколько-нибудь заметных экологических последствий, так как камеры актуаторов малы и заполнены раствором соли натрия.

Особый интерес установка представляет для легких объектов с малыми скоростями передвижения, но с высокими требованиями к стабильности углового положения, таких как автономные и управляемые подводные аппараты фоторазведки.

Как мы можем видеть, такое расположение микродвигателей позволяет осуществлять вращение во всех направлениях, а также линейное перемещение вдоль оси цилиндра с возможностью реверса. Путем программного комбинирования последовательностей подачи напряжения на актуаторы (микродвигатели), которые указаны на рисунках 7-9, можно динамически составлять в вычислительном устройстве управляющей системы объекта «узоры» включений элементов массива, позволяющие этому объекту в любой момент времени двигаться с необходимой линейной и угловой скоростью, опираясь на сигналы обратной связи с датчиков ориентации и навигационной системы.

### **Литература**

1. Yoseph Bar-Cohen и Zensheu Chatig, «Piezoelectrically Actuated Miniature Peristaltic Pump», Jet Propulsion Laboratory (JPL)/Caltech, 2014 год
2. Vitaly B. Svetovoy, Remco G. P. Sanders, Kechun Ma и Miko C. Elwenspoek, «New type of microengine using internal combustion of hydrogen and oxygen», журнал Scientific Reports, 6 марта 2014 года.
3. Hollerbach I., W Hunter and J Ballantyne, "A Comparative Analysis of Actuator Technologies for Robotics", второе издание, издательство MIT Press, под редакцией Khatib, Craig и Lozano-Perez, 1991 год

# ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВЫХ ПЛАСТИН ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТОДОМ ИОННОГО ПЛАНАРНОГО УТОНЕНИЯ

Пустовалов В. А.

Научно-производственная фирма ЗАО "ЭТНА"

## THE MICROSTRUCTURE OF THE QUARTZ PLATE WHEN FABRICATED BY ION PLANARITY THINNING

Pustovalov A. Valentin

Scientific and Production Company CJSC "Etna"

### Аннотация

Работа посвящена исследованию влияния ионно-химического травления на поверхность кварцевой пластины при различных токах разряда источника и различных давлениях рабочего газа в рабочей камере. Методика исследования заключается в том что, пластины кварца закрепленные на мишени, травятся с использованием фторсодержащего газа  $CF_4$  в течении трех часов при различных давлениях рабочего газа с различными токами разряда при постоянных напряжениях. После травления проведен анализ толщин пластин, методом измерения резонансной частоты. Исследование поверхности пластины осуществлялось при помощи сканирующего зондового микроскопа SmartSPM-1000, представляющего собой современный многофункциональный измерительный комплекс, предназначенный для проведения исследований поверхности различных объектов с нанометровым пространственным разрешением, полуконтактным методом. Для измерений использовались кантилеверы NSG20 с жесткостью 48Nm и радиусам закругления игл 10nm. Проведенный анализ показал, что разброс скорости травления по всей поверхности мишени составляет не более 0,5%. А наилучшие наноморфологические характеристики поверхности монокристаллов кварца достигаются при кратковременных процессах (не более 5-10 min) при различных разрядных токах не более 90mA и при постоянном напряжении равном 2.4 кВ. Что позволяет получать поверхности с разбросом высот около 1 nm.

### Abstract

The work is devoted to the study of the influence of ion-etching the surface of the quartz plate at different discharge current source and various pressures of the working gas in the working chamber. Methodology of the study is that the quartz plate attached to the target, the grass using a fluorine-containing gas  $CF_4$  for three hours at different pressures of the working gas with different discharge currents at constant voltages. After etching the plate thickness analysis, by measuring the resonant frequency. Study of the surface of the plate was carried out with a scanning probe microscope SmartSPM-1000 is a modern multifunctional measuring complex for research surface of various objects with nanometer spatial resolution, semi-contact method. For measurements used NSG20 cantilevers with stiffness 48Nm and radius of curvature of needles 10nm. The analysis showed that the difference of etching rate over the entire surface of the target is not more than 0.5%. And the best nanomorphologicheskies surface characteristics of single crystals of quartz are achieved with short-term processes (no more than 5-10 min) at different discharge currents less than 90mA, and at a constant voltage equal to 2.4 kV. Which allows to obtain a surface with a range of heights of about 1 nm.

### Введение

Актуальной задачей современного полупроводникового материаловедения является получение атомно-чистых поверхностей кристаллов [1]. Для получения атомно-чистых поверхностей кристаллов применяют ионно-плазменные процессы [2]. В основе ионно-плазменных процессов лежит использование частиц газовой плазмы в качестве инструмента воздействия на материалы в вакууме с целью изменения состояния и свойств их поверхности. Материал может удаляться по всей площади поверхности для ее очистки или локально через маску для создания топологии ИС, либо удаляться для переноса его на другие поверхности (подложки) для формирования на них пленочных покрытий. В другом случае плазма является источником частиц, из которых формируется пленочное покрытие. Газы используемыми при реализации ионно-плазменных процессов являются инертные газы - аргон и ксенон, кислород, водород, азот, различного вида хладоны (фреоны) и углеводороды

Основные электрофизические параметры добротность, динамическое сопротивление, стабильность частоты пьезоэлектрических резонаторов и фильтров на основе кварца зависят

от структурного совершенства материала и качества обработки. Микроструктурные исследования позволяют выявить закономерности образования структуры в процессе обработки кристалла, влияния дефектов на электрические, механические и другие свойства материала.

Для оценки качества поверхности кристаллов наиболее часто применяют оптические, туннельно-зондовые и сканирующие зондовые исследования микроструктуры, позволяющие визуализировать и идентифицировать дефекты на кристаллической структуре [3,4].

Целью работы являлось исследование влияния воздействия источников ионов с холодным катодом с замкнутым дрейфом электронов с протяженной и короткой зоной ускорения при использовании химически активных газов на наноморфологические характеристики поверхности монокристаллов кварца. При различных давлениях рабочего газа и различных разрядных токах при постоянном напряжении равном 2.4 кВ

В рамках исследования было проведено изучение неравномерности травления на мишени с планетарным вращением, рассчитаны скорости травления пластин, приведены рекомендуемые режимы для ионно-химической обработки кварца.

Практическая ценность работы состоит в том полученные результаты возможно использовать в последующей наладке и настройке оборудования ионно-химического травления. А так же получены наилучшие параметры работы ионно-оптической системы.

### **1 Методики и результаты экспериментов**

Эксперименты проводились на базе и оборудовании научно-производственной фирмы ЗАО "ЭТНА". В вакуумной установке установлены два параллельных источника ионов с холодным катодом с замкнутым дрейфом электронов с протяженной и короткой зоной ускорения описанные в работе [5]. В качестве рабочего газа использовался хладон 14.

Рабочий диапазон давлений в камере во время экспериментов варьировался от  $3 \cdot 10^{-4}$  торр до  $9 \cdot 10^{-4}$  торр. Разрядные токи варьировались от 41 мА внутреннего источника и 52 мА наружного источника с шагом 20% до 95 мА и 121,5 мА соответственно. Напряжение разряда во время всего эксперимента оставалось неизменно и соответствовало 2,4 кВ для каждого источника.

В эксперименте для фиксирования скоростей и выявления равномерности травления использовались пластины монокристаллического кварца толщиной 66,68 мкм и диаметром 5 мм, расположенные на планетарно вращающейся мишени. Для проведения испытаний были загружены мишени в рабочую камеру с равномерно распределенными на 3-х различных радиусах пластинами кварца.

Наноморфология поверхностей пластин изучалась на оборудовании Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э.Баумана с помощью сканирующего зондового микроскопа SmartSPM-1000. Для измерений использовались кантилеверы NSG20 с треугольной балкой, жесткостью 48Nm и радиусам закругления игл 10nm. Обработка полученных измерений проводилась с помощью программного пакета AIST-NT 3.3.96

Для определения толщины стравленной поверхности замерялась резонансная частота кварцевой пластины при помощи измерительного комплекса частот кристаллических элементов (рис. 1), разработанного и изготовленного в научно-производственной фирме ЗАО "ЭТНА".

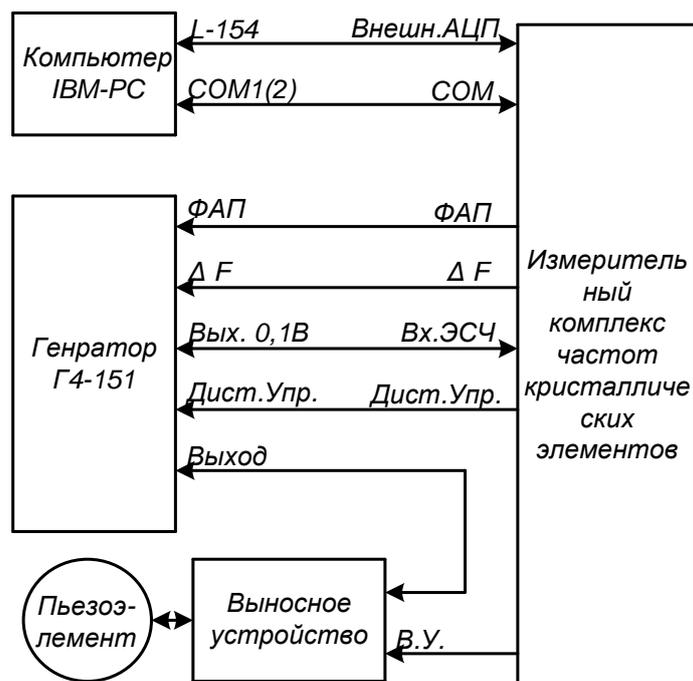


Рисунок 1 – Состав измерительного комплекса частот кристаллических элементов

Резонансная частота колебаний пьезоэлектриков зависит от толщины пластины и от свойств материала [6]. Толщина кварца рассчитывалась по формуле:

$$D=K/F$$

К - коэффициент 1667,

F - Резонансная частота.

С целью исключения погрешности измерения, исследование поверхности проводилось в 3-х различных точках на каждой пластине (рис. 2). Пластина для ее ориентации и уменьшения размеров конечного продукта имеет срез - "лыску" [7]. Позиционирование кантилевера производилось на меза-структуре относительно этому срезу. Положения кантилевера: сверху, в центре, снизу.

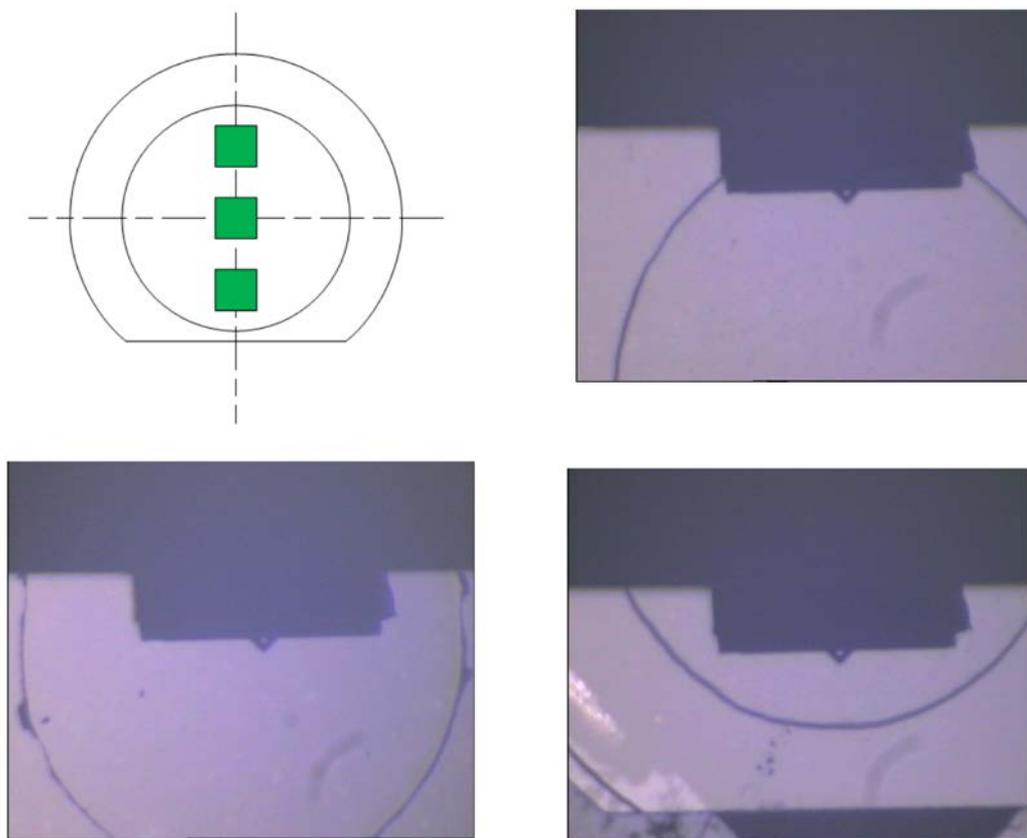


Рисунок 2 – Области пластин 100\*100 мкм изученные с помощью сканирующего зондового микроскопа

На рисунке 3 приведены изображения поверхности пластин монокристаллического кварца, полученные с помощью сканирующего зондового микроскопа SmartSPM-1000, до ионно-химического травления.

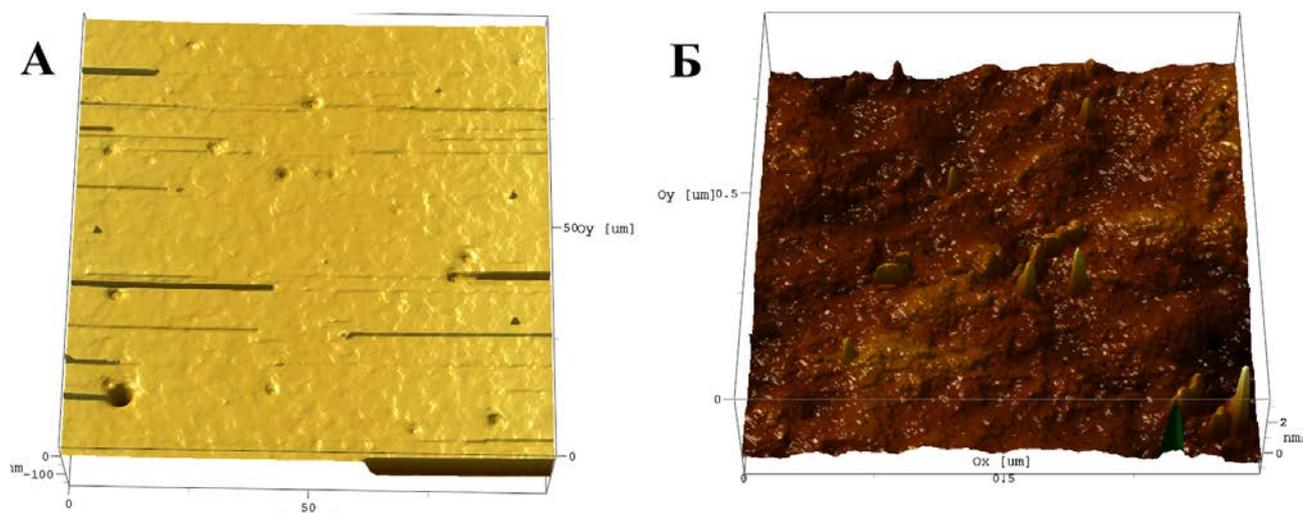


Рисунок 3 – Поверхность исходной пластины кварца.  
А - Поле сканирования 100\*100 мкм. Б - Поле сканирования 1\*1 мкм.

На рисунке 4 приведены изображения поверхности пластин монокристаллического кварца, полученные с помощью сканирующего зондового микроскопа SmartSPM-1000, после ионно-химического травления в среде  $CF_4$  в течение 3 часов при напряжении разряда 2,4 кВ и токе на мишени 45 мА.

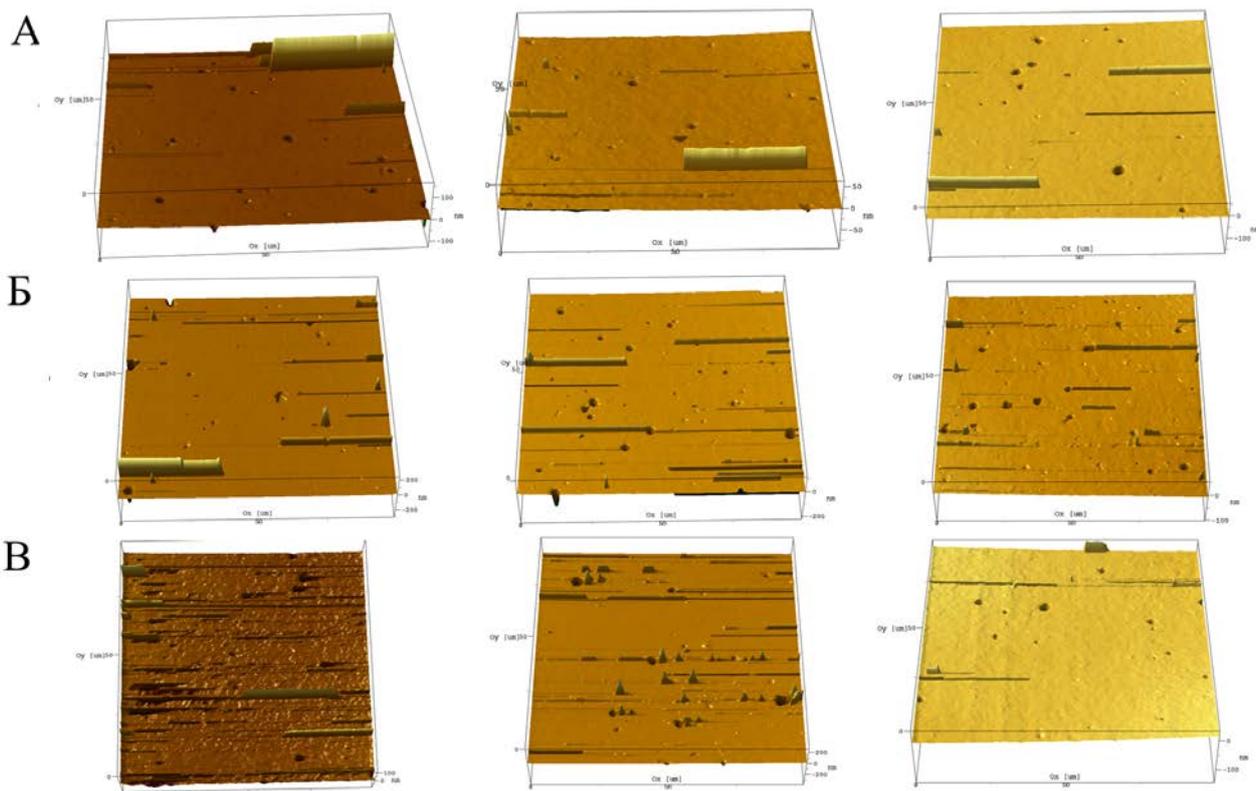


Рисунок 4 – Поверхности кварца при токе на мишени 45 мА.

А - Три замера пластины расположенной в центре. Б - Три замера пластины расположенной на внутреннем радиусе. В - Три замера пластины расположенной на наружном радиусе

На рисунке 5 приведены изображения поверхности пластин монокристаллического кварца, после ионно-химического травления в среде  $CF_4$  в течение 3 часов при напряжении разряда 2,4 кВ и токе на мишени 62 мА

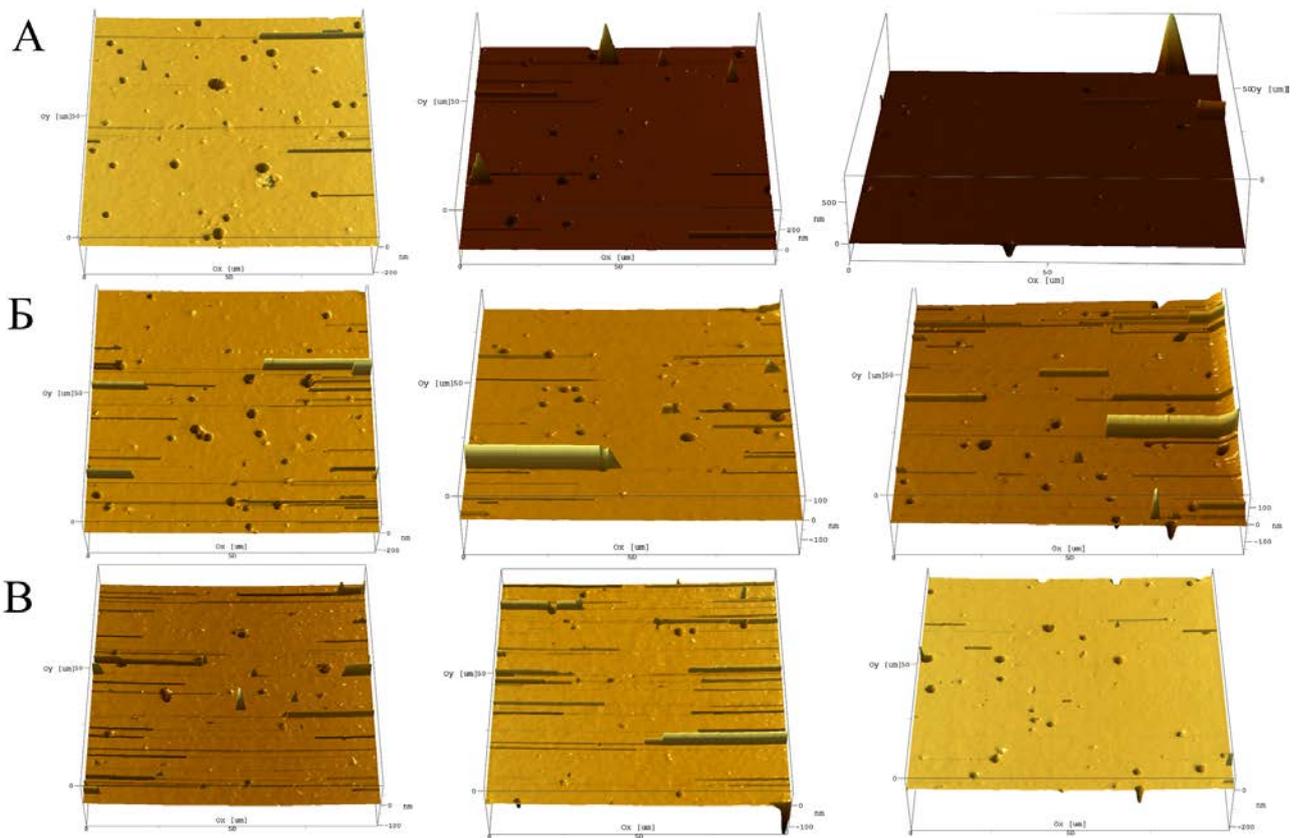


Рисунок 5 – Поверхности кварца при токе на мишени 62 мА.

А - Три замера пластины расположенной в центре. Б - Три замера пластины расположенной на внутреннем радиусе. В - Три замера пластины расположенной на наружном радиусе

На рисунке 6 приведены изображения поверхности пластин монокристаллического кварца после ионно-химического травления в среде  $CF_4$  в течение 3 часов при напряжении разряда 2,4 кВ и токе на мишени 90 мА. Измерению подверглись только пластины расположенные на внутреннем и наружном радиусе, так как, центральна пластина была разбита в следствии не аккуратного обращению с ней.

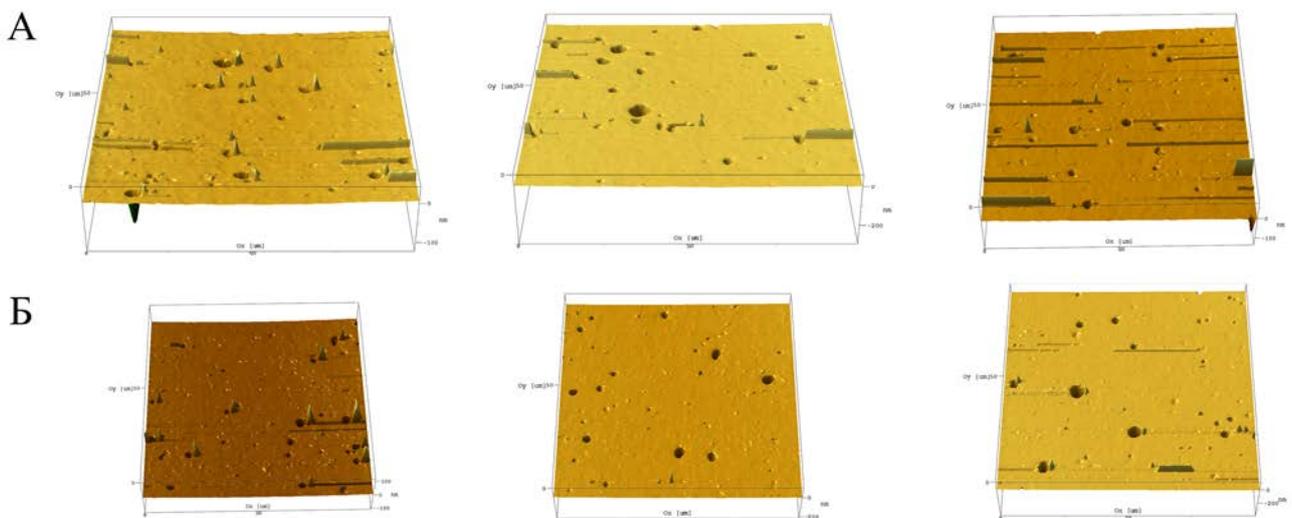


Рисунок 6 – Поверхности кварца при токе на мишени 90 мА.

А - Три замера пластины расположенной на внутреннем радиусе. Б - Три замера пластины расположенной на наружном радиусе

На рисунке 7 приведены изображения поверхности пластин монокристаллического кварца после ионно-химического травления в среде  $CF_4$  в течение 3 часов при напряжении разряда 2,4 кВ и токе на мишени 108 мА.

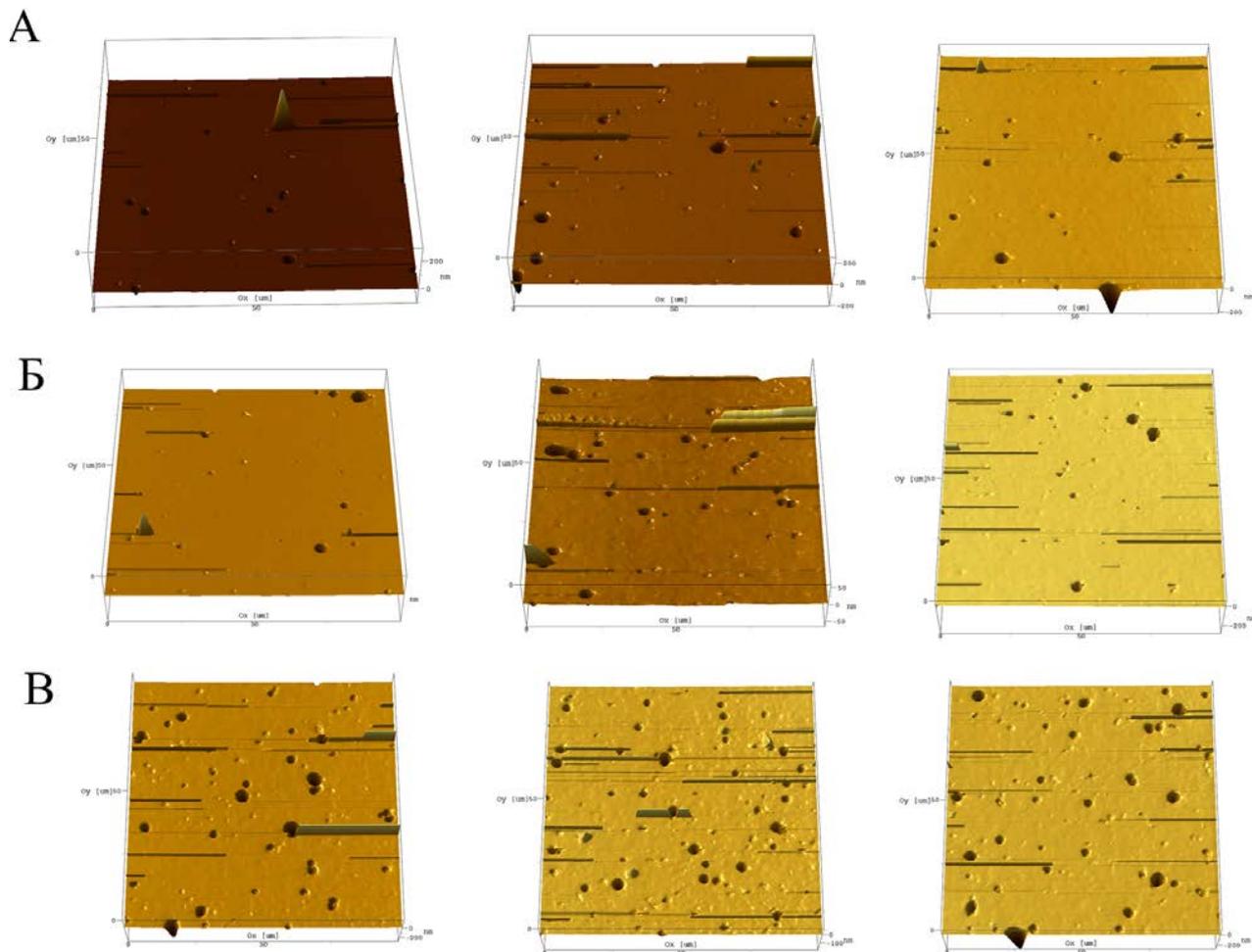


Рисунок 7 – Поверхности кварца при токе на мишени 108 мА.

А - Три замера пластины расположенной в центре. Б - Три замера пластины расположенной на внутреннем радиусе. В - Три замера пластины расположенной на наружном радиусе.

На рисунке 8 приведены изображения поверхности пластин монокристаллического кварца после ионно-химического травления в среде  $CF_4$  в течение 3 часов при напряжении разряда 2,4 кВ и токе на мишени 117 мА.

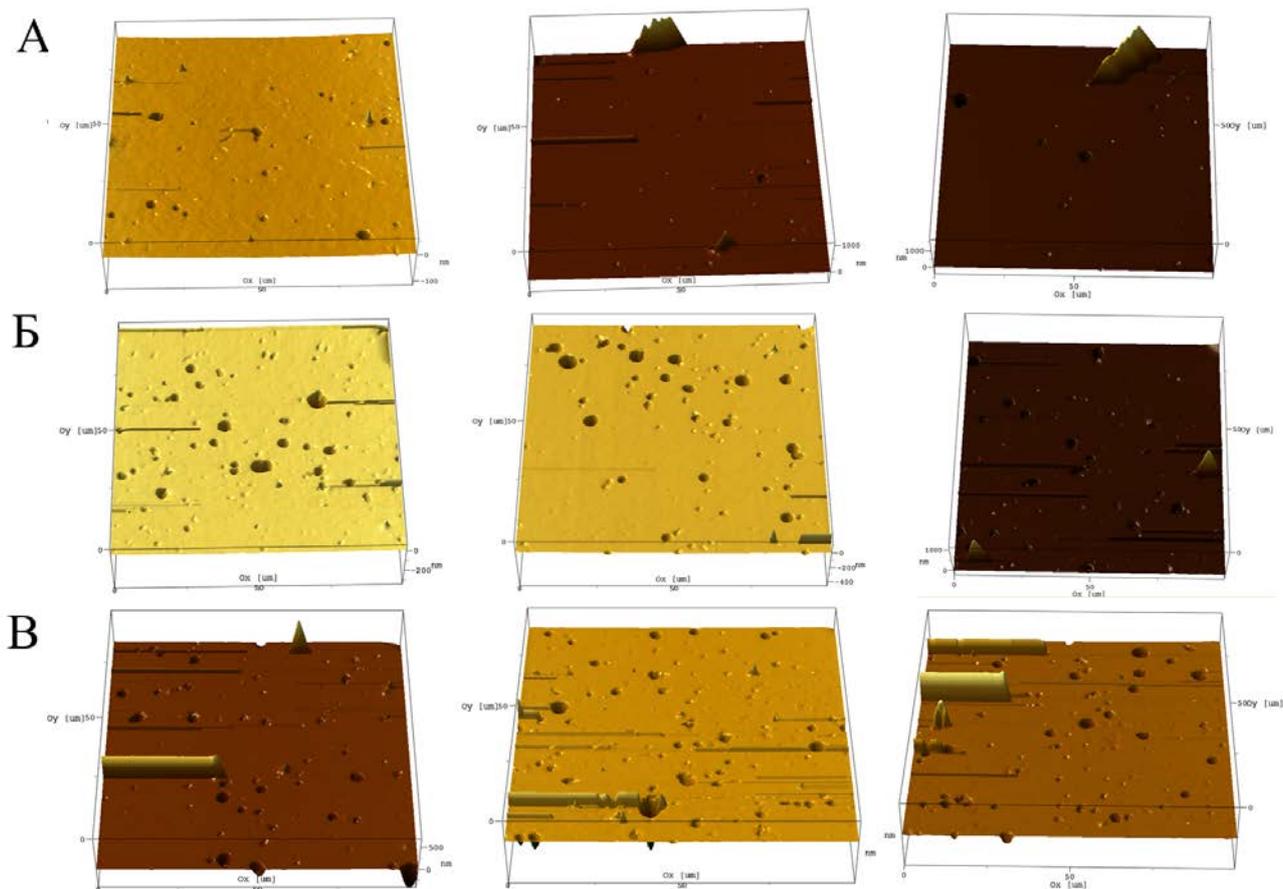


Рисунок 8 – Поверхности кварца при токе на мишени 117 мА.

А - Три замера пластины расположенной в центре. Б - Три замера пластины расположенной на внутреннем радиусе. В - Три замера пластины расположенной на наружном радиусе.

Для изучения наноморфологии поверхности проведены серии исследований пластин которые приведены на рисунке 9. Поле сканирование составляло 10\*10 мкм и 1\*1 мкм.

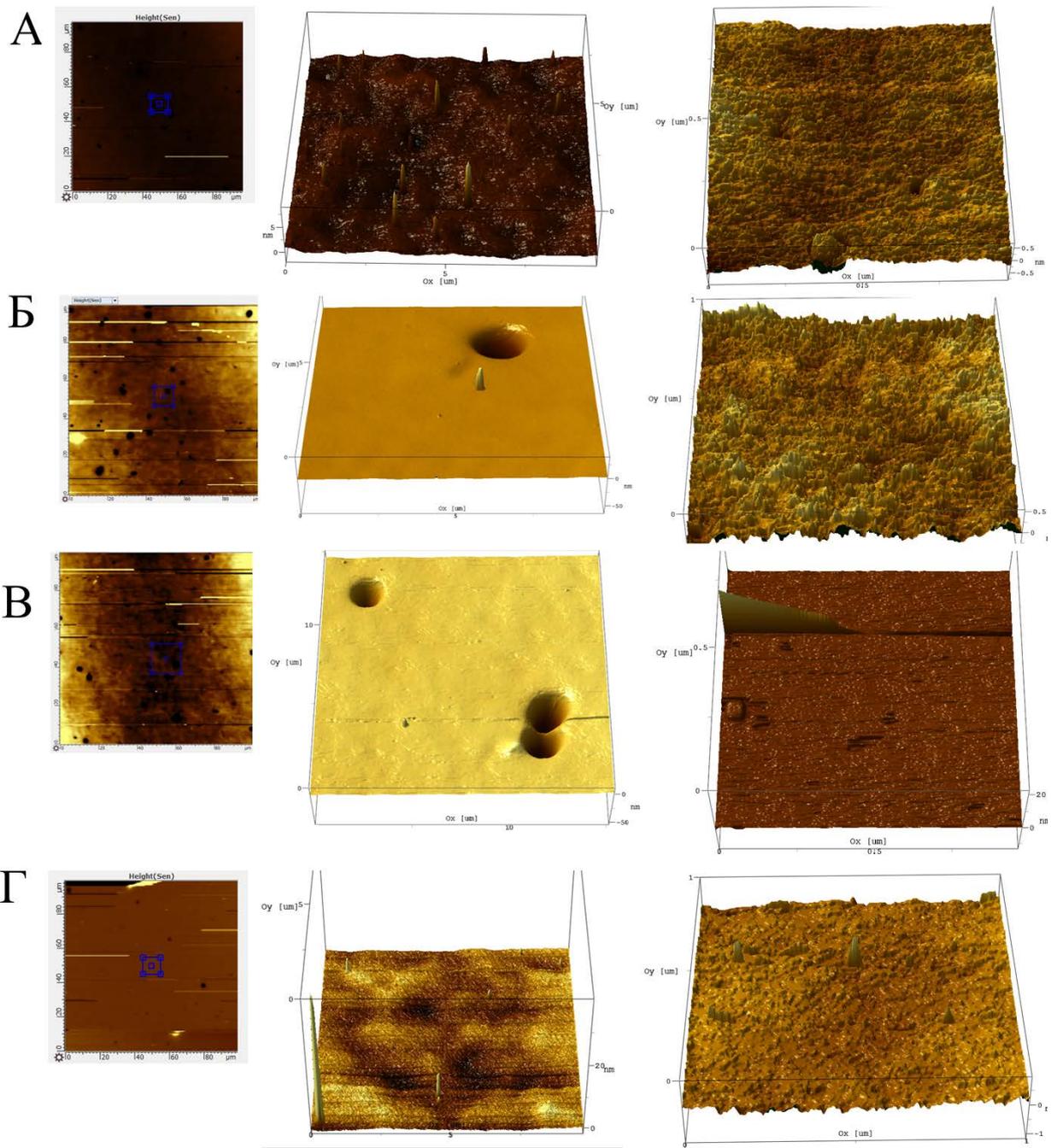


Рисунок 9 – Поверхность кварца. Поле сканирования 10\*10 мкм и 1\*1 мкм.

А - Поверхности кварца при токе на мишени 45 мА. Б - Поверхности кварца при токе на мишени 62 мА. В - Поверхности кварца при токе на мишени 108 мА. Г - Поверхности кварца при токе на мишени 117 мА.

Поля сканирования составляли максимум 100\*100 мкм при перепаде высот рельефа не более 1 мкм. Чувствительность зонда и точность сканера давали возможность получения изображений поверхности с латеральным разрешением до 10 нм и вертикальным - до 5 нм.

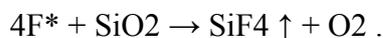
Изучение поверхности кварцевых пластин проводили в двух режимах: топографии и амплитудного контраста.

В следствии загрязненной рабочей атмосферы в помещении где установлен микроскоп, при микроскопии наблюдались "полосы" и резкие "пикообразные" выступы, обусловленные попаданием частиц пыли из атмосферного воздуха на образец и последующем перемещением частиц кантилевером.

## 2 Анализ результатов

Процесс ионно-химического травления с использованием химически активных газов при травлении кварца, осуществляется в результате протекания гетерогенных химических реакций на поверхности обрабатываемого материала при поступлении на нее из плазмы ионов, радикалов и нейтральных атомов рабочего газа. [2]. Единым результатом протекания гетерогенных химических реакций между поверхностными атомами и структурными частицами плазмы являются ослабление связей поверхностных атомов с подложкой и их удаление в результате образования летучих, продуктов реакций или активированной десорбции под воздействием электронно-ионной бомбардировки [2].

Ионная составляющая растёт с ростом давления, так как с его ростом при фиксированном напряжении увеличивается плотность ионного тока на поверхности обработки. Реактивная составляющая присутствует за счёт того, что газ  $\text{CF}_4$  в плазме разлагается с образованием радикалов фтора  $\text{F}^*$ , вступающим в реакцию с кварцем с образованием четырёхфтористого кремния  $\text{SiF}_4$ , который при температуре выше 359 К летуч:



Увеличение энергии и плотности химически активных частиц на подложку, а также уменьшение ее температуры должны приводить к общему увеличению скорости травления поверхности и относительному снижению скорости бокового растрова [2].

С увеличением длительности процесса обработки за счет продольного и бокового растратов стенок между отдельными углублениями плотности выступов уменьшаются, а так же уменьшаются их высоты (рис. 9).

Исследования полированной поверхности с помощью зондовой микроскопии показали, что в исходном состоянии до травления на поверхностях образцов наблюдались стохастически расположенные отдельные дефекты, ямки произвольной формы, выступы (рис. 3). Микрорельеф поверхности кварца после ионно-химической обработке улучшается при токах на мишени до 62 мА (рис 4,5). Свыше этого значения поверхность пластин начинает стремительно ухудшаться и образуются ямки (рис 6,7,8). Обусловлено это тем что при повышении энергии ионов выше 100 eV наряду с гетерогенными химическими реакциями на поверхности увеличивается интенсивность процесса физического распыления и достигает одного - четырех выбитых атомов на десять падающих ионов. При  $E_i > 100$  eV ионы начинают внедряться в решетку материала мишени. В результате этого кроме активации за счет образования на поверхности возбужденных атомов с оборванными связями возникают различные точечные дефекты кристаллической решетки, включая атомы внедрения, которые повышают ее свободную энергию и инициируют протекание различных, процессов физической и химической адсорбции, а также диффузии химически активных частиц в ближайшем приповерхностном слое. Это приводит к его газификации, т.е. насыщению химически активных частиц плазмы, и переносу химических реакций в приповерхностный объем материала. В результате этого при продолжительном плазменном воздействии в приповерхностном слое возникают ямки травления, количество и размер которых с увеличением длительности процесса увеличивается, расстояние между ними уменьшается и поверхность становится шероховатой [11].

Так же исследование показало, что за счет конструктивного исполнения мишеней и способа их крепления наружные ряды пластин, которые закреплены на мишени, подвержены образованию большего количества дефектов, чем внутренний ряд или центр. Что обусловлено ухудшением охлаждения подвисяющих частей мишени и соответственно увеличению газификации приповерхностного слоя образцов.

## Заключение

Скорость ионно-химической обработки кварца линейно растет с увеличением плотности ионного тока.

Концентрация радикалов пропорциональна рабочему давлению и ускоряющему току, определяющему эффективность ионизации. Важным моментом при ионно-химической обработке пьезоэлектриков является вопрос сохранения качества исходной полированной поверхности.

При ионно-химической обработке основной вклад в эффективность процесса вносят поверхностные явления в отличие от ионного распыления, которое является процессом объемным, и интенсивность которого, в основном, зависит от структуры поверхностного слоя

Параметры распределения, которые характеризуют энергетическое состояние поверхности, зависят от режима обработки и используемых рабочих газовых сред.

Наилучшие результаты по однородности высот микровыступов и глубин ямок травления достигаются при кратковременной (2— 5 min) обработке в фреоне 14 с токами разряда не более 90 мА. В этом случае разброс высот составляет около 0,2 нм. С увеличением длительности обработки и увеличения разрядных токов высоты выступов уменьшаются при этом интервалы разброса высот выступов увеличиваются. В тоже время увеличение длительности и скорости травления приводит к увеличению численности и размеров ямок травления.

Существенно влияет на качество поверхности кварца температура во время его обработки. Для снижения количества дефектов поверхность всей пластины должна находиться в непосредственном контакте с охлаждающей средой во время всего процесса обработки.

## Литература

1. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний — материал нанoeлектроники. М.: Техносфера, 2007. 352 с.
2. Шаныгин В.Я., Яфаров Р.К. Наноморфологические характеристики поверхности кристаллов кремния (100) при СВЧ-плазменной обработке в условиях слабой адсорбции. // Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 4
3. Власов А.И., Елсуков К.А., Панфилов Ю.В. Методы микроскопии: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 280 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.1).
4. Власов А.И., Елсуков К.А., Косолапов И.А. Оптическая микроскопия: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 184 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.12).
5. Пустовалов В.А. Исследование парной работы двух параллельных пучков плазмы Молодежный научно-технический вестник # 11, ноябрь 2013
6. Алексеев Н.Г., Прохоров В.А., Чмутков К.В. Современные электронные приборы и схемы в физико-химическом исследовании М.: Госхимиздат, 1961. - 552 с. 165 стр.
7. <http://www.etna.ru/kristal/Rblanks.asp>
8. Варламов П.И., Елсуков К.А., Макарчук В.В. Технологические процессы в наноинженерии : Учебное пособие - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. (Библиотека Наноинженерия»: в 17 кн. Кн.2). - 176 с.:ил.
9. Черезова Л.А. Ионно-лучевые методы в оптической технологии: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. - 151 с.
10. Киреев В. Ю., Данилин Б. С, Кузнецов В. И. Плазмохимическое и ион-но-химическое травление микроструктур. —М.: Радио и связь, 1983.
11. Яфаров Р.К. Физика СВЧ-вакуумно-плазменных нанотех- нологий. М.: Физматлит, 2009. 216 с.

## АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОЦЕССОРНОГО БЛОКА В МАГНИТОМЕТРЕ МХ-10

**Рогова В.С.**

*Научный руководитель: заведующий сектором, к.т.н. Кудрявцев Д.А.*

ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

## OPERATION ALGORITHM OF PROCESSOR MODULE IN MAGNETOMETER MX-10

**Rogova V.S.**

*Supervisor: head of sector, Ph.D. Kudryavcev D.A.*

RII MSIA «SPECTRUM», Moscow, Russia

### **Аннотация**

В статье рассматривается принцип работы процессорного блока в магнитометре МХ-10. Подробно описан алгоритм работы микроконтроллера при проведении измерений величины индукции магнитного поля. Кратко представлены характеристики магнитометра МХ-10 и показаны его преимущества по сравнению с другими устройствами измерения и контроля величины индукции магнитного поля.

### **Abstract**

The article discusses the principle of operation of the processing module in magnetometer MX-10. Described in detail the algorithm of the microcontroller when measuring the magnetic field induction. Summarizes the characteristics of the magnetometer MX-10, and shows its advantages in comparison with other measuring devices and control the magnetic field induction.

Магнитный метод неразрушающего контроля получил широкое распространение среди специалистов в области дефектоскопии металлических конструкций. Это не случайно, так как подавляющая часть металлических инженерных конструкций таких, как магистральные трубопроводы, резервуары, цистерны, корпуса судов, детали подъемных механизмов и др., выполнены из сталей, обладающих ферромагнитными свойствами. Детали этих конструкций могут намагничиваться при электродуговой сварке, при случайном контакте с постоянным магнитом или электромагнитом. В связи с возможными нежелательными последствиями применения таких деталей возникает необходимость проверки уровня их намагниченности, а при превышении допустимого порогового значения намагниченности детали размагничивают и проверяют качество их размагничивания [1, 2, 4].

Для контроля остаточной намагниченности используются магнитометры. Основным недостатком магнитометров, представленных на российском рынке, является узкий диапазон измерений, большая погрешность измерений и высокая стоимость.

В ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр» выпускается магнитометр МХ-10, предназначенный для измерения величины индукции постоянного магнитного поля. Диапазон измерения данного прибора 0.1-100мТл, погрешность измерений 0.05мТл+2% [3]. Внешний вид магнитометра приведен на рис. 1.

В приборе предусмотрена возможность выбора двух режимов работы: режим автоматического отключения прибора через 1 мин после измерения и режим постоянного измерения.



Рисунок 1 - Внешний вид магнитометра МХ-10

Высокая надежность, быстродействие, низкая погрешность измерений и широкий диапазон измерений достигается путем использования в приборе микроконтроллера ATmega64B3-AU на базе ядра AVR от компании Atmel.

Микроконтроллер производит следующие операции:

1. Вычисление значения магнитной индукции по формулам (1), (2);
2. Вывод на дисплей при отрицательном значении магнитной индукции минуса, а также двух точек в зависимости от текущего диапазона измерений. Дискретность отображения измеренной индукции при 0.1-20 мТл – 0.01 мТл, при 20-100 мТл – 0.1 мТл.
3. Вывод на дисплей предупреждения о низком заряде батареи;
4. Вывод на дисплей значения магнитной индукции в единицах АЦП в режиме настройки.

Микроконтроллер производит измерение в двух диапазонах: 0.1-20 мТл и 20-100 мТл.

Переход из первого диапазона во второй осуществляется при значении магнитной индукции равной 19 мТл, а из второго в первый — при 21 мТл, чтобы отсутствовало постоянное переключение из диапазона в диапазон на границе диапазонов.

При подаче напряжения размахом 0-3.3 В на сигнальный вход, микроконтроллер обрабатывает полученную с АЦП информацию по формулам (1), (2) и выводит на экран полученное значение с частотой 3Гц.

Для измерения величины индукции магнитного поля в магнитометре МХ-10 используется датчик Холла, имеющий линейную зависимость индукции магнитного поля от напряжения. Принцип работы микроконтроллера поясняет график, представленный на рис. 2.

Используя уравнение прямой через две заданные точки, выведем формулы для вычисления значения индукции магнитного поля.

Для первого диапазона (0.1 – 20 мТл) -  $\frac{y1' - y1}{y2 - y1} = \frac{x1' - x1}{x2 - x1}$ , откуда следует, что

$$y1' = \frac{(y2 - y1)(x1' - x1)}{x2 - x1} + y1, \text{ где} \quad (1)$$

$x1, x2$  – задаются при проведении настройки, ед. АЦП

$y1, y2$  – задаются при проведении настройки, мТл

$x1'$  – измеряемая величина, ед. АЦП

$y1'$  – выводимая величина, мТл

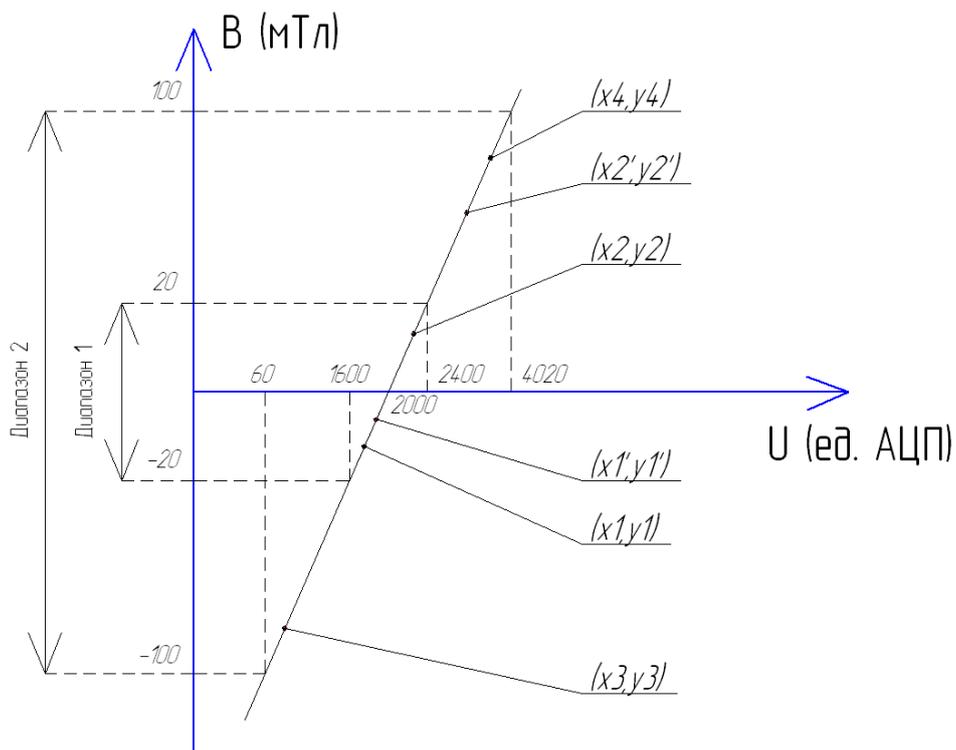


Рисунок 2 – График зависимости значения индукции магнитного поля от напряжения

Для второго диапазона (20 – 100 мТл) -  $\frac{y_2' - y_3}{y_4 - y_3} = \frac{x_2' - x_3}{x_4 - x_3}$ , откуда следует, что

$$y_2' = \frac{(y_4 - y_3)(x_2' - x_3)}{x_4 - x_3} + y_3, \text{ где} \quad (2)$$

$x_3, x_4$  – задаются при проведении настройки, ед. АЦП

$y_3, y_4$  – задаются при проведении настройки, мТл

$x_2'$  – измеряемая величина, ед. АЦП

$y_2'$  – выводимая величина, мТл

Алгоритм работы микроконтроллера представлен на рис.3.

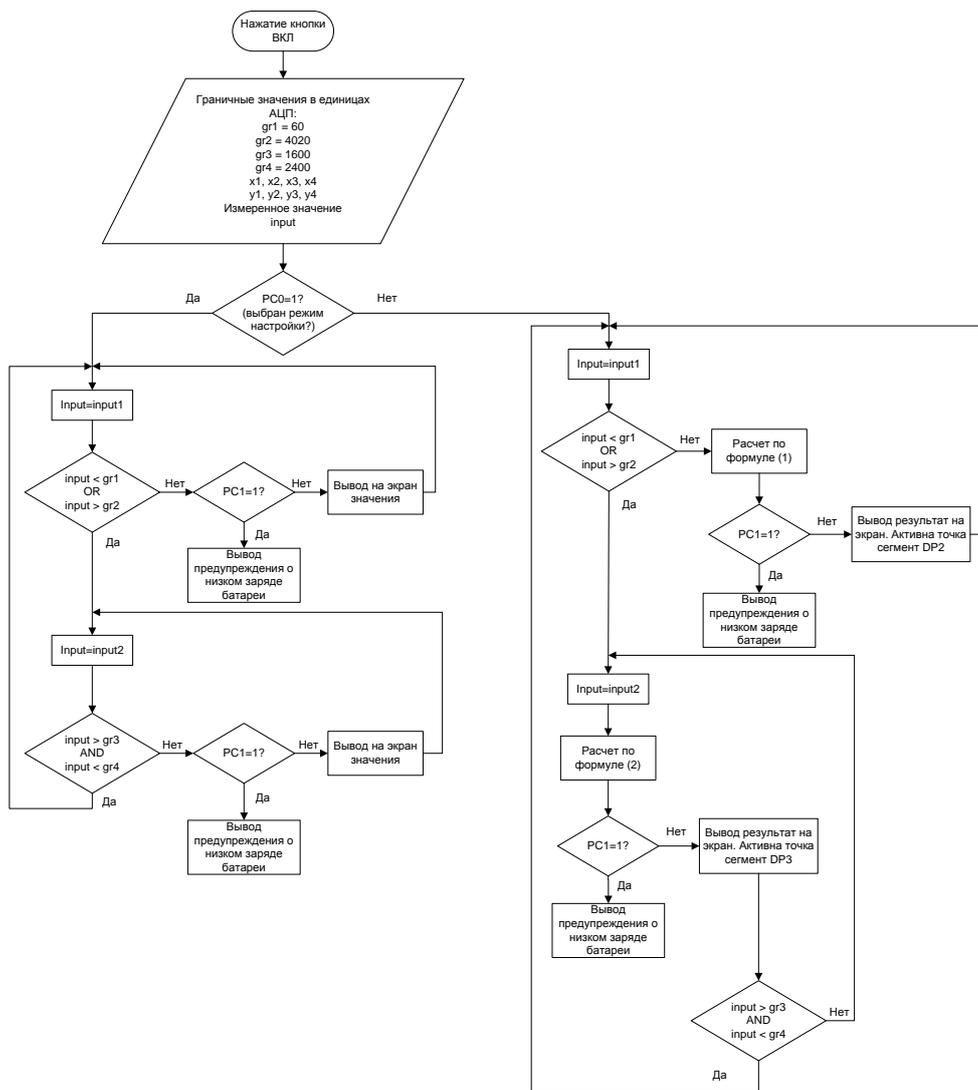


Рисунок 3 – Алгоритм работы микроконтроллера ATmega64B3-AU при измерении магнитного поля магнитометром MX-10

Использование описанного микроконтроллера в совокупности с разработанным алгоритмом позволили достичь высокого быстродействия, расширить диапазон измерений и снизить погрешность измерений, а также избежать постоянного переключения из диапазона в диапазон на границе диапазонов.

### Литература

1. Артемов В.А., Бакунов А.С., Кудрявцев Д.А. «Современные аспекты оборудования для магнитной структуроскопии» – Дефектоскопия, №3, 2011, с. 17-21.
2. Шубочкин А.Е., Ефимов А.Г. «Учет магнитных свойств зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений применительно к магнитно-вихретоковому контролю магистральных трубопроводов» - XIX Всероссийская научно-техническая конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике Тезисы докладов. 2011. С. 373-375.
3. Ефимов А.Г., Кудрявцев Д.А., Рогова В.С. «Обзор представленных на российском рынке устройств для измерения величины индукции магнитного поля» - Территория NDT. 2014. №2. С. 60-62
4. Ефимов А.Г. «Распределение сигнала накладного вихретокового преобразователя над стальным изделием с внутренним дефектом сплошности в приложенном магнитном поле» - Контроль. Диагностика. 2012. № 3. С. 17-24.

# МАРШРУТ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭА В СРЕДЕ КОМПАС-3D

Сарайкин Д. С.

*Научный руководитель: асс. Арабов Д.И.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## RESEARCHING OF CAD KOMPAS-3D

Saraykin D. S.

*Scientific adviser: ass. Arabov D.I.*

BMSTU, department IU4, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматривается система трехмерного моделирования КОМПАС-3D. Подробно исследованы возможности и эффективность этой программы. Кратко представлены основные особенности, отличающие КОМПАС-3D от других подобных САПР. В заключении представлены рекомендации по использованию КОМПАС-3D и выводы по итогам тестов.

### Abstract

The paper presents a system of three-dimensional modeling KOMPAS-3D. The possibilities and effectiveness of this program were researched. Were summarized main features that distinguish KOMPAS-3D from other similar CAD. In conclusion, recommendations on the use of KOMPAS-3D and findings of tests.

### Введение

Задача по сквозному проектированию ЭА в среде системы трехмерного моделирования возникает, когда требуется выбрать программу для создания макета, чертежа или любого другого представления объемного объекта в виде 3D (3 directions) модели. Процесс выбора системы трехмерного моделирования крайне важен, так как от этого зависит время, эффективность и качество работы по представлению объекта в виде 3D модели.

Источниками данных является сайт компании разработчика программы, а также обзорные и аналитические статьи, описывающие программу КОМПАС-3D.

Целью данной работы является определение достоинств, недостатков, работоспособности и особенностей программы КОМПАС-3D. Представленная статья решает задачу исследования программы.

Актуальность данной работы высока, так как касается вида программного обеспечения, без которого невозможна разработка множества современного оборудования и изделий.

Системы трехмерного моделирования в этой статье называются общепринятым сокращением САПР.

## 1 Анализ среды КОМПАС-3D

Программа КОМПАС-3D является основой САПР «Компас», разработанной компанией АСКОН. С помощью КОМПАС-3D осуществляется проектирование изделий, конструкций или зданий любой сложности. Реализация от идеи — к 3D-модели, от 3D-модели — к документации, к изготовлению или строительству. Возможно использование самых современных методик проектирования при коллективной работе.

КОМПАС-3D имеет специализированные комплекты, соответствующие основным областям применения: для машиностроения, строительства и приборостроения.

Основные компоненты «Компас-3D» — собственно система трёхмерного твердотельного моделирования (рис. 1), универсальная система автоматизированного проектирования «Компас-График» и модуль проектирования спецификаций.

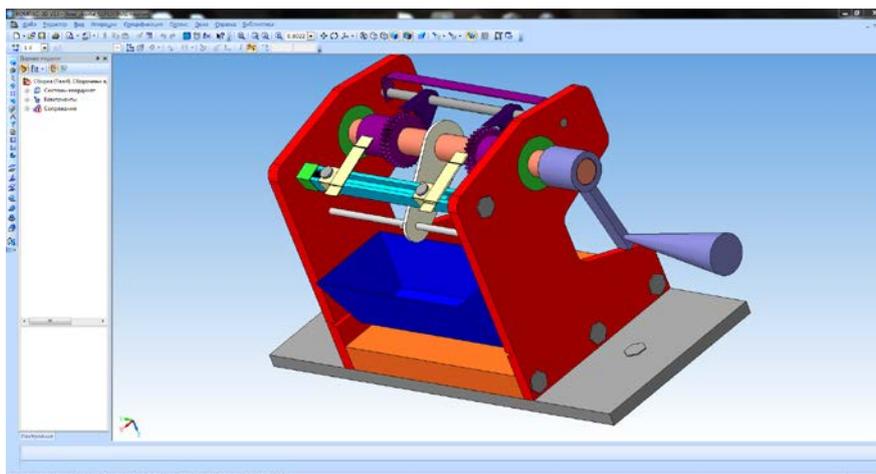


Рисунок 1 – Окно системы трёхмерного твердотельного моделирования

Система КОМПАС-3D предназначена для создания трёхмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Ключевой особенностью КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами компании АСКОН.

## **2 Возможности программы КОМПАС-3D**

Предлагаемые АСКОН решения для машиностроения автоматизируют процессы конструкторско-технологической подготовки производства. Набор специализированных инструментов для строительства, призваны автоматизировать и ускорить процесс разработки проектной документации при проектировании зданий и сооружений различного назначения. Комплект для приборостроения - необходимый и полнофункциональный набор специализированных приложений, объединенных одной идеей автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры и электрооборудования.

КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет организовывать эффективный обмен данными со смежными организациями и заказчиками, использующими любые CAD / CAM / CAE-системы в работе.

## **3 Тестирование программы КОМПАС-3D**

Для определения работоспособности программы был проведен тест на нескольких компьютерах с различными характеристиками. Тест представляет собой визуализацию массива из пружин (рис. 3,4) (1, 5x5, 10x10, 20x20, 50x50, 100x100). Каждый из массивов выполняется в тонированном и тонированном-каскадном виде. Числа внутри столбцов отображают скорость выполнения задачи: чем это число больше, тем быстрее была выполнена задача. Если столбцы окрашены ярко красным, то задача не была выполнена, так программа зависла. Тестирование проводилось на версии программы КОМПАС-3D V12.

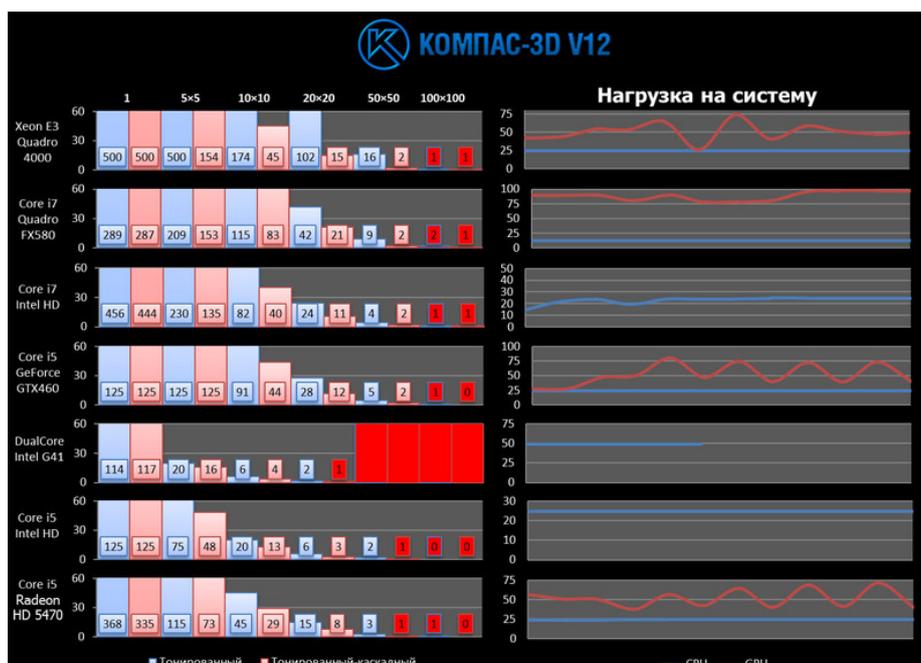


Рисунок 2 – Результаты тестирования

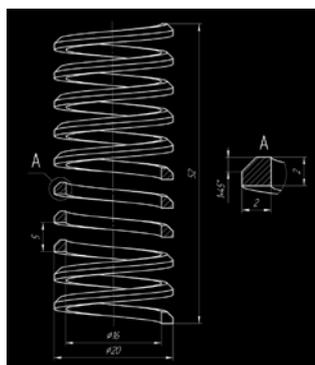


Рисунок 3 - Пружина

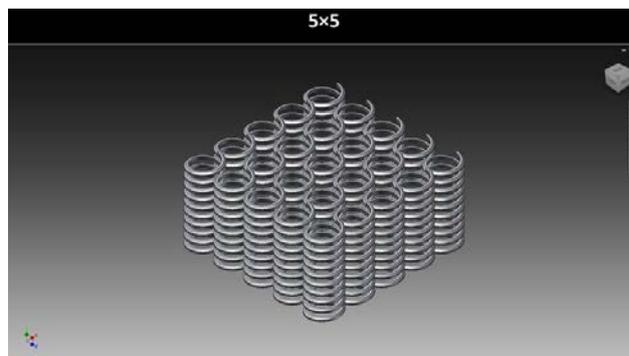


Рисунок 4 – Пример массива из пружин

По результатам теста можно сказать, что КОМПАС-3D способен выполнять команды любой сложности, кроме экстремальной (массив 100x100). Хотя 4я машина не справилась с массивом 50x50, она показала достойные результаты для своих характеристик. Стоит отметить, что все машины с интегрированной в процессорах графикой (Intel HD, Intel G41) справились с задачей на приемлемом уровне, хотя и не так быстро, как компьютеры с дискретной графической картой.

#### 4 Достоинства и недостатки программы КОМПАС-3D

САПР КОМПАС-3D имеет ряд достоинств и недостатков, из которых можно выделить следующие:

Плюсы:

- система очень легка в освоении, причем даже для конструкторов, не имеющих опыт общения с 3D редакторами;
- система имеет большое количество библиотек элементов стандартизированных по ГОСТ;
- данная система является продуктом отечественных разработчиков, а потому не существует никаких проблем с ее локализацией;
- удобство оформления практически любых чертежей согласно норм, установленных ЕСКД;
- наличие встроенной системы обучения.

минусы:

- несмотря на то, что чертить довольно легко, проектировать значительно сложнее;
- крайне медленное развитие системы;
- некоторые проблемы при импортировании моделей из других САПР.

### **Заключение**

В результате изучения САПР КОМПАС-3D удалось получить все необходимые данные. Удалось получить основные данные о программе, провести тест, и выявить значительные сильные и слабые стороны программы. По основным описательным данным можно сделать вывод о том, что КОМПАС-3D подходит для любых задач по 3D моделированию в любой области на любом профессиональном уровне. По результатам теста можно сказать, что программа подойдет для любого современного компьютера, даже если это дешевый ноутбук с интегрированной в процессор графикой, что делает программу очень доступной. По слабым и сильным сторонам программы можно сделать вывод, что программа лучше всего подойдет для русскоговорящего пользователя, работающего с документацией по ГОСТ и ЕСКД, хотя работа в КОМПАС-3D и может вызвать проблемы, о которых необходимо помнить.

### **Литература**

1. «Система автоматизированного проектирования (САПР). Кто кого?» Михаил Жилин (<http://habrahabr.ru/post/140815/>)
2. Официальный сайт компании АСКОН (<http://kompas.ru/>)
3. Преимущества КОМПАС-3D в САПР - небольшой обзор (<http://texdizain.net/proektirovanie/37-preimuschestva-kompas-3d-v-sapr-nebolshoy-obzor.html>)

# ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ НА СЕМИСЕГМЕНТНЫХ ЛАМПОВЫХ ИНДИКАТОРАХ.

**Щукин И.В.**

*Научный руководитель: Гриднев В.Н.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

## ELECTRONICS TIMESYSTEMS

**Shchukin I.V.**

*Supervisor: Gridnev V.N.*

BMSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В данной статье рассматривается проектирование электронных часов на семи сегментных индикаторах без использования микроконтроллеров. Приведен ряд проблем, с которыми можно столкнуться при разработке данного устройства, и пути их решения. Показаны принципиальные схемы, разводка ПП и перечень необходимых компонентов для изготовления.

### Annotation

This article discusses the design of the electronic clock on the seven-segment indicators without the use of microcontrollers. Given the number of problems you might encounter when developing this device, and their solutions. Shows the schematic diagram, wiring paragraphs and a list of required components for manufacturing.

### Введение

Электронные часы — часы, в которых для отсчёта времени используются периодические колебания электронного генератора, преобразованные в дискретные сигналы, повторяющиеся через 1 с, 1 мин, 1 ч и т. д.; сигналы выводятся на цифровое табло, показывающее текущее время, а в некоторых моделях также число, месяц, год, день недели. Они могут быть реализованы как на микросхеме реального времени в сочетании с микроконтроллером, который будет считывать дату и время из памяти микросхемы и выводить данные на индикаторы, так и на элементах логики (счетчики, компараторы, дешифраторы и т.д.).

Был выбран второй способ из-за отсутствия необходимости писать программу для микроконтроллера.

### 1 Генерация прямоугольных импульсов.

Существует большое количество разных вариантов генерации импульсов с определенным периодом:

- Мультивибратор;
- Кварцевый генератор;
- Микроконтроллер;
- Микросхема генератора;

Все приведенные выше способы генерации сигнала отличаются по некоторым характеристикам. Сравнение приведено в таблице.

Таблица 1

	Простота реализации*	Частота сигнала	Потребление	Точность
Мультивибратор	Высокая	< 2 МГц	Высокое	Низкая
Кварцевый генератор	Высокая	2-80 МГц	Низкое	Высокая
Микроконтроллер	Низкая	1/3600-32678 Гц	Среднее	Средняя
Микросхема генератора	Средняя	1/3600-1 Гц	Низкое	Средняя

Простота реализации обусловлена минимальным количеством необходимых компонентов для реализации устройства

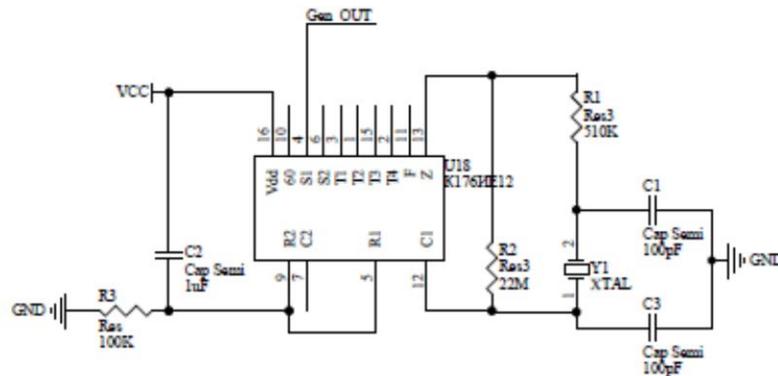


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства

Из таблицы видно, что для данной задачи оптимальнее будет способ генерации прямоугольных импульсов с периодом 1 Гц, основанный на микросхеме генерации импульсов. Была выбрана микросхема К176ИЕ12.

## 2 Счет времени

На генерации сигналов прямоугольной формы работа не заканчивается, так как необходимо отсчитывать время. То есть нужно преобразовать сигналы с периодом в 1 секунду в счет времени.

Для начала нужно преобразовать единичные импульсы в число. Это можно реализовать с помощью счетчиков, которые имеют один вход и несколько выходов (зависит от битности счетчика). После каждой логической единицы на входе счетчика, бинарное число на выходе увеличивается на один. То есть если на вход было подано 3 логических единицы, то на выходе будет число 11. Для данной задачи была выбрана микросхема SN74HC393D, которая содержит 2 4-х битных счетчика, что упрощает разработку схемы, из-за использования семи сегментных индикаторных ламп.

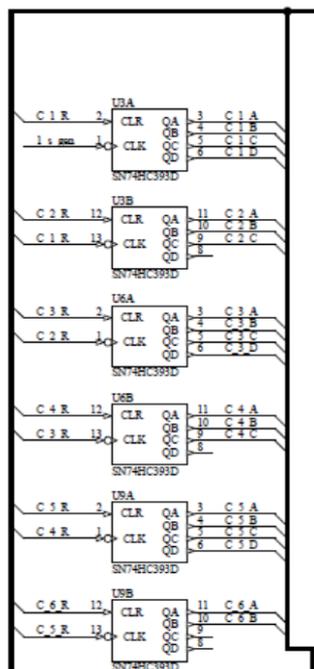


Рисунок 2

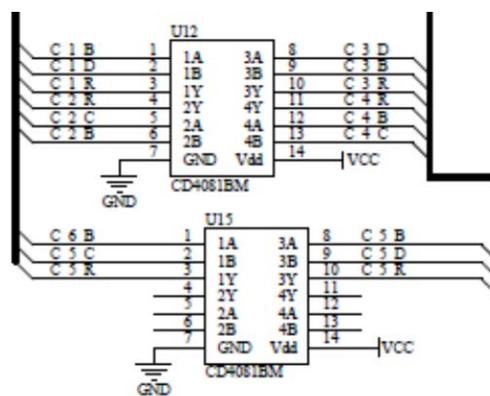


Рисунок 3

Но необходимо учесть, что в минуте 60 секунд, а в часе 60 минут и часов в дне 24. Следовательно, необходимо реализовать систему, которая будет сбрасывать счетчики при

достижении максимальной цифры и после сброса прибавиться единица к следующему разряду. То есть после 59 секунды должно быть не 60, а 00 и минутный счетчик должен увеличиться на один. Аналогично с минутами и часами. После 23 часов 59 минут и 59 секунд все счетчики должны сброситься на ноль. Данную задачу можно решить путем соединения последнего выхода счетчика со входом счетчика следующего порядка (см. схему), а для автоматического сброса после максимально возможного числа можно использовать логический элемент «И».

Данную операцию можно продемонстрировать с помощью логических операций: Если 2-й «И» и 3-й бит на выходе счетчика ( $1010_2 = 10_{10}$ ), то сбросить счетчик. Для данного проекта были выбраны микросхемы, содержащие 4 логических элемента «И» CD4081M.

### 3 Управление семи сегментными индикаторами

После того, как импульсы преобразовались в число, необходимо с помощью этого числа управлять семи сегментным индикатором. То есть для определенного числа необходимо подавать напряжение на определенные сегменты индикатора. Для данной задачи был выбран дешифратор для семи сегментных индикаторов SN74LS247D.

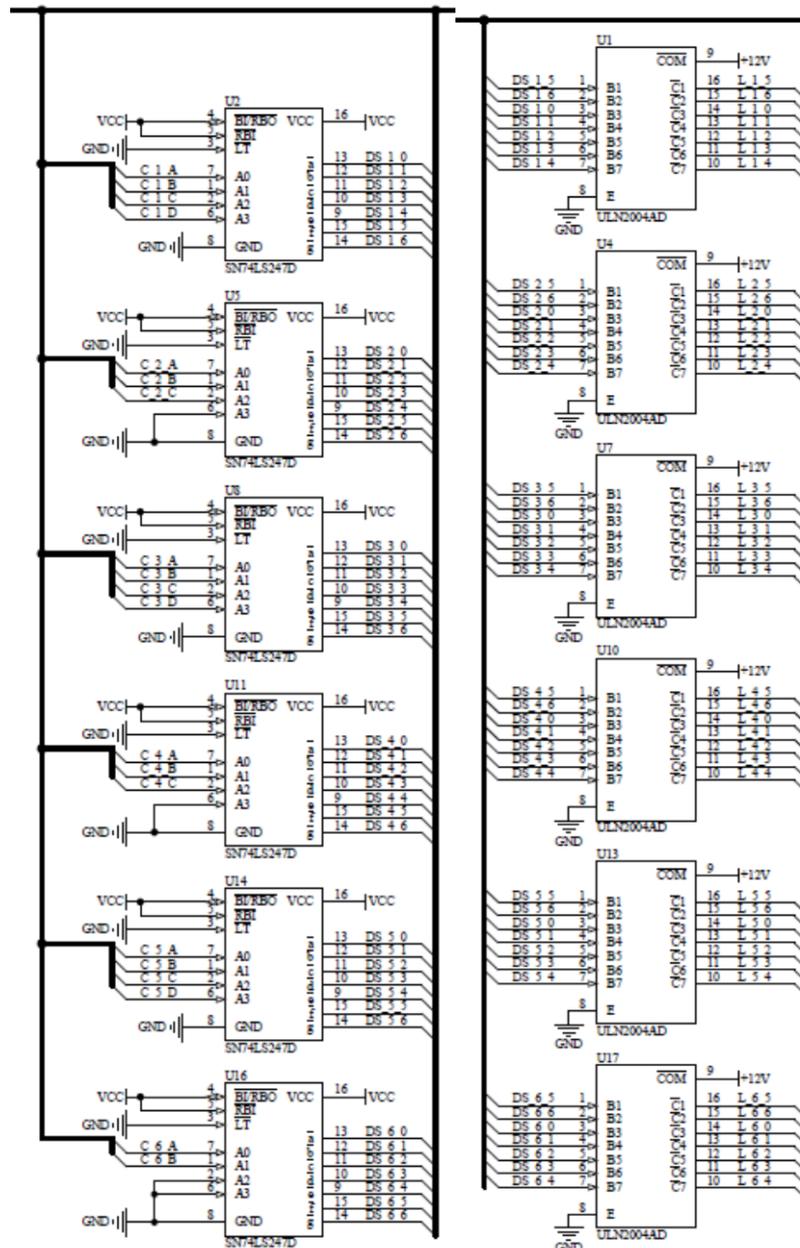


Рисунок 4

Для данного проекта были выбраны семи сегментные индикаторные лампы ИВ-6. Из их технических характеристик видно, что напряжение между сеткой и анодом должно быть примерно 12 В для оптимальной работы. Из характеристик дешифратора SN74LS247D видно, что максимальное выходное напряжение логической единицы равно 3.7 В. Этого не достаточно для оптимальной работы индикаторов.

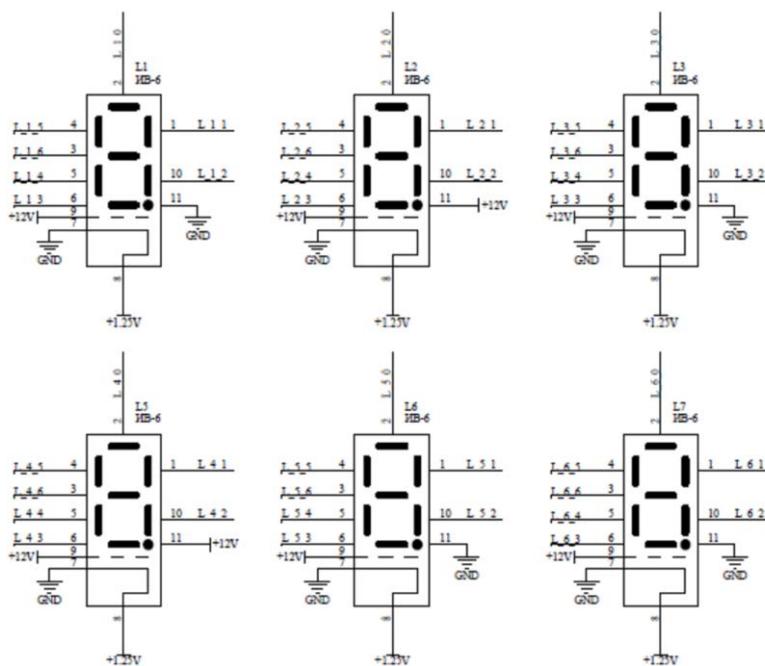


Рисунок 5

Следовательно, необходимо поставить транзисторные ключи. Были выбраны матрицы из семи транзисторов Дарлингтона ULN2004AD.

### Установка времени.

Для задания начала отсчета времени для электронных часов, были применены тумблер, который отключает генерацию прямоугольных импульсов, путем отключения питания микросхемы генерации импульсов, и подключает 6 кнопок, каждая из которых подключена к счетчику.

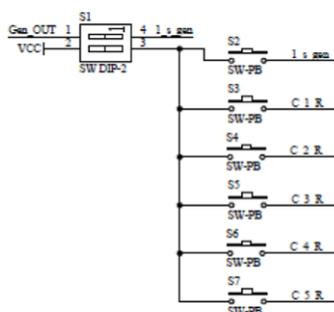


Рисунок 6

При нажатии на кнопку, подается напряжение на вход счетчика, что увеличивает число на выходе на единицу. Таким образом каждой отдельной кнопкой можно изменять цифру, которая отображается на каждом индикаторе.

### Питание устройства

Устройство должно питаться от розетки 220 В 50 Гц. А в схеме необходимы следующие источники питания:

- питание микросхем: 5 В, суммарный ток  $I_1 < 300$  мА;

- питание анодов и сеток индикаторных ламп: 12 В, суммарный ток  $I_2 < 100$  мА;
- питание накалов: 1 В, суммарный ток  $I_3 < 300$  мА.

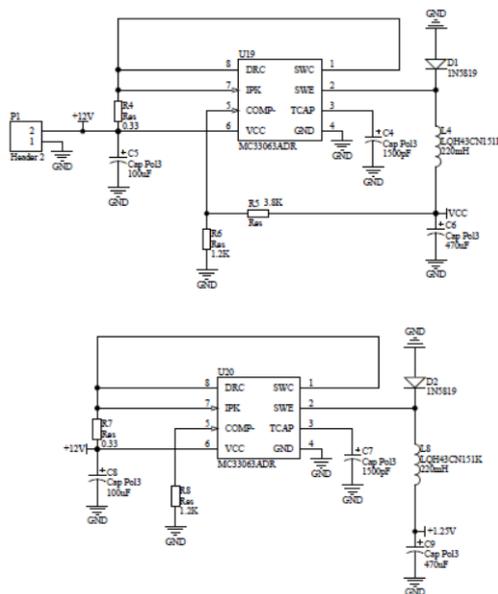


Рисунок 7

На основании этих данных был разработан блок питания для данного устройства, который состоит из нескольких ступеней:

1. Выпрямитель и стабилизатор напряжения 220V AC -> 12V DC 1 А;
2. Преобразователь напряжения 12V DC -> 5V DC 0.5А;
3. Преобразователь напряжения 12V DC -> 1.25V DC 0.5А;

### Литература

1. Й. Янсен, Курс цифровой электроники. Том 2. Проектирование устройств на цифровых ИС, Издательство: М.: Мир, 1987 г.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники в 2-х томах, Издательство «Мир». Редакция литературы по информатике и электронике, 1986 г.

# ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ НА ФИКСИРОВАННЫХ ЧАСТОТАХ

**Шкулёва Е.Н.**

*Научный руководитель: доцент, Соловьев В.А.*  
МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## VIBRATION RESISTANCE OF QUARTZ RESONATOR WITH HARMONIC VIBRATIONS AT A FIXED FREQUENCY

**Shkuleva E.N.**

*Supervisor: Prof., Soloviev V.A.*  
MSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Работа посвящена методу проверки на виброустойчивость и вибропрочность кварцевых резонаторов при гармонических колебаниях на фиксированных частотах. Проводится анализ противостояния кварцевого резонатора разрушающему действию вибрации и неизменных значений своих параметров или изменения их в допустимых пределах. Проработка методики ведется на испытательном стенде, который включает вибростенд ST-80, установку CPNA-330 для измерения параметров и настройки пьезоэлектрических резонаторов и монолитных фильтров в диапазоне частот от 1 до 330 МГц, и набор кварцевых резонаторов.

### **Abstract**

The work is devoted to the method of checking the vibration and the vibration of quartz resonators with harmonic oscillations at fixed frequencies. The analysis of the confrontation of the quartz resonator destructive effect of vibration and constant values of its parameters or change them in an acceptable range. Study methodology is conducted on a test bench that includes shaker ST-80, setting CPNA-330 for measuring the parameters and settings of piezoelectric resonators and monolithic filters in the frequency range from 1 to 330 MHz, and a set of quartz resonators.

### **Введение**

Кварцевые резонаторы являются важными элементами радиоэлектронной аппаратуры. Несмотря на то, что в аппаратуре используется небольшое их число, они определяют ее основные и весьма существенные характеристики. Кварцевый резонатор — прибор, представляющий собой одну или несколько электромеханических резонансных систем пьезоэлектрического типа. Кварцевый резонатор является аналогом колебательного контура на основе ёмкости и индуктивности, но кварцевый резонатор превосходит LC-контур по очень важным параметрам.

Колебательный контур характеризуется добротностью. Резонаторы на основе кварца обладают очень высокой добротностью, которая недостижима при использовании обычного колебательного LC-контура. На частоту колебаний LC-контура значительно влияет температура окружающей среды, от которой зависят параметры емкости конденсатора и индуктивность катушки. Для использования в цифровой технике требуется более стабильный и надёжный источник гармонических колебаний [1-4].

Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы изготавливаются в настоящее время в широком ассортименте и охватывают диапазон частот от нескольких сотен герц до нескольких сотен мегагерц.

Одной из задач исследователей и разработчиков производства кварцевых резонаторов является виброустойчивость и вибропрочность кварцевых резонаторов. Задачей является увеличение вибропрочности колебательной системы и добротности резонаторов с элементами крепления. Многие неприятности в процессе эксплуатации обусловлены тем, что резонаторы используют при недопустимо высоких уровнях возбуждения. Следует избегать использования в аппаратуре, подвергающейся воздействию вибраций, резонаторов, частоты

которых близки к частотам внешних вибраций. При этом на электродах резонатора возникают виброшумы (пьезо-ЭДС), которые следует учитывать.

Цель работы состоит в анализе метода проверки на виброустойчивость и вибропрочность кварцевых резонаторов при гармонических колебаниях на фиксированных частотах.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты можно использовать для непосредственных измерений и анализа полученных данных.

## **1 Анализ методов настройки кварцевых резонаторов**

Кварцевые резонаторы считаются вибростойкими и вибропрочными, если они противостоят разрушающему действию вибрации и не меняют значений своих параметров или меняют их в допустимых пределах. Наименьший уход частоты наблюдается в случае действия ускорения в плоскости, совпадающей с плоскостью пьезоэлемента. Чтобы кварцевый резонатор мог выдержать без изменения собственной частоты большие ускорения, круглые пьезоэлементы должны иметь сравнительно небольшое отношение диаметра к толщине для предотвращения деформации изгиба. Масса пьезоэлемента, рассчитанного для работы на низких частотах, велика, и кварцевые резонаторы этого диапазона частот менее устойчивы к воздействию вибрации и ударов.

Проведены экспериментальные исследования поведения колеблющегося пьезоэлемента при воздействии разного рода внешних усилий и механических напряжений. Оказалось, что очень трудно отделить различные механические напряжения друг от друга. Только в случае растягивающего усилия, действующего на пьезоэлемент, доказано, что изменение частоты всегда линейно зависит от значения растягивающего усилия [1]

Для испытания кварцевых резонаторов как вибростойкость и вибропрочность применяются вибростенды. При испытаниях на вибростойкость частоту кварцевых резонаторов измеряют во время вибрации, на вибропрочность - после вибрации.

При испытании на вибростойкость проверяется способность кварцевых резонаторов сохранять значение номинальной частоты в пределах норм в условиях вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений.

Резонатор устанавливается в специально сконструированном приспособлении и жестко крепится к рабочему столу вибростенда. Заданное ускорение должно обеспечиваться непосредственно в местах крепления резонатора. Испытания проводятся поочередно в вертикальном, горизонтальном или любом другом эксплуатационном положении резонатора относительно его оси. В процессе вибрации измеряются уходы частоты резонаторов. Кварцевый генератор воздействию вибрации не подвергается. Генератор соединяется с испытуемым резонатором гибкими проводами минимальной длины, влияние которых на частоты резонатора учитывается при измерениях.

При плавном изменении частоты вибрации не должно наблюдаться уходов частоты резонатора, замеренных до испытания, сверх допустимых значений.

При испытании на вибропрочность проверяется способность кварцевых резонаторов противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять после воздействия вибрации значение номинальной частоты в пределах норм. Испытания на вибропрочность проводятся методом качающейся частоты или методом фиксированных частот [2].

Метод качающейся частоты заключается в том, что испытание проводится при непрерывном изменении частоты вибрации от минимального до максимального значения и обратно с определенной скоростью прохождения диапазона частот. Осмотр и измерение параметров резонатора производятся после испытаний. Метод фиксированных частот заключается в том, что испытания проводятся при плавном изменении частоты в каждом поддиапазоне с задержкой на фиксированных частотах на определенное заданное время.

## 2 Испытание кварцевых резонаторов при гармонической вибрацией на фиксированных частотах

Метод заключается в последовательном воздействии на кварцевый резонатор гармонической вибрации определенной частоты и амплитуды в требуемом диапазоне частот (рисунок хх).

При испытаниях на вибропрочность контролируют переменную и статическую силу, приложенные к испытываемому объекту и число циклов его нагружения.

В процессе испытаний на виброустойчивость контролируют амплитуду либо размах перемещения стола вибростенда. В программе испытаний изделий на вибропрочность и виброустойчивость в этом случае указывают поддиапазоны частот, время испытаний и амплитуды ускорений. Необходимо выдерживать изделия на высшей частоте каждого поддиапазона. Продолжительность выдержки устанавливают в соответствии с требованиями технических условий [4].

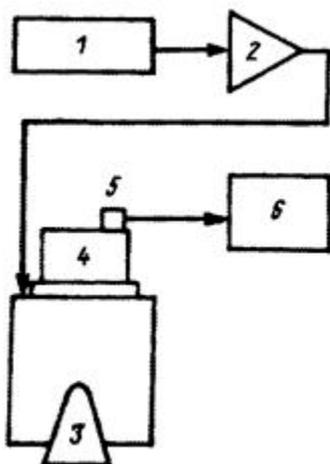


Рисунок 1 – Схема установки для испытания гармонической вибрацией

(1-задающий генератор, 2 – усилитель мощности, 3 – вибровозбудитель, 4 – кварцевый резонатор, 5 – виброизмерительный преобразователь, 6 – виброизмерительная аппаратура)

Погрешность поддержания частоты не должна превышать  $\pm 10\%$  на частотах до 200 Гц и  $\pm 5\%$  на частотах более 200 Гц. Если за время испытаний не было обнаружено нарушений и все параметры соответствовали требованиям технических условий, то изделие признают выдержавшим испытания.

При испытании изделий и аппаратуры методом фиксированных частот особенно важно обнаружить резонансные частоты, на которых амплитуда колебаний испытываемого изделия будет в два раза и более превышать амплитуду колебаний точек крепления. В случае обнаружения резонансных частот или частот, на которых наблюдается ухудшение параметров изделия, рекомендуется дополнительная выдержка изделия при вибрации с данной частотой с целью уточнения и выявления причин несоответствия параметров техническому заданию. Иногда проводят длительные испытания на резонансных частотах для проверки ресурса работы конструкции [4].

Метод фиксированных частот имеет недостатки:

- сложность контроля перемещения, ускорения и частоты вибрации и их регулирования вручную из-за значительной неравномерности амплитудно-частотной характеристики тракта испытательного комплекса при испытаниях в широком диапазоне частот;
- невозможность выявления параметрических резонансов, вероятность пропусков резонансов отдельных элементов;
- последовательное возбуждение резонансов.

Однако этот метод до настоящего времени широко распространен в практике виброиспытаний. Он дешев и прост. Для него пригодны все виды вибростендов. Используется он в основном при заводских испытаниях серийно выпускаемых изделий.

### 3 Структура и состав испытательного стенда

Испытательный стенд для проверки на виброустойчивость кварцевых резонаторов при гармонических колебаниях на фиксированных частотах состоит из электромеханического вибростенда ST-80, установки CPNA-330, испытуемых резонаторов, персонального компьютера.

Электромеханический вибростенд ST-80 (Tiga GmbH., Германия) представлен на рисунке 2. Диапазон частот 20-80 Гц  $\pm 2,5\%$  конечного значения по шкале; вес объекта испытания максимально 30 кг; величины ускорения: объектов весом от 0 до 5 кг  $0 \div 15$  g; объектов весом от 5 до 15 кг  $0 \div 10$  g; объектов весом от 15 до 30 кг  $0 \div 5$  g; размах колебаний макс-симальный  $\pm 2$  мм; возбуждение с помощью эксцентрика; вид вибраций приблизительно синусоидальный. Размер стола 350x250 мм [3].



Рисунок 2 - Электромеханический вибростенд ST-80

Вибростенд представляет собой возбуждающий одноосный вибратор, предназначенный прежде всего для колебаний при низких частотах и большой массе тестируемого образца. С ним можно проводить испытания на отдельных узлах и приборах, комплексных установках, конструкторских частях и целых агрегатах электротехники и электроники.

CPNA-330 это установка для измерения параметров и настройки пьезоэлектрических резонаторов и монолитных фильтров в диапазоне частот от 1 до 330 МГц (рисунок 3). Основное назначение:

- измерение частоты и эквивалентных динамических параметров пьезоэлектрических резонаторов;
- непрерывный визуальный контроль параметров пьезоэлектрических резонаторов в процессе их настройки;
- непрерывный визуальный контроль параметров монолитных пьезоэлектрических фильтров в процессе их настройки;
- измерение и построение графика зависимости изменения параметров резонаторов ( $F_s$ ,  $R_1$ ,  $Q$ ) от времени [6].

Измерение АЧХ и ФЧХ пьезоэлектрических резонаторов и монолитных пьезоэлектрических фильтров.



Рисунок 3 – Установка CPNA-330

Измерения производятся с помощью векторного анализатора цепей и направленного ответвителя (рефлектометра). При измерениях один из выводов резонатора заземляется. Вычисление импеданса испытуемого устройства осуществляется через комплексный коэффициент отражения  $S_{11}$ . Для калибровки измерительного тракта используется стандартный набор нагрузок: короткозамкнутая перемычка и согласованная нагрузка 50 Ом.

Для испытаний на вибропрочность используется 4 вида кварцевых резонаторов: прецизионный резонатор РПК01, выполненный в корпусе КА, с частотой 27,760МГц изображен на рисунке 4; резонатор РГ08 в корпусе РК11 (НС-6) с частотой 12,797МГц (рисунок 5); резонатор РГ05 в корпусе РК12 (НС-50) с частотой 7,403МГц (рисунок 6); два резонатора РКМ-12 в корпусе УМ-1 (НС-45) с частотой 59799МГц и частотой 65,17МГц (рисунок 7).



Рисунок 4 – Резонатор с  $f=27,760\text{МГц}$



Рисунок 5 – Резонатор с  $f=12,797\text{МГц}$



Рисунок 6 – Резонатор с  $f=7,403\text{МГц}$

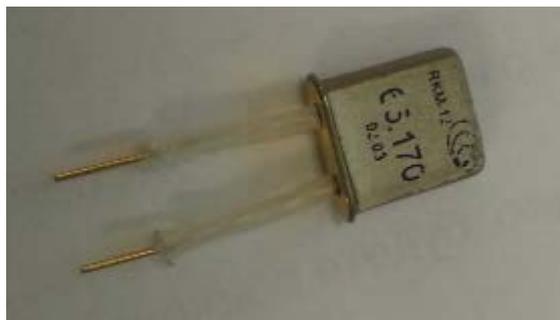


Рисунок 7 – Резонатор с  $f=65,17\text{МГц}$

В состав установки входят: векторный анализатор цепей CPNA-330, направленный ответвитель (одно или двухходовый рефлектометр), комплект высокочастотных кабелей, устройство для подключения измеряемого объекта – контактное (присоединительное) устройство, калибровочный комплект для калибровки измерительного тракта (резистор 50 Ом и короткозамкнутая перемычка), кабель USB для соединения анализатора с компьютером, программное обеспечение.

#### 4 Исследование метода проверки на виброустойчивость кварцевых резонаторов

Методика измерения и расчета параметров резонатора соответствует рекомендациям Международной Электротехнической Комиссии (МЭК).

При расчете динамических параметров резонатора используется эквивалентная схема, показанная на рисунке хх.

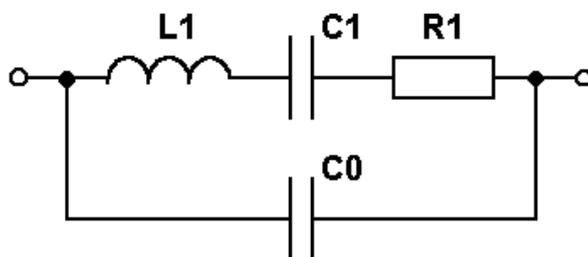


Рисунок 8 - Эквивалентная схема резонатора

Условные обозначения:

L1 – динамическая индуктивность резонатора;

C1 – динамическая емкость резонатора;

R1 – динамическое сопротивление резонатора;

C0 – статическая (параллельная) емкость резонатора.

При выполнении измерений на установках CPNA-330 следует иметь в виду, что на результаты измерений будут оказывать влияние: длина и конструктивные размеры соединительных ВЧ-кабелей, разъемов, конструкция контактного устройства, их взаимное расположение в пространстве, дрейф параметров схемы от времени и температуры и прочее. Калибровка измерительного тракта позволяет исключить влияние конструктивных особенностей измерительной системы на результаты измерений.

Калибровку следует выполнять:

- каждый раз после ремонта рабочего места;
- перед проведением особо ответственных измерений;
- периодически.

Перед проведением измерений необходимо выполнить калибровку измерительного тракта.

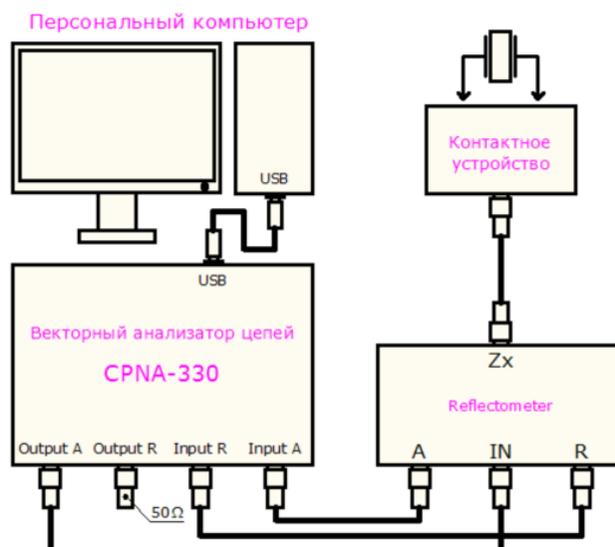


Рисунок 9 - Схема электрических соединений установки для стандартного рефлектометра

Пояснение к рисунку xx:

Анализатор цепей CPNA-330:

Output A – выход источника сигнала измерительный;

Output R – выход источника сигнала опорный (дополнительный);

Input A – вход измерительный;

Input R – вход опорный;

USB – разъем для подключения анализатора цепей к компьютеру.

Control – выход управляющего напряжения (– 12 вольт) для 2-х входов

рефлектометра.

Рефлектометр:

IN – вход источника сигнала;

A – выход измерительный;

R – выход опорный;

Zx, Zy – вход для подключения испытуемого устройства.

-12V – вход для подачи управляющего напряжения [5].

В начальный период эксплуатации рекомендуется выполнять калибровку ежедневно.

В последующем периодичность может задаваться пользователем на основе приобретенного личного опыта и выполняемой задачи. Одним из критериев необходимости выполнения калибровки может служить отличное от нуля значение величины статической емкости  $C_0$  (в пределах допустимой погрешности) при измерении параметров резонатора (в отсутствие самого резонатора).

Время прогрева анализатора перед выполнением калибровки должно составлять не менее 30 минут.

Калибровка выполняется в три этапа:

1. Холостой ход – контакты присоединительного устройства должны оставаться свободными;
2. Короткое замыкание – контакты присоединительного устройства замкнуты накоротко;
3. Согласованная нагрузка – контакты присоединительного устройства замкнуты через калибровочный резистор (рисунок 10).

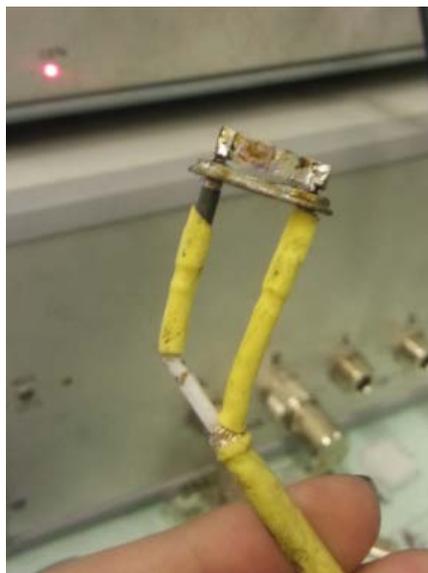


Рисунок 10 – Этап калибровки-согласованная нагрузка

Для выполнения измерений необходимо поместить резонатор в контактное устройство и настроить резонатор (рисунок 11). В режиме «Настройка резонаторов» измерения выполняются непрерывно. Результаты измерений выводятся на экран в виде текстовой и графической информации после каждого измерения. Перед выполнением измерений нужно установить параметры настройки. Процесс измерения в режиме настройки резонаторов разбит на две фазы – поиск частоты и удержание частоты. Вначале всегда выполняется поиск частоты. В этом режиме программа находится до тех пор, пока не будет обнаружен хотя бы один резонансный отклик. Далее автоматически выполняется переход в режим удержания частоты.

Удержание частоты при изменении частоты резонатора в процессе его настройки происходит автоматически, после выполнения очередного измерения, путем программной корректировки параметров сканирования. При отсутствии признаков резонанса происходит автоматический переход в режим поиска частоты и процесс повторяется.



Рисунок 11 – Закрепление резонатора

Необходимо установить требуемые значения в полях ввода исходных данных, расположенных на панели управления. По окончании процесса измерения результаты всегда помещаются в таблицу базы данных.

Процесс измерения происходит в последовательности [5]:

- расширенный поиск резонансной частоты в указанном диапазоне частот (выполняется только при включенном режиме поиска);
- измерение статической емкости  $C_0$ ;

- поиск резонансной частоты и оценка резонансной кривой по шагам методом последовательного приближения;
  - снятие амплитудно–частотной характеристики резонатора вблизи частоты последовательного резонанса  $F_s$ ;
  - усреднение результатов измерения резонансной кривой методом наименьших квадратов и вычисление параметров резонатора;
  - измерение уровня подавления побочных резонансов (ППР) в заданной полосе частот и вывод результатов в таблицу и на график (выполняется при включенном режиме ППР). При включенных одновременно режимах ППР и DLD результаты измерения ППР заносятся только в таблицу, а на график не выводятся.
  - измерение зависимости параметров резонатора от уровня возбуждения (DLD) и вывод результатов на график (выполняется при включенном режиме DLD).
- Частота с нагрузочной емкостью  $F_L$  вычисляется по формуле (1):

$$F_L = F_s \cdot (1 + C_1) / 2 \cdot (C_0 + C_L) \quad (1)$$

Если при выполнении поиска в заданном диапазоне частот обнаружено несколько резонансных откликов, в качестве основного принимается резонансный отклик с наименьшей частотой.

В режиме построение графика зависимости параметров резонатора от времени измерения выполняются непрерывно. Добавление данных для построения графика зависимости параметров начинается и происходит только в режиме удержания частоты. При пропадании резонанса добавление данных прерывается, а программа переходит в режим поиска. В дальнейшем, при появлении резонанса, программа снова переходит в режим удержания частоты и добавление данных возобновляется.

## Заключение

Проведенный анализ методики тестирования на вибропрочность и виброустойчивость кварцевых резонаторов при гармонических колебаниях на фиксированных частотах дает возможность измерения частот и характеристик резонаторов при длительных вибронагрузках и анализа отклонений этих значений (лежат ли отклонения значений в допустимых пределах или нет) при помощи установки CPNA-330 для измерения параметров и настройки пьезоэлектрических резонаторов. С помощью электромеханического вибростенда ST-80 возможно изменять частоты нагрузки на резонаторы, изменять позиционирование резонаторов в пространстве во время нагрузки.

Режим работы кварцевого резонатора значительно ухудшается, если эксплуатировать его без учета влияния параметров схемы генератора на параметры резонатора. Условия работы кварцевого резонатора и его активность в большой мере зависят от параметров колебательного контура и режима работы кварцевого генератора.

Наличие в любом пьезоэлементе нежелательных резонансных частот наряду с основной частотой колебаний заставляет особенно тщательно выбирать тип среза пьезоэлемента при использовании его в фильтровой схеме. Необходимо, чтобы его нежелательные резонансы были сдвинуты относительно основной частоты, а также не участвовали в основных колебаниях и не влияли на характеристику фильтра. Величина нежелательных резонансов и их сдвиг относительно основной частоты являются определяющими при выборе кварцевых резонаторов.

Многие измерительные приборы работают с помощью кварцевых генераторов, они обеспечивают высокую точность измерений. Сконструированы специальные стандарты частоты или первичные эталоны частоты с генератором, стабилизированным пьезоэлектрическим кварцевым резонатором. Например, пьезокварцевая пластина используется как резонатор в эхолоте для обнаружения находящихся в воде объектов, исследования рельефа морского дна, определения местонахождения рифов и отмелей.

## Литература

1. ГОСТ 30630.0.0-99. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технически изделий. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
2. ГОСТ 30630.1.2-99. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технически изделий. Испытания на воздействие вибрации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
3. ГОСТ ИСО 10813-1 - 2011 Руководство по выбору вибростендов. Часть 1. Оборудование для испытаний на воздействие вибрации. Национальный стандарт Российской Федерации. – М.: Стандартиформ, 2012.
4. И.К.Лазарь. Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы. – М.: Издательство «Радио и связь», 1981, 231 с.
5. CPNA -330. Установка для измерения параметров и настройки пьезоэлектрических резонаторов и монолитных фильтров в диапазоне частот от 1 до 330 МГц. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
6. К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств /под общ. редакцией В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005. 568 с. (серия: Информатика в техническом университете, второе издание).

## АНАЛИЗ C3D GEOMETRIC KERNEL V16

Стрелков С.С.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлёва Л.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ

### REVIEW OF THE C3D GEOMETRIC KERNEL V16 UPDATE.

Strelkov S.S.

*Scientific adviser: Ph.D., Associate Professor Zhuravleva L.V.*

BMSTU, Moscow, RF

#### Аннотация

В работе представлены результаты исследования обновления ядра для программного обеспечения в среде САПР для моделирования объектов. Основное внимание уделено описанию новых функций и обновлению ядра. Приведены иллюстрированные примеры новых функций.

#### Abstract

The paper presents the results of a study of a new update of kernel for software in the CAD environment for modeling objects. The focus is paid to the description of new features and updates of the kernel. Also there were provided some illustrations of some new features.

#### Введение

Объектом исследования является новое ядро от ASCON - C3D Geometric Kernel v16. Компания представила последнее обновление 27 января 2015 года в Москве.

Актуальность данной работы довольно высока, так как новое программное обеспечение (ПО) для САПР с широким спектром возможностей востребовано среди пользователей, как любителей, так и профессионалов.

Целью данной работы является анализ новых возможностей обновления, краткое их описание и практическое применение.

#### Анализ C3D Kernel

Kernel представляет собой ядро, используемое в ПО как компонент, который отвечает за построение и управление построенной моделью. Подобные геометрические ядра используются в различном ПО САПР. Как основной инструмент разработчика, C3D на сегодняшний день является единственным ядром, объединяющий в себе одновременно три самых важных модуля САПР: Modeler (моделировщик), Solver (решающее устройство (ПУ)) и Converter (конвертер).

Ядро C3D предоставляет пользователям возможность выполнения следующих функций.

1. Улучшение функциональных возможностей продукта.
2. Быстрое создание 3D-моделей на основе уже имеющихся моделей 2D.
3. Значительное снижение стоимости разработки конкретного продукта.
4. Повышение надёжности и скорости работы ПО.

## **Анализ V16**

В обновлении ядра команда разработчиков C3D уделила большое внимание улучшению секционирования и разрезания, увеличив эффективность параллельных вычислений в ядре, а также обеспечению возможностей для связывания нескольких поверхностей друг с другом. Геометрическое РУ (solver) отличается кластеризацией, ведением журнала, перетаскиванием и зеркальной симметрией для 3D-фигур, а также расширенными возможностями для построения параметризованных сплайнов. Кроме того, были внесены существенные изменения в логические операции в среде 2D.

Обновленный конвертер в C3D импортирует данные в форматы STL и VRML и может передавать атрибуты во время преобразования, а также регулирует точность экспортируемых моделей STL. Благодаря оптимизированной многопоточности, данные теперь обрабатываются гораздо быстрее во время импортирования 3D моделей.

Чтобы повысить качество программных продуктов, в C3D Labs расширена справочная база данных до 350000 3D моделей, увеличено общее количество выполняемых логических операций до нескольких миллионов в сутки (данные с результатов тестов). Внутри ядра реализована поддержка компиляторов для Clang 3.5 и Visual Studio 2013, язык программирования C#, также расширен список поддерживаемых билдов Linux, обновлены тестовые приложения для Linux, и добавлено новое проиллюстрированное руководство.

### **Улучшения C3D Converter**

Обновления затронули каждый из трёх основных модулей. Обновлённый C3D конвертер теперь может регулировать точность экспортируемых моделей STL с помощью трёх параметров триангуляции, таких как: максимальное отклонение, максимальный угол поворота нормальной кривой (или поверхности), а также максимальная длина стороны треугольника.

Конвертер импортирует полигоны моделей в форматы STL и VRML. Кроме того, программное обеспечение теперь передает атрибуты элементов: экспортируются название, обозначение и владелец.

Благодаря оптимизированной многопоточности, при импорте моделей C3D 16-ой версии преобразует данные гораздо быстрее.

### **Улучшения C3D Solver**

Серьёзное обновление затронуло и Solver – решающее устройство. Для облегчения разработки приложений в C3D Labs реализован журнал всех вызовов API в 2D РУ. Все подробности, касающиеся взаимодействий C3D Solver, автоматически записываются в файл, что позволяет проводить удалённую отладку ошибок, о которых сообщают клиенты, в случае их обнаружения.

Касательно непосредственно работы с моделями, в C3D РУ добавлен новый геометрический объект под названием "кластер", который, по сути, является твердым телом с собственной системой ограничений. Кластеры необходимы для организации геометрических моделей, чтобы не прибегать к иерархии вложенных узлов. Теперь проектировщики могут использовать один и тот же экземпляр объекта из РУ для всей модели. Это экономит вычислительные ресурсы и ускоряет расчеты при модифицировании 3D-моделей.

Для узлов, в которых некоторые объекты являются полным или лишь частичным зеркальным отражением других, C3D Solver может предложить новый тип геометрического ограничителя в 3D-моделировании - зеркальная симметрия. Зеркальная симметрия может быть применена к любому геометрическому объекту, например, к кривым на фасках (рисунки 1) [1].



Рисунок 1 – Зеркальная симметрия кривой на стенках отверстия

В 16-ой версии C3D увеличено количество функций, используемых при построении шлицевых соединений с заданными параметрами (рисунок 2) [1].

Они включают в себя:

- новую функцию перетаскивания;
- обновлённую интерполированную сплайн-функцию с любым типом ограничения;
- новую функцию распознавания различных типов конических сечений, определенных в виде кривых NURBS;
- новое ограничение для определения конфигурации кривой через точки с фиксированными координатами, а также через векторы 1-й, 2-й и 3-й производных в точках с заданными параметрами.

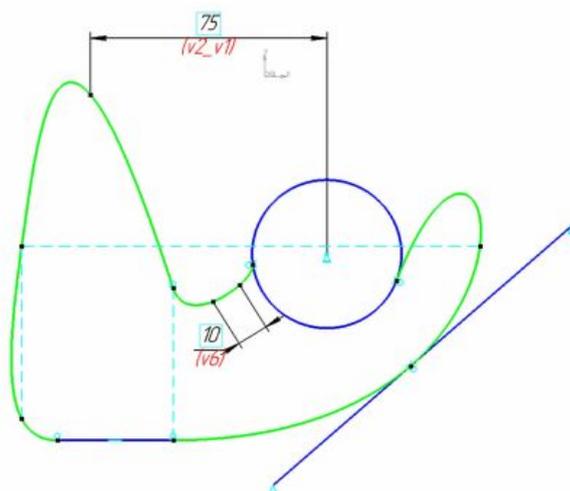


Рисунок 2 – Построение шлицевого соединения

### Улучшения C3D Modeler

Основные улучшения затронули Моделировщик. Помимо улучшения старых (затронуты функции построения обечаек, например), были добавлены и новые, не менее важные. Среди них в C3D Modeler v16 наибольший интерес представляют следующие.

1. В кинематических операциях. Материалы из твёрдых веществ копируются в различных положениях (выравниваются) относительно направляющей линии (рисунок 3) [1].

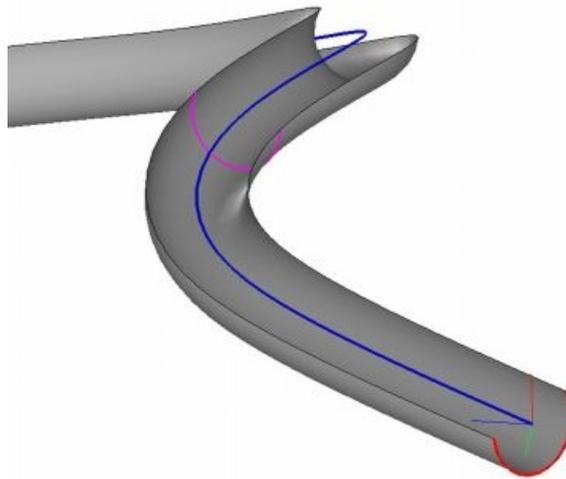


Рисунок 3 - Направляющий канал

2. Резьбу можно скорректировать в зависимости от исходного положения и длины отверстия, в котором она расположена. Это значительно сокращает время построения (рисунок 4) [1].

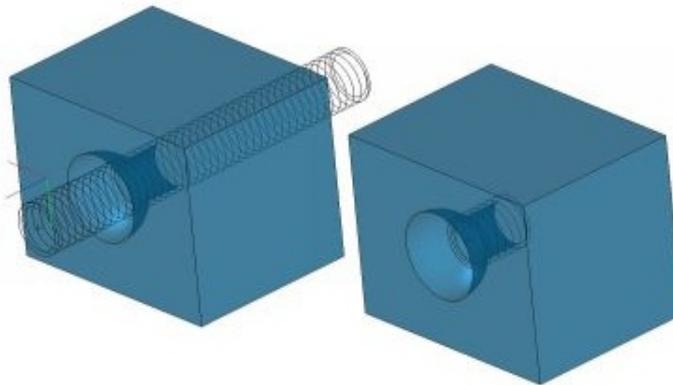


Рисунок 4 – Редактирование резьбы в отверстии

3. Построение обечаек по наброскам с нестандартными поверхностями теперь можно выполнить с помощью постоянного радиуса изгиба. Построение конических многоугольников по изгибам целых листов осуществляется через сегментацию опорной дуги (рисунок 5) [1]. *Сегментацией* называется процесс разбиения плоскостей на отдельные сегменты.

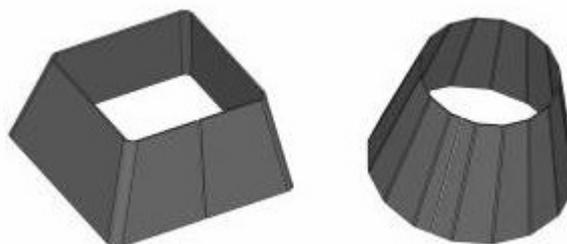


Рисунок 5 - Сегментация опорной дуги

4. Снятие фаски происходит более эффективно, так как была улучшена обработка данных по сравнению с предыдущими версиями ядра (рисунок 6) [1].

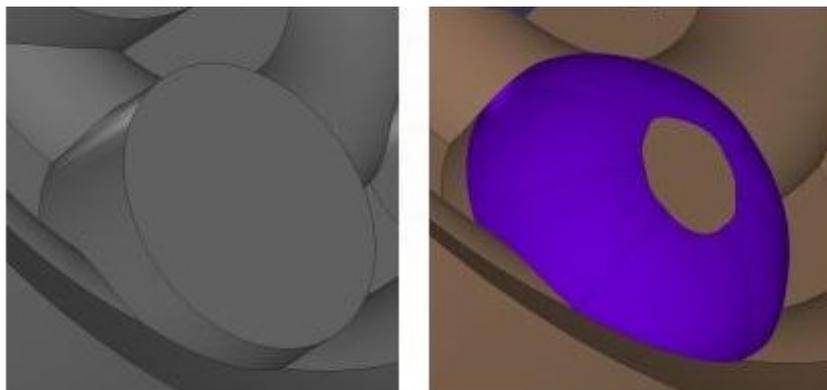


Рисунок 6 – Снятие фаски

5. Толщина поверхности может регулироваться благодаря отдельным (полярным) точкам (рисунок 7) [1].

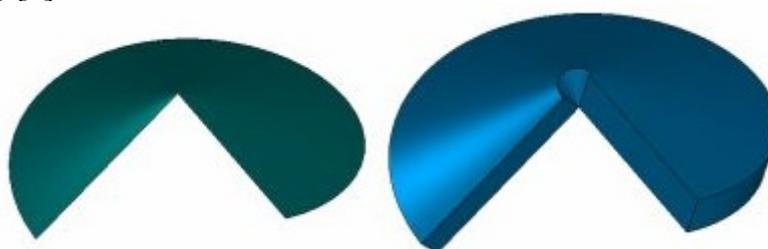


Рисунок 7 – Ручное регулирование толщин объекта

### **Заключение**

Обновленная версия C3D предоставила гораздо больший спектр возможностей, чем предшественник V15. По просьбам пользователей были добавлены такие полезные функции, как журнал для удалённой отладки ошибок; расширен функционал при моделировании твёрдых объектов любых форм и размеров.

### **Литература**

1. Официальный сайт C3D Geometrical Kernel - <http://c3dlabs.com/en/>.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕЕЗДАМИ

**Тишина Е. М., Хабрат М. Д.**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУЗ, Москва, Россия

## RAILWAY CROSSING AUTOMATED CONTROL SYSTEM

**Tishina E. M., Khabrat M. D.**  
BMSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматривается проблема длительного простоя транспорта на железнодорожных переездах. Подробно исследован существующий алгоритм управления переездом. Предложен усовершенствованный метод управления. В заключении рассмотрены преимущества нового метода.

### Abstract

This article describes the issue of transport stoppage on railway crossing. The existing control system algorithm is briefly described. An improved automated control system is given. In conclusion the advantages of new method are considered.

### Введение

Железные дороги и железнодорожные переезды – места повышенной опасности, оставить их полностью без человеческого контроля нельзя, поэтому сделать процесс закрытия и открытия железнодорожных переездов автоматическим небезопасно. Нужна именно автоматизированная система управления (АСУ), подчёркивается необходимость участия человека в отдельных операциях с целью сохранения контроля над процессом.

Традиционные методы построения систем управления и обеспечения безопасности транспортных пересечений исчерпали свои резервы, так как они функционируют, используя только информацию о состоянии рельсовых линий участка приближения. Длина участка приближения зависит от времени извещения и скорости движения поезда и может достигать 2000 метров и более, соответственно время ожидания автомобиля у закрытого шлагбаума занимает длительное время. [1-3].

Поэтому исследование и разработка усовершенствованной АСУ железнодорожными переездами – вопрос актуальный. Её разработка и исследование предполагают повышение безопасности, улучшение экологической обстановки, а также минимизацию времени простоя автотранспорта в зоне переездов и, как следствие, улучшение психологического состояния водителей автотранспорта.

## **1 Усовершенствованная автоматизированная система управления железнодорожными переездами**

В статье предлагается АСУ железнодорожными переездами, в которой будут задействованы современные информационные технологии.

Основные элементы системы (рис. 1.):

- центральный диспетчерский пункт (ЦДП) – компьютеризированный центр управления движением на направлении или большом количестве перегонов;
- локальные участки системы, которые обслуживают каждый отдельный переезд, либо железнодорожный перегон, нуждающийся в мониторинге, либо регулировке движения составов;
- система передачи данных между локальными участками и ЦДП;
- система подвижного состава (непосредственно на локомотиве устанавливается бортовой информационно-управляющий навигационный комплекс, в состав которого

входят: навигационный приемник (ГЛОНАСС, GPS), бортовой компьютер, диагностический блок, радиостанция, датчики и речевой информатор);  
 - дублирующая система (устройство определения координаты и скорости подвижного состава, которое работает по дискретному принципу).

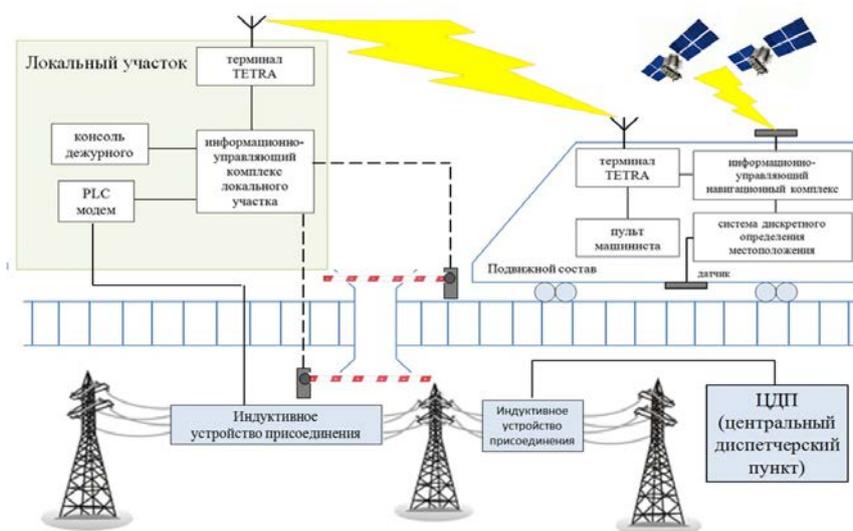


Рисунок 1 - Основные элементы системы

Алгоритм работы системы состоит в том, что оборудование, установленное непосредственно на подвижном составе, осуществляет непрерывное определение координат с помощью приёма сигнала от спутников ГЛОНАСС (и/или GPS). Также, параллельно с непрерывным определением координат и времени следования, используется дискретный метод, основанный на определении момента прохождения составом контрольных точек с заранее известными координатами, внесёнными в базу данных. Этот метод является дублёром непрерывного метода, так как он основан совершенно на других принципах работы, а это нужно для того, чтобы АСУ соответствовала повышенным требованиям надёжности.

Полученные данные, а также информация о самотестировании состава на предмет неисправности основных систем с помощью радиоканала передачи данных, основанного на стандарте TETRA, передаётся на локальный участок системы, оборудование которого установлено непосредственно на железнодорожном переезде или ином участке пути, нуждающемся в управлении движением (например, сортировочная станция и т.п.). Здесь осуществляется обработка полученной телеметрии и передача обработанной информации по линии электропередачи (ЛЭП) в ЦДП.

Окончательное решение о закрытии переезда принимается на основе верификации результатов контроля двух устройств: непрерывного и дискретного. Если значения скорости поезда, измеренные с помощью двух устройств, совпадают с погрешностью, не превышающей 10 %, то система управления переездной сигнализацией работает по усовершенствованному алгоритму. Если же различие измеренных скоростей больше 10 %, то система управления принимает решение о закрытии переезда сразу после вступления поезда на участок приближения, т.е. в этом случае работает старая система, основными элементами которой являются электрические рельсовые цепи.

## 2 Техническая реализация устройства дискретного контроля скорости и координат

Устройство дискретного контроля координаты и скорости подвижного состава можно создать за счет использования кластера из дискретных датчиков, например,

бесконтактных магнитных педалей, установленных на известном удалении от переезда  $x$  и с известным фиксированным расстоянием между ними (500 метров). По времени реакции датчиков на прохождение над ними колеса вагона можно определить координату  $x$ , скорость движения состава и его ускорение. Наиболее просто измерение скорости реализуется при использовании кластера из двух датчиков, установленных на фиксированном расстоянии  $h$  друг от друга. При этом скорость движения состава:

$$V = \frac{h}{T_x}, \quad (1)$$

где  $T_x$  – время последовательного прохождения состава над датчиками. Изменение скорости:

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (2)$$

за некоторый промежуток времени  $\Delta t$  определит ускорение:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3)$$

На основе полученных значений  $V$  и  $a$  создается модель движения состава и рассчитывается момент принятия решения о включении звуковой сигнализации, запрещающего светофора, закрытии шлагбаума.

### 3 Техническая реализация устройства непрерывного контроля скорости и координат

Данные, получаемые навигационным приёмником (с помощью GPS или ГЛОНАСС), обрабатываются бортовым компьютером. Затем их нужно передать на локальный участок, где принимается решение о закрытии переезда, а уже с этого участка произвести трансляцию данных в ЦДП.

Для передачи необходимых данных на локальный участок можно использовать стандарт радиосвязи TETRA. Пакет с данными, передаваемый от состава должен содержать следующие основные сведения о поезде: номер маршрута, местоположение состава, оценка состояния бортового оборудования и состояния машинистов, параметры движения. Общий объем такой информации не превышает 125 бит на один состав. То есть пропускной способности в 7 Кбит/с для системы достаточно. Стандарт TETRA выбран, так как он имеет ряд преимуществ по сравнению с другими стандартами (GSM-R или CDMAone) [4]. TETRA удовлетворяет всем предъявляемым требованиям: высокая вероятность успешной передачи, достаточная скорость передачи информации, быстрая установка соединения, высокая максимально допустимая скорость подвижного абонента при сохранении качества обслуживания. Не менее важно то, что такая связь имеет высокую степень защиты и обладает высокой помехоустойчивостью.

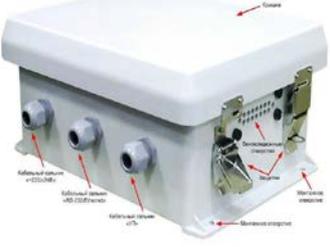
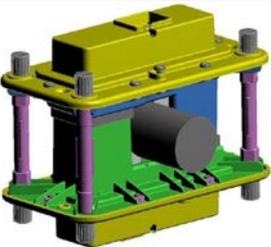
Для последующей передачи данных с переезда в ЦДП можно использовать различные способы передачи данных, но выгоднее и удобнее всего будет использовать существующие воздушные ЛЭП. Следует это из того, что требования к скорости канала не высоки и этот метод не предполагает глобальных затрат на установку нового оборудования, что удовлетворяет целям данной работы.

Связь через ЛЭП включает в себя:

- Broadband over Power Lines — широкополосная передача через линии электропередачи, которая обеспечивает передачу данных со скоростью более 1 Мбит/с, но на маленькое расстояние;
- Narrowband over Power — узкополосная передача через линии электропередачи со значительно меньшими скоростями передачи данных, но на большую дальность.

Данные нужно передавать на значительное расстояние, поэтому следует воспользоваться узкополосной передачей. Рассмотрим оборудование узкополосного доступа, которое можно использовать (табл. 1) [5]:

Таблица 1 - Оборудование узкополосного доступа

Название	Краткое описание	Изображение
PLC модем TL-100MV	Магистральный модем для передачи данных телеметрии. Скорость передачи данных: 270 кбит/с, полезная – 115 кбит/с. Дальность (средняя): 10 – 100 км. Интерфейс: RS232, RS 485, Ethernet. Режимы: ведущий, ведомый, ретранслятор.	
УП-і-500NB Индуктивное Устройство присоединения	Номинальное напряжение: 10 кВ -35 кВ Полоса пропускания: 10 кГц – 550 кГц Температура: от -40 до +60 °С Габаритные размеры: 100×50×100 мм Масса: 1,5 кг	

### Заключение

Разработана эффективная АСУ железнодорожными переездами, которая, в отличие от устаревшей системы управления, использует координаты поезда, его скорость для определения того, в какой момент времени переезд должен быть закрыт, а в какой открыт. Время закрытого состояния переезда сократится, а следовательно, произойдёт увеличение пропускной способности переезда. Например при прохождении участка с переездом скоростным поездом «Сапсан», нет необходимости закрывать переезд перед прохождением этого состава на длительное время, что происходит сейчас, так как существующая автоматика не реагирует на прохождение участков скоростными поездами.

Полученная система обладает высокой надёжностью, т. к. все основные процессы дублируются и при этом используются совершенно разные, высокотехнологичные и современные методы и технологии.

### Литература

1. Электрические рельсовые цепи. Режим доступа: <http://72-26-226-178.meganetserve.net/spravka/railcircuits.html> (Дата обращения: 12.02.2015).
2. Устройства СЦБ на перегонах. Режим доступа: [http://scbist.com/zheldor/okzd/okzd\\_17.html](http://scbist.com/zheldor/okzd/okzd_17.html) (Дата обращения: 12.02.2015).
3. Калинин В.К., Сологуб Н.К., Казаков А.А. Общий курс железных дорог. М.: Высшая Школа, 1986, 70 с.
4. Цифровые стандарты радиосвязи в свете требований информационных технологий железнодорожного транспорта Режим доступа: <http://www.rit.informost.ru/rit/4-2002/45.pdf> (Дата обращения: 14.02.2015).
5. Оборудование узкополосного доступа [http://www.tellink.ru/files/cat/catalog\\_uzpd.pdf](http://www.tellink.ru/files/cat/catalog_uzpd.pdf) (Дата обращения: 14.02.2015).

# ИНТЕРФЕЙС ИМИТИРУЮЩЕГО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ

**Ванройе Н.К.**

*Научный руководитель: Юдин А.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

## INTERFACE OF SIMULATING REMOTE CONTROL WHEELED MOBILE ROBOT

**Vanroye N.K.**

*Supervisor: Yudin A.V.*

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Разработанная система позволяет по-иному взглянуть на проблему дистанционного управления мобильных роботизированных систем и, в частности, колесных шасси роботов. За счет такого решения существенно повышается удобство управления. В более широком смысле это интерфейс имитирующего управления, который позволяет говорить об эргономичном способе передачи команд от человека к машине. Рассматриваемый комплекс состоит из устройства имитирующего управления и объекта управления в виде мобильного колесного робота. Помимо описания принципов работы комплекса приводится необходимый алгоритм калибровки устройства имитирующего управления. Проект имеет широкие перспективы развития и может найти широкое применение в робототехнике, космонавтике и картографии.

### **Abstract**

The developed system allows us to take a fresh look at the task of remote control of mobile robotic systems and in particular wheeled robots. Through this solution significantly increases ease of control. In a broader meaning, this is interface allows us to talk about ergonomic method of transmitting commands from man to machine. This system consists of a device of simulating control and the managed object in the form of a mobile wheeled robot. Apart from description working principles provided calibration algorithm of device simulating control. The project has broad prospects for development and can be widely used in robotics, aerospace and cartography.

### **Введение**

Механика как наука развивается с незапамятных времен. Наши знания о законах движения материальных объектов позволяют уже много лет строить надежные инженерные механические системы. Знания об электронике помоложе, но сегодня они помогают осуществлять все более амбициозные проекты, совмещающие в себе надежность механики и устремленную в бесконечность скорость работы электроники. Симбиоз научных технических знаний позволяет создавать устройства копирующие природу и ее процессы со все большей точностью. Одним из интереснейших обобщающих направлений подобного рода является робототехника. На «атомарном» же уровне робототехника невозможна без мехатроники – области науки и техники, изучающей сочетание механики с электроникой и программированием (или иначе – поведением).

Процесс разработки достаточно простой и максимально адаптированной для интуитивного понимания модели управления мобильным роботом является интересной и актуальной задачей не только с точки зрения обучения студентов, но и с точки зрения современной промышленности и науки. По мере развития технологий расширяется круг решаемых задач и проблем, и решение каждой из них усложняется сферой их применения и условиями эксплуатации устройств.

Из года в год все больше в деятельность человека внедряются дистанционно управляемые роботизированные устройства. Примером таких устройств могут служить телеуправляемые роботы, выполняющие задачи, опасные для человека - работы по ликвидации последствий экологических бедствий и техногенных катастроф. С помощью робота нужно создать эффект присутствия человека в месте работы и полностью обеспечить

его информацией о среде, окружающей робота. В любом случае, от робота требуется повышенная точность движений и удобство его управления.

Управление шасси робота пультом дистанционного управления не всегда является удобным, а «привыкание» к пульту для неподготовленного человека занимает довольно длительное время, причем не всегда этот процесс заканчивается успешно: в ходе обучения пользователь может повредить управляемое устройство об окружающие его объекты.

Данная статья описывает работу, целью которой автор видит создание и описание оригинальной системы дистанционного управления мобильным колесным роботом, эргономика которой позволит упростить освоение управления оператором и сделает этот процесс более наглядным и естественным.

Задачи проекта:

- разработка принципиально иного технического решения, которое значительно бы повысило удобство управления шасси колесного робота и дало бы возможность повысить точность управления им;
- сравнение нового технического решения с применяемыми системами управления в настоящее время;
- определение перспектив развития разработки и его областей применения.
- экспериментальный расчет и полевые испытания;
- возможность использования системы в образовательной среде и создание учебных материалов.

Работа выполнена при поддержке лаборатории цифрового производства ФабЛаб при НИТУ МИСиС, центра технологической поддержки образования Департамента образования г.Москвы.

## **1 Структурная схема системы управления шасси**

Рассмотрим оригинальную систему управления движением шасси мобильного колесного робота. Как было указано выше, подобная система – это своего рода «пульт» управления, который передает сигналы действий от человека к роботу. Отличительной особенностью представляемой системы является эргономика и способ ввода подобных команд человеком. При этом важно отметить, что объектом управления может выступать любое мобильное колесное устройство, включая и те, которые не разрабатывались автором. Поэтому речь идет скорее не о конкретных конструктивных особенностях инженерных решений, представленных далее, а об интерфейсе управления, который может быть обобщен для целого ряда подобных устройств и объектов.

Структура системы управления представляет собой два сложных блока: шасси - мобильный колесный робот (МКР) и «пульт» - устройство имитирующего управления (УИУ). Блоки объединены между собой радиомодулями, с помощью которых информация с пульта передается на шасси (рис.1).

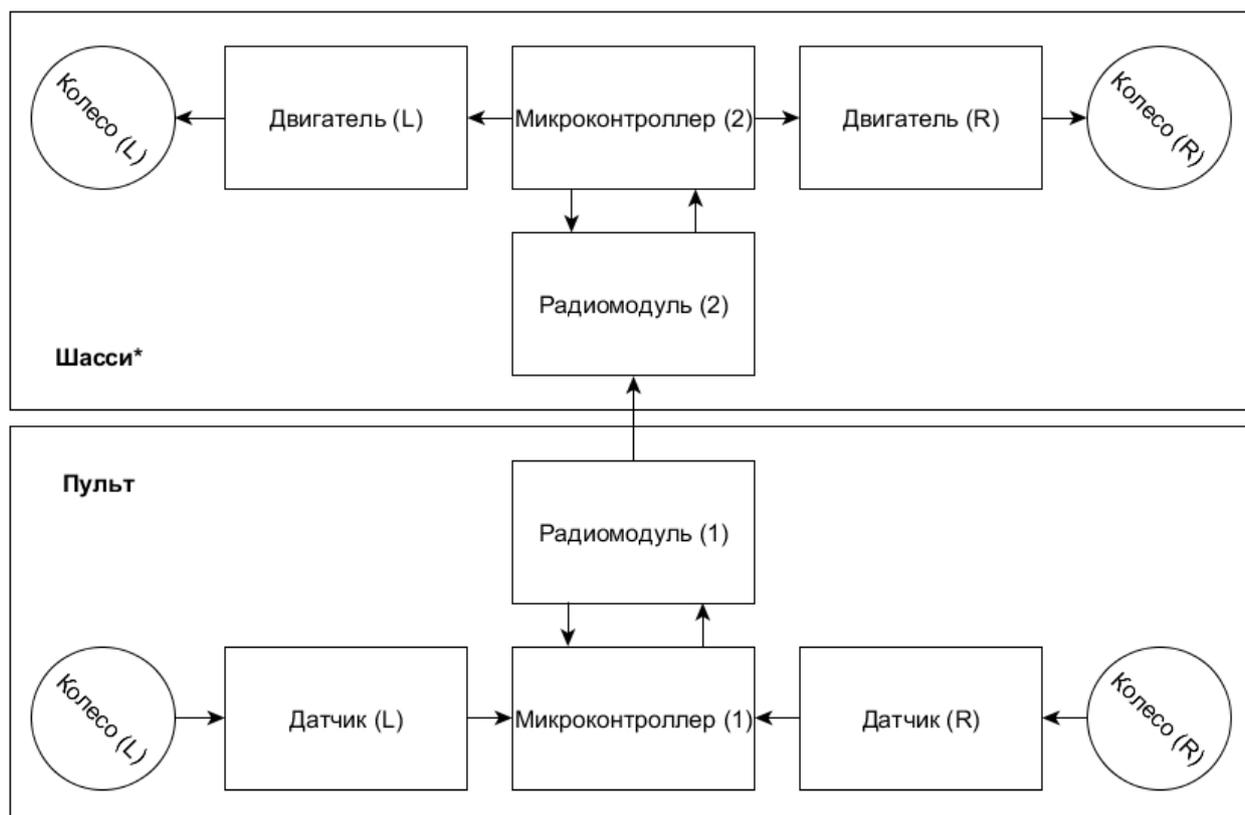


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления шасси

\*На структурной схеме (рис.1) условно показаны основные узлы, необходимые для работы устройства. Прочие элементы не показаны, т.к. могут быть различны

Имеется система из двух двухколесных шасси: МКР и УИУ. При передвижении УИУ в горизонтальной плоскости, в движение приводится МКР. Таким образом, УИУ в данной системе играет роль пульта дистанционного управления.

На начальном этапе устройство УИУ состоит из двух датчиков-энкодеров (по одному на каждое колесо), микроконтроллера, передатчика и блока питания. МКР содержит приемник, микроконтроллер, двигатели и, также, блок питания. При изменении положения колес УИУ датчик, засекая обороты и преобразуя их в электронные импульсы, посылает данные на микроконтроллер, где вычисляется количество, скорость и направление вращения колес. Обмен данными между двумя шасси осуществляется по радиомодулям, установленным на МКР и УИУ. Получив информацию от УИУ, МКР преобразует ее в электрические сигналы, управляющие приводом.

Питание на УИУ непрерывно подается на микроконтроллер и датчики, на МКР – на микроконтроллер и двигатели. Напряжение питания на УИУ составляет 5V.

Информация о скорости, количестве оборотов и направлении вращения колес передается с УИУ на МКР через радиомодуль X-Bee, передающему ее с использованием протокола ZigBee. Это стандарт беспроводной передачи данных, ориентированный на экономию электроэнергии и большую защищенность канала при меньшей скорости.

\*На структурной схеме (рис.1) условно показаны основные узлы, необходимые для работы устройства. Прочие элементы не показаны, т. к. могут быть различны.

Вращение колес распознают два инкрементных фотоимпульсных датчика-энкодера HEDS-5540. Принцип работы таких энкодеров — цифровой. Свет проходит от группы светодиодов к группе фотодиодов через прозрачный диск с нанесенными метками, причем одинаковые метки равномерно распределены по всему радиусу диска. При вращении диска, механически связанного с приводным валом, каждое прохождение метки через

светодиодную пару генерирует импульс. Эти импульсы в дальнейшем обрабатываются с помощью микроконтроллера.

## 2 Алгоритм работы системы управления шасси

Состояния комплекса УИУ – МКР описываются машиной состояний, представленной на рис.2.



Рисунок 2 – Машина состояний комплекса

1. После включения электропитания комплекс находится в режиме ожидания.
2. При ручном перемещении УИУ начинается непрерывный процесс адаптации и передачи информации о вращении колес УИУ на МКР.
3. По окончании перемещения УИУ комплекс УИУ – МКР переходит в режим ожидания.

На рис.3 представлен алгоритм работы УИУ.



Рисунок 3 – Алгоритм работы системы управления шасси

Программно алгоритм (рис.3) реализован в среде разработки Arduino. Язык программирования устройств Arduino основан на языке C. Он прост в освоении, и на данный момент применение среды разработки Arduino — это один из самых удобных способов программирования микроконтроллеров в условиях прототипирования электронного устройства.

Работа программы идет постоянно после включения устройства, а в моменты остановки УИУ устройство находится в режиме ожидания.

Операцию преобразования импульсов с датчиков (вычисления количества, скорости и направления оборотов колес робота-пульта) производит микроконтроллер ATmega32u4, встроенный в аппаратную платформу Arduino Leonardo.

УИУ выполняет роль передатчика информации о параметрах вращения (скорость, направление) своих же колес МКР. При этом включение модуля X-Bee и постоянная передача параметров происходит одновременно с началом движения УИУ. В течение работы программы происходит постоянная проверка наличия импульсов с датчиков, подтверждающих вращение колес, что дает возможность передачи их МКР. Программ переходит в режим ожидания при остановке УИУ и, следовательно, при прекращении получения импульсов с датчика.

### 3 Устройство пульта в сборе

На рисунке 4 представлено разработанное УИУ системы управления колесным шасси МКР.

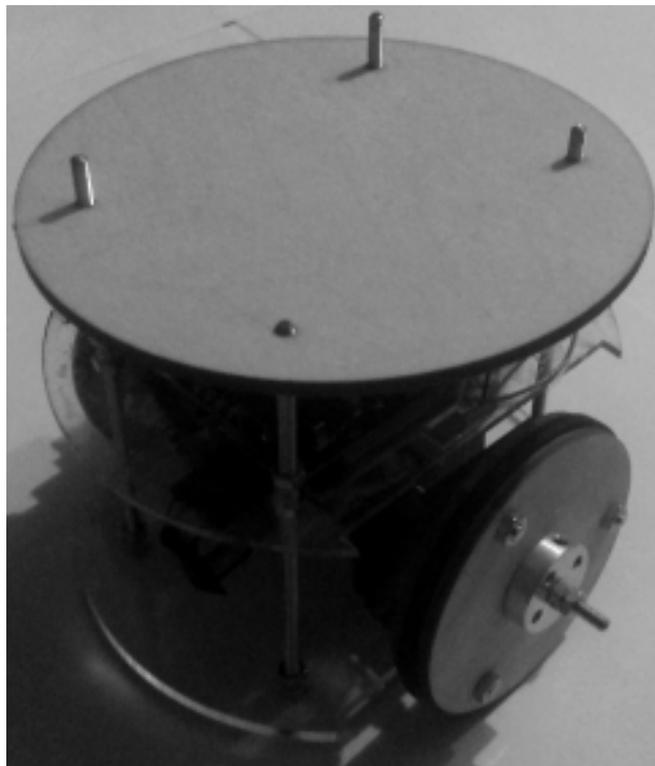


Рисунок 4 – УИУ в сборе

УИУ представляет собой двухколесное шасси, корпус которого представляет собой стеллаж с двумя ярусами из оргстекла с установленными на них устройствами, объединенных шинами.

На первом ярусе установлены датчики-энкодеры, на валы которых смонтированы сборные колеса диаметром 60 мм, и блок питания напряжением в 5V.

На втором ярусе расположена аппаратная платформа Arduino Leonardo с установленным на нее модулем X-Bee.

### 4 Калибровка системы при неизвестных диаметрах колес УИУ и данном проходимом ими расстоянием

При сборке УИУ возможно отличие диаметров правого и левого колес в силу ошибок сборки и отклонения размеров, вследствие объективных причин производственного процесса.

Пройденное расстояние, а следовательно, и количество импульсов, полученных от датчиков-энкодеров, зависит от диаметров установленных на них колес. Незаметное глазу несоответствие может повлиять на результат – движение МКР.

Допустим, УИУ перемещено в горизонтальной плоскости (без проскальзывания) на расстояние  $s = 400 \text{ mm}$  (рис.5), а с каждого датчика получено  $n = 135$  сигналов, причем за один полный оборот колеса датчик выдает  $i = 64$  сигнала. Тогда колесом совершено:

$$k = \frac{n}{i} = \frac{135}{64} \approx 2,1 \text{ оборота}$$

Расстояние, пройденное колесом:

$$l = \pi dk$$

Тогда диаметр колеса составляет:

$$d = \frac{l}{\pi k} = \frac{400}{3,14 * 2,1} \approx 60,63 \text{ mm}$$

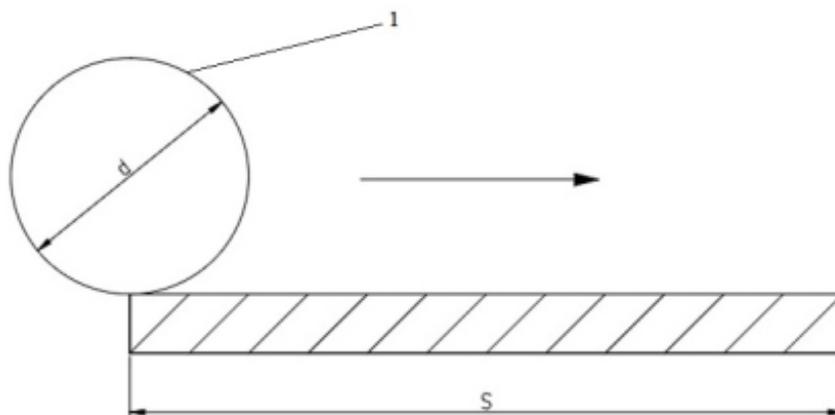


Рисунок 5 – схема калибровки (1 – колесо УИУ)

Таким образом, производится расчет наиболее эффективного диаметра колес, установленных на УИУ. Полученные данные сохраняются в постоянную память УИУ и хранятся до тех пор, пока не возникнет необходимость сменить колеса.

Результат проделанной работы предполагается развивать до уровня, необходимого для решения задачи дистанционного управления роботом в условиях соревнований «Евробот. Junior». Стоит отметить, что предложенный способ управления роботом удобен при перемещении робота в ограниченном пространстве с множеством препятствий, где вероятность ошибки при управлении роботом должна сводиться к нулю, а скорость прохождения заданий должна быть максимальной. Такое «аналоговое» управление шасси заметно упростит навигацию робота в игровом поле.

Автор видит потенциал для применения описанного интерфейса устройства при построении маршрутов движения самоходных колесных роботов. Традиционная область, в которой есть спрос на подобное телеуправление – космос. Например, если имеется 3D-макет местности, где должен передвигаться робот, то, перемещая уменьшенную его копию по макету, можно наглядно сформировать наиболее рациональный маршрут движения самоходного робота.

## **Заключение**

В результате проделанной работы была разработана, собрана и отлажена система дистанционного управления двухколесным шасси мобильного колесного робота; разработан алгоритм передачи параметров вращения колес с УИУ на МКР.

Полученный результат предполагает применение в условиях любительских робототехнических соревнований как техническое решение задачи дистанционного управления шасси робота для улучшения характеристик робота, принимающего участие в таких соревнованиях, как Eurobot.

Проведение экспериментов позволяет оценить качество системы, ее параметры, а также ставит ряд прикладных задач, которые можно решать с помощью разработанной системы, а именно: построение маршрута передвижения шасси колесного робота и его дальнейшая навигация на местности.

В данной работе была представлена упрощенная модель, иллюстрирующая наглядно идею проекта – разработку интерфейса имитирующего дистанционного управления. В конечном итоге в качестве подвижных элементов управления могут быть разного манипуляторы, колеса и т.д. В дальнейшем планируется совершенствование УИУ в сторону повышения точности фиксирования передвижения его узлов. Развитием комплекса УИУ – МКР является создание робота удаленного присутствия, способного повторять команды с высокой точностью. Такой робот сможет, к примеру, выполнять сложные повторяющиеся операции, выполняемые оператором, но которые не под силу промышленному роботу.

## **Литература**

1. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева, Л.А.Зинченко, В.А.Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.:
2. Ванройе Н.К. Анализ механики поворота шасси мобильного колесного робота в целях организации его управления // Сборник научных трудов. 16-ая Молодежная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2014". - Москва. 23-24 апреля 2014 г. – С. 301-310
3. Чистяков М.Г. Расчет траектории мобильного робота в частной задаче перемещения объектов // Сборник научных трудов. 13-ая Молодежная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011". - Москва. 27-28 апреля 2011 г.- С.310-313.
4. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino – 2012

# АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Виноградов В.Е.**

*Научный руководитель: Арабов Д.И.*  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

## PARAMETRIC ANALYSIS OF MOBILE TRANSPORT

**Vinogradov V.E.**

*Supervisor: Arabov D.I.*  
BMSTU, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Работа посвящена анализу параметров современных мобильных транспортных средств. Описаны основные критерии оценки мобильных транспортных средств. Подобраны основные параметры, требуемые для характеристики мобильных транспортных средств. Особое внимание уделено оценке важности этих параметров по актуальности. В результате анализа были построены графики по параметрам и выбрано наиболее подходящее по всем критериям мобильное транспортное средство и даны рекомендации по его выбору.

### **Abstract**

This article is devoted to the parametric analysis of mobile transport. The main criteria of estimation the mobile transport are described. Necessary parameters for the characteristic of mobile transport are developed. Particular attention is paid to the estimation of these actual parameters. Diagrams of actuality of mobile transport are built and the most actual mobile transport is chosen. The recommendations of choice are provided.

### **Введение**

Работа посвящена анализу параметров современных мобильных транспортных средств. Выбор темы работы обоснован необходимостью детального анализа различных параметров изготавливаемых мобильных транспортных средств в связи с популярностью и доступностью этого вида транспорта. Объектом исследования являются мобильные транспортные системы.

Актуальность работы определяется тем, что при производстве мобильных транспортных средств параметры имеют широкий разброс. Поэтому каждая транспорт по отдельности имеет свой режим работы и возможности его применения, а также сложности в его эксплуатации. Это обуславливает актуальность задачи разработки специализированных мобильных транспортных средств, подходящих под условия требуемых задач.

Для анализа выбранных транспортных средств требуется углублённый анализ режимов работы мобильных транспортных средств, а также условий их эксплуатации. Тактовая диаграмма задается программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС), согласно карте режимов задаются различные уровни тактовых сигналов, что реализуется с помощью стабилизаторов, двухуровневых драйверов и цифрового изолятора. Универсальность стенда для измерения параметров ФПЗС заключается в возможности регулировки уровней сигналов.

Целью работы является выбор наиболее оптимального мобильного транспортного средства из всего доступного ассортимента мобильных транспортных средств.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

- составление списка критериев для оценки мобильности транспортных средств
- оценка этих критериев на основе наиболее актуальных задач
- анализ доступных мобильных транспортных средств на рынке
- построение диаграмм распространённости для косвенного анализа спроса
- выделение наиболее важных параметров и выбор оптимального транспортного средства

Результатом работы является выбор наиболее оптимального мобильного транспортного средства на основе указанных далее критериев.

### **1 Перечень основных критериев для оценки МТС**

Ими следует руководствоваться при выборе подходящего объекта для исследования, разработки или улучшения. Ниже приведены подробности каждого критерия, и важность их в целом. Основные критерии для оценки МТС:

- Быстродействие ТС;
- Физическое воздействие;
- Мобильность ТС;
- Стоимость ТС;
- Сложность структуры ТС.

Быстродействие ТС, как совокупный критерий, включает в себя возможность быстро разогнаться, поддерживать требуемую скорость, также способность преодолевать препятствия без большой потери времени и временные затраты на подготовку/сборку транспортного средства.

Физическое воздействие, или поддержание физической формы, критерий, который обусловлен влиянием транспортного средства на мышечную систему человека, определяющее показатель активности организма во время использования этого транспортного средства.

Мобильность ТС, или критерий, в который входят физические размеры транспортного средства, его возможность уменьшать собственные размеры, а также его вес, который определяет возможность переноса человеком.

Стоимость ТС, это критерий, зависящий от полной стоимости изделия, которая включает в себя стоимость всех его компонентов, стоимость сборки и стоимость обслуживания (в случае возможности и/или необходимости) этого транспортного средства.

Сложность структуры ТС, это критерий, определяющий соответствие структуры изделия общеизвестным представлениям о транспортном средстве, который влияет на сложность сборки, поиска деталей и непосредственном обслуживании транспортного средства, а также ремонта при возможной поломке.

Эксплуатационная сложность вполне подходит под этот критерий и её необходимо включить.

Скоростными параметрами мобильного транспортного средства в первую очередь являются: время разгона (мс), максимальная скорость движения (м/с), время упаковки/распаковки изделия (с).

Физическими параметрами транспортного средства являются: коэффициент нагрузки по отношению к пешему передвижению (%), процентное отношение задействованных мышц (%), удобство при продолжительном передвижении при помощи данного транспортного средства: оценивается в среднем времени, которое человек может использовать его без перерыва (с)

Мобильными параметрами транспортного средства являются: объём (л), максимальное из трёх измерений (см), минимальное из трёх измерений (см), масса (кг) и возможность переноса транспортного средства по шкале до 10 (шар = 1, палка = 10)

Стоимостными параметрами транспортного средства являются: цена (руб), стоимость обслуживания в год (руб), включает в себя постоянные расходы и переменные.

Параметрами сложности транспортного средства являются: сложность устройства, выражается в количестве съёмных деталей (число), сложность доступа к внутренним областям устройства по шкале до 10 (1 = полый шар, 10 = обруч), ремонтоспособность: время на разбор ТС (мин) и количество требуемых инструментов (число).

Все вышеперечисленные параметры являются аналитическими и следует оценить по ним соответствие транспортного средства требуемому критерию и выделить наиболее значимых из них. С помощью оптимизации по нескольким критериям можно отфильтровать

из списка выбранных транспортных средств наименее интересные с точки зрения определённых критериев и оставить наиболее значительные.



Рисунок 1 – Представление критериев оценки МТС в виде карты

Поскольку каждая из этих категорий делится на многие и многие подвиды, то множество разных моделей действительно огромно. Показаны только основные критерии различия, но их вполне достаточно, чтобы обоснованно проанализировать достаточно большое количество существующих в наше время мобильных транспортных средств.



Рисунок 2 – Представление видов МТС в виде карты

Разновидности мобильных транспортных средств:

- мобильные транспортные средства без двигателя;
- скейтборды (доски на колёсах);
- роликовые коньки (ботинки на колёсах);
- самокаты (с рулём для управления);
- мобильные транспортные средства с двигателем;
- мотоборды;
- электросамокаты;
- электроролики.

## 2 Аналитическая часть

В этой части были проанализированы все основные группы МТС, и разобраны по критериям, которые были указаны выше.

Далее даны две таблицы, которые показывают результаты анализа, который был проведён по отношению к этим МТС. Таблица заполнена показателями от 1 до 10, где 10 — это высший (наилучший) балл для данного мобильного транспортного средства. Баллы назначаются на основе вышеописанной техники оценки критериев. В качестве конкретного балла означает совокупный, с учётом всех признаков критерия.

По суммарному баллу определяется наиболее практически оптимальное ТС.

Таблица 1 - МТС без двигателя (внешних воздействий)

МТС	Скорость	Физика	Мобильность	Сложность	Цена
Велосипед	10	10	4	3	5
Самокат	7	7	9	8	9
Доска	7	6	10	9	10
Ролики	8	4	8	6	8

Таблица 2 - МТС с двигателем (электро-механический привод)

МТС	Скорость	Физика	Мобильность	Сложность	Цена
Э\Велосипед	10	10	4	3	4
Сигвей	8	7	6	5	2
Мотодоска	6	4	8	7	6

Далее приводятся два варианта выборки — одна с суммированием показателей (баллов) и другая с умножением. Какая из них предпочтительнее, проанализируем дальше.

Таблица 3 - Распределение МТС по баллам

МТС	Сумма баллов	Произведение баллов
Доска	42	37800
Самокат	40	31752
Ролики	34	12288
Мотодоска	31	8064
Велосипед	32	6000
Электровелосипед	31	4800
Сигвей (Мотосамокат)	28	3360

Таблица выше отсортирована по уменьшению произведения. Для наглядности график суммы (он красный) умножен на число, чтобы всё было в одном масштабе.

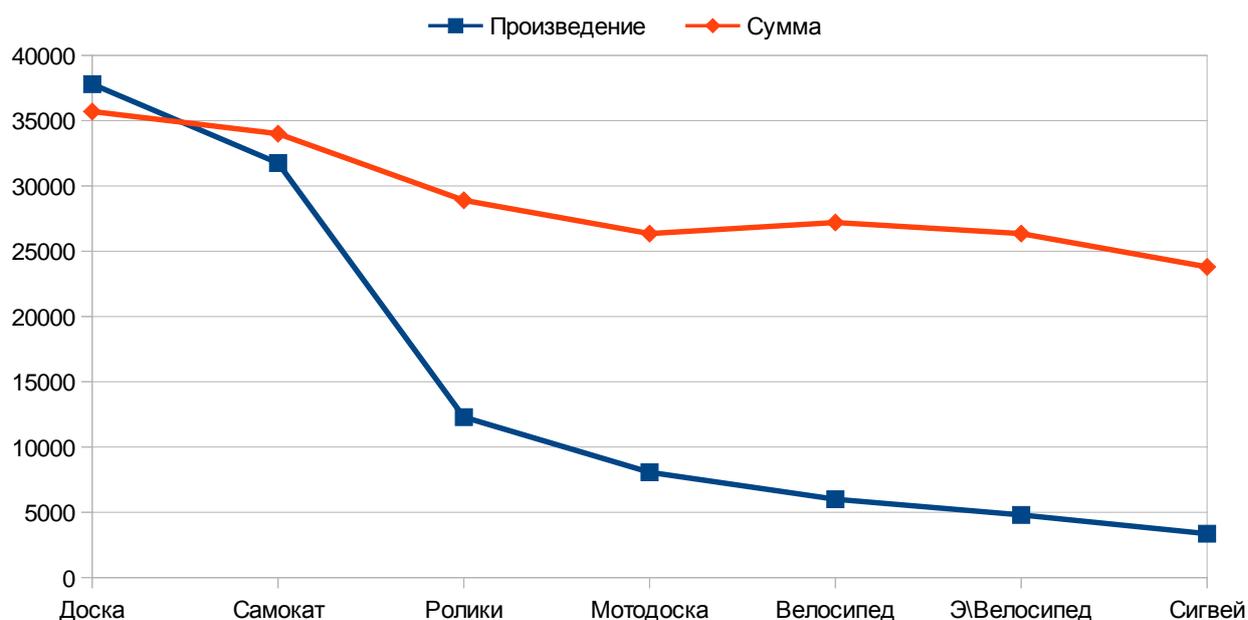


Рисунок 3 — распределение различных МТС на рынке

То есть, получается, что графики не сильно отличаются по убыванию, только велосипед в первом случае отстаёт от мотодоски по производству, а по суммарному критерию он немного выше.

Также ниже приведена диаграмма распространения МТС на рынке, чтобы показать, насколько востребованы те или иные транспортные средства на рынке. Анализ был проведён по результатам исследования рынка сайта Яндекс.Маркет.

В качестве примера для сравнения в количественном отношении приведу цифру для велосипедов — 35 тысяч моделей.

## Литература

1. Сервис просмотра рыночных цен Яндекс.Маркет. <http://market.yandex.ru/>

# УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Юлдашев М.Н.

*Научный руководитель: Юдин А.В.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## ULTRASONIC SYSTEM FOR DETERMINING THE SPATIAL POSITION OF THE MOBILE OBJECT

Yuldashev M.N.

*Supervisor: Yudin A.V.*

BMSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматриваются системы измерения пространственного положения мобильного робота. Поставлена задача анализа существующих систем навигации с целью построения надежной и дешевой системы с точностью, необходимой для корректного функционирования робота. Приведен геометрический расчет системы определения координат мобильного робота с параллельным режимом приема сигнала. Кратко представлено описание разрабатываемой системы, её преимущества и недостатки. В заключении указаны результаты проделанной работы.

### Abstract

The article deals with the measurement system of the spatial position of the mobile robot. The task was set to analyze existing navigation systems in order to build a reliable and low-cost system with the precision required for the correct functioning of the robot. Moreover, the article presents a geometric-mechanical calculation positioning system of a mobile robot with a parallel mode of signal reception. The system is briefly described, paying attention to its advantages and disadvantages. In conclusion, the results of this work are listed.

### Введение

В настоящее время мобильные роботы набирают все большую и большую популярность в различных направлениях, начиная от промышленных робототехнических систем и заканчивая роботами-пылесосами. Одной из основных проблем робототехники является самостоятельная навигация мобильных роботов в пространстве. Для того, чтобы робот был эффективен, он должен уметь строить оптимальные маршруты максимально быстро и точно, чтобы управлять параметрами своего движения (угол поворота, скорость вращения колес).

На данный момент разработано множество алгоритмов, отвечающих за построение оптимального маршрута, которые достаточно быстро и точно выполняют свою функцию [1]. При этом программист, реализующий данные алгоритмы, имеет точные координаты объекта, что в реальных условиях получить для робота весьма проблематично.

Для определения собственных координат робот использует ряд датчиков, которые позволяют ему ориентироваться в пространстве. В настоящее время принцип работы данной схемы представляет собой непрерывный цикл: «опрос датчика – получение данных – корректировка маршрута». При использовании данного принципа возникают технические сложности мобильной навигации:

1. Для построение оптимального маршрута роботу необходимо воссоздать максимально точный образ окружающего пространства.
2. При движении робот должен максимально точно управлять параметрами своего движения (угол поворота, скорость вращения колес) [2].
3. Робот должен знать свое действительное местоположение, которое почти всегда отличается от хранящегося в бортовой системе.

### 1 Системы навигации

В робототехнике выделяют три вида навигационных схем:

- *глобальная* – определение абсолютных координат устройства;

- *локальная* – определение координат устройства относительно базовой точке;
- *персональная* – позиционирование роботом частей своего тела и взаимодействие с близлежащими предметами, что актуально для устройств, снабженных манипуляторами.

Системы навигации классифицируются еще по одному признаку – они могут быть *пассивными* и *активными*. Пассивная система навигации подразумевает прием информации о собственных координатах и других характеристиках своего движения от внешних источников, а активная рассчитана на определение местоположения только своими силами. Как правило, все глобальные схемы навигации пассивные, локальные бывают и теми, и другими, а персональные схемы – всегда активные.

Простейшим вариантом навигационного устройства является *одометр*. Принцип работы одометра состоит в периодическом измерении скорости вращения колеса, и при известном его радиусе вычисляется пройденный путь. Но из-за ряда факторов, таких как неидеальная окружность колеса, прокручивание при движении, реальный пройденный путь отличается от рассчитанного, и данная ошибка постоянно накапливается.

В 50-е годы получила широкое распространение пассивная схема навигации по радиомаякам, а когда в 1957-м был запущен в космос советский "Спутник-1", сразу же был придуман простой способ измерения параметров его орбиты по изменению спектра передаваемого спутником сигнала. Эта идея легла в основу современных систем спутниковой навигации. Однако данную систему пока сложно использовать для навигации робота, т.к. она дает точность не более 10-15 м.

Аналогичная концепция для локальной системы навигации (при помощи ультразвуковых излучателей) заключается в размещении в зоне действий робота источников ультразвуковых сигналов, которые обрабатываются бортовым микропроцессором.

Также заслуживает внимания технология *Motion Capture* - метод анимации персонажей посредством захвата движений настоящих актеров. Суть метода заключается в том, что на актера одевается специальный костюм, входящий в комплект такой системы, к которому прикреплены пассивные датчики-маркеры (отражают только посланный на них свет, но сами не светятся). В таких системах свет (инфракрасное излучение) посылается на маркеры с установленных на камерах высокочастотных стробоскопов и, отразившись от маркеров, попадает обратно в объектив камеры, сообщая тем самым позицию маркера. Таким образом воссоздается 3D-модель актера. Данная технология получила широкое распространение в киноиндустрии. Однако использование данной технологии в навигации мобильных роботов пока не рентабельно из-за высокой стоимости оборудования, необходимого для реализации данной технологии.

Для построения образа пространства чаще всего применяется лазерный дальномер (ЛД) или ультразвуковой датчик (УД). При этом у каждой системы есть свои преимущества и недостатки. К примеру, при использовании ЛД можно получить информацию о среде только в зоне прямой видимости луча, а при использовании УД имеет место большая задержка по времени, что не позволяет двигать работу достаточно быстро. Также стоит отметить влияние температуры окружающей среды на полученные данные от УД [3]. При этом обе системы требуют существенных вычислительных мощностей микропроцессора.

Целью данной работы является анализ ультразвуковых систем определения 2D положения мобильного робота для того, чтобы спроектировать эффективное, дешевое и надежное решения для задачи навигации.

## **2 Физика ультразвуковой диагностики**

Ультразвуковое излучение — звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемым человеческим ухом (более 20 000 Гц). Для получения изображения в ультразвуковой диагностике используется ультразвук, излучаемый в виде коротких импульсов (импульсный). Он генерируется при приложении к пьезоэлементу коротких электрических импульсов.

При прохождении ультразвукового сигнала через любую среду наблюдаться уменьшение его амплитуды и интенсивности (затухание). Затухание ультразвукового сигнала вызывается поглощением, отражением и рассеиванием.

Для того, чтобы правильно рассчитать расстояние между излучателем и объектом, необходимо знать время прохождения сигнала. Расстояние равно  $1/2$  произведения скорости ультразвука в среде на время между излучением и приемом отраженного сигнала (рисунок 1). Произведение скорости на время делится пополам, так как ультразвук проходит двойной путь (от излучателя до отражателя и назад).

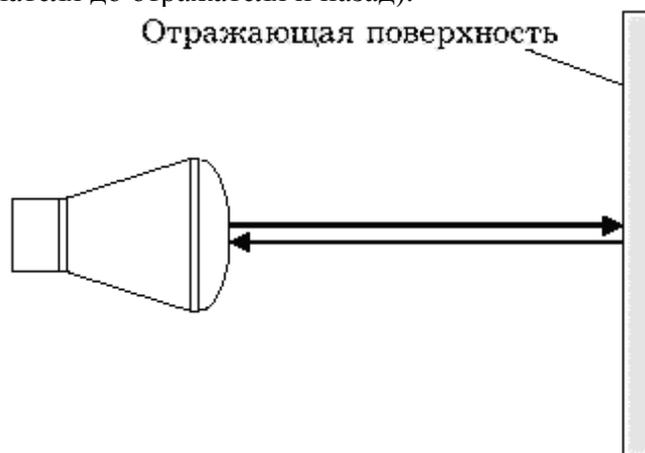


Рисунок 1 - Измерение расстояния с помощью ультразвука

При этом важно отметить, что реальная скорость ультразвука в среде зависит от температуры и может быть больше или меньше усредненной скорости, на которую запрограммировано устройство. Для того, чтобы избежать ошибок, необходимо обеспечить термокомпенсацию, которая будет корректировать значение, записанное в программе микропроцессора.

Биологическое действие ультразвука и его безопасность для живых существ постоянно обсуждается в литературе. Знания о биологическом воздействии ультразвука базируются на изучении механизмов воздействия ультразвука, изучении эффекта воздействия ультразвука на клеточные культуры, экспериментальных исследованиях на растениях, животных.

Ультразвук может вызывать биологическое действие путем механических и тепловых воздействий. Затухание ультразвукового сигнала происходит из-за поглощения, т.е. превращения энергии ультразвуковой волны в тепло. Учеными, занимающимися изучением воздействия ультразвука на живые организмы, было дано следующее заключение: "Никогда не сообщалось о подтвержденных биологических эффектах у пациентов или лиц, работающих на приборе, вызванных облучением ультразвуком, интенсивность которого типична для современных ультразвуковых диагностических установок".

### 3 Датчики ультразвукового излучения

Для получения ультразвука используются специальные преобразователи — трансдюсеры, которые превращают электрическую энергию в энергию ультразвука. Получение ультразвука базируется на обратном пьезоэлектрическом эффекте. Суть эффекта состоит в том, что если к определенным материалам (пьезоэлектрикам) приложить электрическое напряжение, то произойдет изменение их формы (рисунок 2).

При отсутствии электрического тока пьезоэлемент возвращается к исходной форме, а при изменении полярности вновь произойдет изменение формы, но уже в обратном направлении. Если к пьезоэлементу приложить быстропеременный ток, то элемент начнет с высокой частотой сжиматься и расширяться (т.е. колебаться), генерируя ультразвуковое поле. Рабочая частота трансдюсера (резонансная частота) определяется отношением скорости распространения ультразвука в пьезоэлементе к удвоенной толщине этого

пьезоэлемента. Детектирование отраженных сигналов базируется на прямом пьезоэлектрическом эффекте (рисунок 3).

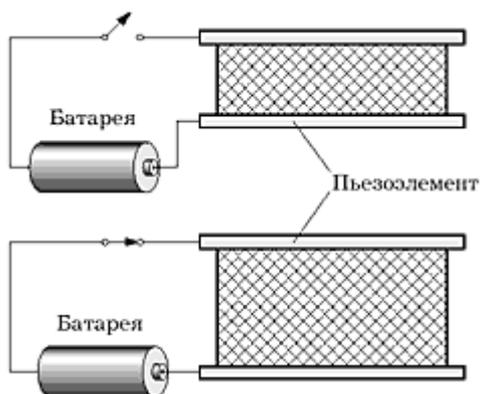


Рисунок 2 - Обратный пьезоэлектрический эффект

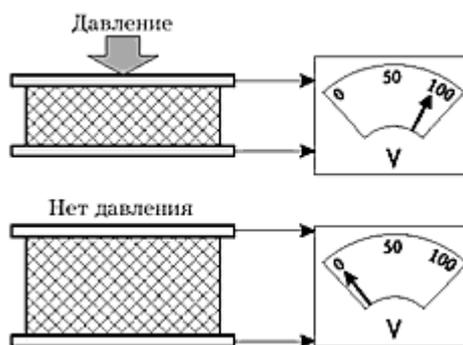


Рисунок 3 - Прямой пьезоэлектрический эффект

Возвращающиеся сигналы вызывают колебания пьезоэлемента и появление на его гранях переменного электрического тока. В этом случае пьезоэлемент функционирует как ультразвуковой датчик. Обычно в ультразвуковых приборах для излучения и приема ультразвука используются одни и те же элементы. Устройства ультразвуковых датчиков отличаются друг от друга в деталях, однако их принципиальная схема в общем случае имеет одинаковый вид (рисунок 3).

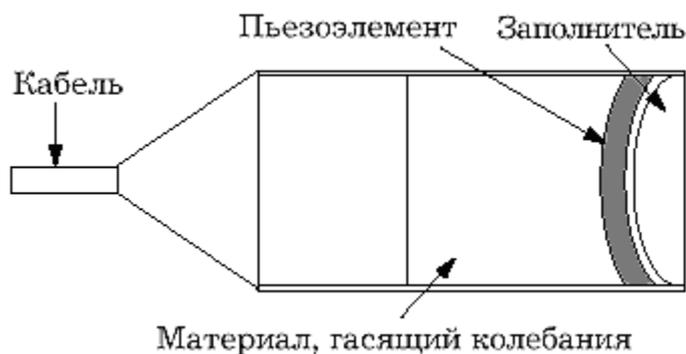


Рисунок 3 - Устройство ультразвукового датчика

#### Дальномер ультразвуковой HC-SR04

Принцип работы: модуль дальномера использует ультразвук для определения расстояния до объектов в области видимости датчика. Используемая схема позволяет работать на расстояниях до 4-х метров. В дальномере применены пьезоэлектрические датчики (прием – передача), диаграмма направленности которых приведена на рисунке 4. Сенсор излучает короткий ультразвуковой импульс на частоте 40кГц, который отражается от объекта и принимается сенсором. Расстояние рассчитывается исходя из времени до получения эха и скорости звука в воздухе [4].

Другими словами, сенсор получает сигнал эха, и выдаёт расстояние, которое кодируется длительностью электрического сигнала на выходе датчика. Временная диаграмма показана на рисунке 6.

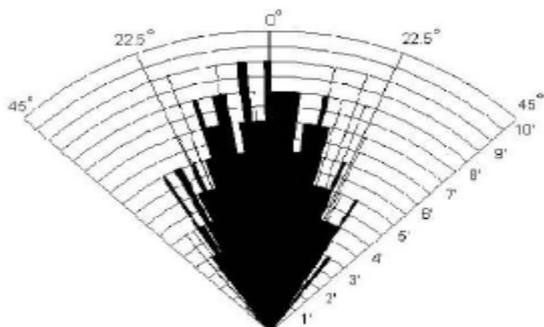


Рисунок 4 - Диаграмма направленности ультразвукового датчика HC-SR04



Рисунок 5 - Диаграмма направленности ультразвукового датчика HC-SR04

Точность датчика HC-SR04. По паспорту ультразвуковой дальномер HC-SR04 измеряет расстояние с разрешением  $\sim 3$  мм в диапазоне от 3 до 400 см. На результат измерения влияет угол расположения отражающей поверхности. Если поверхность расположена перпендикулярно пути распространения ультразвукового сигнала датчика, то результат измерения будет точнее.

Размер отражающей поверхности и ее структура также оказывают влияние на точность измерений. В случае, если мы имеем маленький объект, то скорее всего ультразвуковой сигнал не будет отражаться.

Также большое значение имеет точность измерения длительности эхо сигнала. Наилучший результат можно получить при высокой тактовой частоте микроконтроллера и таймера. И наконец, скорость распространения звуковых колебаний в воздухе зависит от его температуры. В датчике этот нюанс не просчитывается автоматически, что требует дополнительной электронной и программной реализации для большей точности измерения.

#### 4 Структурная схема предлагаемой системы навигации

В ходе анализа существующих систем навигации было предложено решение для задачи проектирования надежной и дешевой ультразвуковой системы определения положения подвижного объекта с точностью, необходимой для корректного функционирования робота.

Структурная схема предлагаемой системы представлена на рисунке 6.

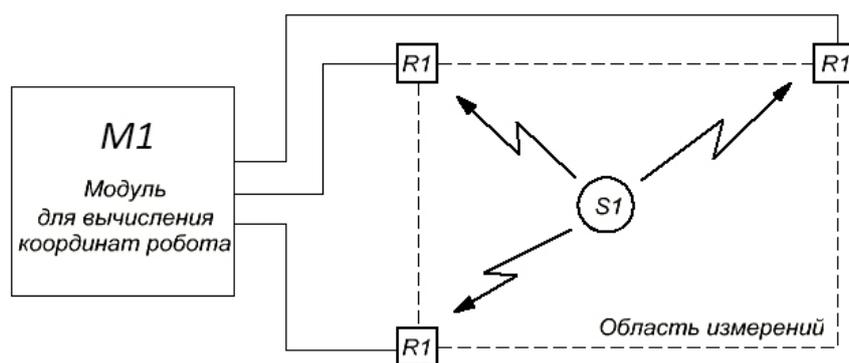


Рисунок 6 - Структурная схема системы определения положения робота

На структурной схеме представлены:

- R1, R2, R3 – ультразвуковые приемники-маяки, расположенные в углах области измерения;
- S1 – ультразвуковой передатчик, установленный на роботе;
- M1 - модуль для вычисления координат робота, к которому подключены маяки R1, R2, R3.

При функционировании данной системы можно выделить несколько определенных состояний, которые можно представить в виде машины состояний (рисунок 7).

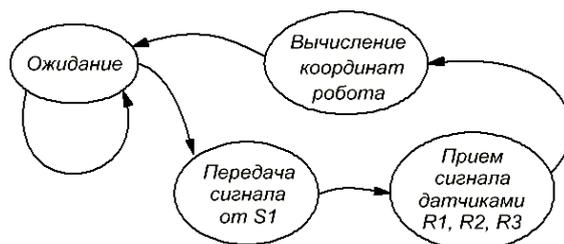


Рисунок 7 – Машина состояний системы определения положения робота

При включении система изначально находится в состоянии ожидания, затем в определенный момент времени S1 посылает ультразвуковой сигнал. После чего датчики R1, R2, R3 принимают сигнал от S1. В конечном состоянии модуль M1 для определения координат робота проводит вычисления и после система вновь переходит в режим ожидания.

### 5 Геометрический расчет системы определения координат мобильного робота с параллельным режимом приема сигнала.

Рассматривается система навигации (рисунок 8), в которой принимают участие один ультразвуковой излучатель, находящийся на мобильном роботе (точка O с координатами (x, y)) и три маяка-приемника (точки A, B, C). В идею данного метода положен эффект разности во времени прихода ультразвукового сигнала на каждый из маяков.

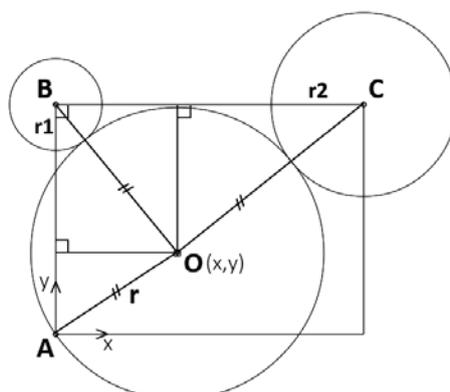


Рисунок 8 - Чертеж для геометрического расчета системы вычисления координат положения подвижного объекта с параллельным режимом приемом сигнала

В данном условии рассматривается ситуация, когда сигнал сначала пришел на маяк A, затем на остальные два с задержкой по времени. Окружности показывают совокупность точек сигнала в один момент времени. Необходимо найти значения координат т. O (x, y) из условия, что известны расстояния AB и BC,  $AB \perp BC$  и время задержки r1 и r2.

Запишем систему исходя из равенства r:

$$\begin{cases} \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{x^2 + (AB - y)^2} - r1 \\ \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(BC - x)^2 + (AB - y)^2} - r2 \end{cases} = \begin{cases} x^2 + y^2 + r1^2 + 2 \cdot r1 \sqrt{x^2 + y^2} = x^2 + y^2 + AB^2 - 2AB \cdot y \\ x^2 + y^2 + r2^2 + 2 \cdot r2 \sqrt{x^2 + y^2} = x^2 + y^2 + BC^2 + AB^2 - 2BC \cdot x - 2AB \cdot y \end{cases} \quad (1)$$

Из первого уравнения системы получаем:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = \frac{AB^2 - 2AB \cdot y - r1^2}{2 \cdot r1} \quad (2)$$

Подставляем полученное выражение во второе уравнение системы (1):

$$r2^2 + 2 \cdot r2 \cdot \frac{AB^2 - 2AB \cdot y - r1^2}{2 \cdot r1} = BC^2 + AB^2 - 2BC \cdot x - 2AB \cdot y$$

Выражаем x:

$$x = \frac{BC^2 + AB^2 - 2AB \cdot y - r2^2 - \frac{r2}{r1} \cdot (AB^2 - 2AB \cdot y - r1^2)}{2BC} = \frac{BC^2 + AB^2 - r2^2 - \frac{r2}{r1} \cdot (AB^2 - r1^2)}{2BC} + y \cdot \frac{AB}{BC} \left( \frac{r2}{r1} - 1 \right) \quad (3)$$

Введем замену:

$$q1 = \frac{AB}{BC} \left( \frac{r2}{r1} - 1 \right), \quad q2 = \frac{BC^2 + AB^2 - r2^2 - \frac{r2}{r1} \cdot (AB^2 - r1^2)}{2BC}$$

Тогда получаем:

$$x = q1 \cdot y + q2 \quad (4)$$

Далее подставим x вновь в первое уравнение системы:

$$\sqrt{(q1 \cdot y + q2)^2 + y^2} = \frac{AB^2 - r1^2}{2 \cdot r1} - y \frac{AB}{r1}$$

Введем замену:

$$z = \frac{AB^2 - r1^2}{2 \cdot r1}$$

Возведем уравнение в квадрат:

$$q1^2 y^2 + q2^2 + 2y \cdot q1 \cdot q2 + y^2 = z^2 + y^2 \left( \frac{AB}{r1} \right)^2 - 2y \cdot z \frac{AB}{r1}$$

$$y^2 \left( q1^2 + 1 - \left( \frac{AB}{r1} \right)^2 \right) + y \left( 2 \cdot q1 \cdot q2 + 2 \cdot z \frac{AB}{r1} \right) + q2^2 - z^2 = 0 \quad (5)$$

Введем замену:

$$a = \left( q1^2 + 1 - \left( \frac{AB}{r1} \right)^2 \right); \quad b = \left( 2 \cdot q1 \cdot q2 + 2 \cdot z \frac{AB}{r1} \right); \quad c = q2^2 - z^2$$

В итоге получаем:

$$a \cdot y^2 + b \cdot y + c = 0 \quad (6)$$

При проверке корней было выявлено, что только один из них соответствует реальным результатам, который вычисляется по формуле:

$$y = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (7)$$

В итоге получаем:

$$\begin{cases} y = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ x = q1 \cdot y + q2 \end{cases} \quad (8)$$

Преимущества данной системы навигации заключаются в том, что:

- ультразвуковой сигнал подается на датчики-маяки одновременно, а не последовательно, как в большинстве подобных систем [5], за счет чего время цикла определения координат сокращается в 3 раза;
- вся вычислительная мощность по расчету координат ложится на плечи модуля, который объединяет все маяки, и, как следствие, уменьшается нагрузка на микропроцессор мобильного робота.

При разработке вышеуказанной системы навигации появляется задача передачи вычисленных координат обратно роботу. Как вариант, для этого может быть использован

радиочастотный канал, при этом необходимо обеспечить надежную передачу, возможно, с кодированием сигнала. Также стоит отметить, что сигнал с данными может принимать любое устройство в зоне действия маяков, которому известен данный тип передачи координат робота.

### **Заключение**

В ходе работы были рассмотрены популярные системы измерения пространственного положения мобильных роботов с акцентом на ультразвуковые системы навигации. Каждая из рассмотренных систем имеет свои преимущества и недостатки и используется в зависимости от запланированных целей. В процессе исследования была поставлена задача проектирования эффективной, дешевой и надежной системы 2D навигации.

Предложенная схема измерения координат мобильного робота с параллельным режимом приема сигнала представляет собой модификацию системы с последовательным опросом датчиков. В нашем случае ультразвуковой сигнал подается на датчики-маяки одновременно, за счет чего время цикла определения координат сокращается в 3 раза, а вся вычислительная мощность по расчету координат ложится на плечи модуля, который объединяет все маяки, и, как следствие, уменьшается нагрузка на микропроцессор мобильного робота. При геометрическом расчете была показана состоятельность данного метода и получены основные выражения для расчета координат объекта.

Дальнейшее развитие проекта требует решения ряда задач для повышения помехоустойчивости и точности рассмотренной системы, а также по передачи вычисленных координат обратно роботу. В перспективе имеет место переход навигации из 2D измерения в 3D-пространство.

### **Литература**

1. Расчет траектории движения мобильного робота в частной задаче перемещения объектов / Чистяков М.Г. // Сборник научных трудов. 13-ая Молодежная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы -2011". - Москва. 27 апреля 2011 г.- С.311-314.
2. Задача оптимизации системы автоматического управления: определение предельных режимов движения мобильного робота / Чистяков М.Г. // Сборник научных трудов. 14-ая Молодежная научно-техническая конференция "Научно-технические технологии и интеллектуальные системы -2012". - Москва. 25 апреля 2012 г.- С.153-158.
3. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Акустические методы контроля. М.: «Высшая школа», 1991 –285с.
4. Документация на ультразвуковой дальномер HC-SR04. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf> - Проверено 14.01.2014г.
5. Канцдалов Д.А., Капля В.И. Исследование ультразвуковых систем измерения пространственного положения подвижного объекта. Материалы. IV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке» Том первый. Естественные и технические науки. г. Ставрополь: СевКавГТУ, 2010. С. 48-52.

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОМ МУЗЫКАЛЬНОЙ ШКАТУЛКИ

**Зиманова О.Л., Метревели С.К.**

**Научный руководитель: Юдин А.В.**

Центр детского творчества «На Вадковском», мастерская «Спортивная робототехника»  
НИТУ «МИСиС», лаборатория цифрового производства «FabLab»

## CONTROL SYSTEM FOR MUSIC BOX MECHANISM

**Zimanova O.L., Metreveli S.K.**

**Supervisor: Yudin A.V.**

Children's activity center "Na Vadkovskom", "Sports robotics" workshop  
NUST "MISIS", digital fabrication laboratory "FabLab"

### **Аннотация**

В работе рассмотрена конструкция и система управления музыкальной шкатулкой. Результирующее устройство может рассматриваться как мехатронное. Состав элементов устройства включает как элементы механического конструктора, хорошо знакомого авторам, так и новые для них электронные и электромеханические компоненты, некоторые элементы разработаны самими авторами. Помимо технических подробностей в работе рассмотрена общая мотивация к разработке подобных устройств в учебном процессе дополнительного школьного образования.

### **Abstract**

The paper explains the design and control system of a music box. The resulting device may be considered as mechatronic. The elements' composition of the device includes both elements of the mechanical construction set familiar to authors and electronic and electromechanical components new to them, some elements are developed by the authors themselves. In addition to the technical details the paper considers general motivation for development of such devices in the learning process of supplementary education.

### **Введение**

Вид современной науки и техники, если не знать предыстории, а изначально погрузиться в процесс поглощения результатов работы огромного числа людей, может быть ошибочно принят за совершенно естественную среду обитания человека, которая всегда была и будет. Такое впечатление сейчас складывается у многих молодых людей, которые воспринимают сложнейшие устройства, если говорить о технике и инженерных науках, как нечто само собой разумеющееся. Простота, с которой сегодня можно играючи «повелевать» законами природы, столь обманчивая, сегодня уже никого не удивляет. И хотя сохраняются еще области, в которых абсолютного торжества человеку достичь не удастся, все-таки многие начинают забывать, а еще большее количество людей даже и не задумываются о том, как же стало возможно достигнуть современного технического уровня и уровня жизни.

Авторы попытались понять, что двигало людей к созданию механизмов и машин. Инженерная работа по созданию очередного устройства обрела в этом свете необычный оттенок любопытства, которым наделены авторы (вполне возможно в силу возраста). Совмещение технических и гуманитарных вопросов в одной работе по этой причине приводит к визуальному упрощению обоих направлений, но это совершенно не вредит результату, который состоит в освоении принципов технической работы и более глубокого понимания сути инженерного дела.

### **1 Музыка в жизни человека**

Музыка сопровождает человека с незапамятных времен и вполне возможно, что первые инструменты в истории человечества были именно музыкальные. Простейшее из подобных устройств может представлять из себя обыкновенную палку и какой-нибудь полый предмет. Ударяя ими друг о друга можно добиться эффекта барабана, а со временем сочинить мелодию.

У народов оломбо, топоке, келе, комо, мба и других, населяющих леса Конго, основным средством передачи сообщений на расстояние служат разнообразные гонги [1]. По существу, такой гонг имеет очень мало общего с барабаном (поэтому выражение «язык барабана», часто используемое в популярной литературе, не вполне верно). В отличие от барабана (или мембранофона), который дает звуки одинаковой высоты, гонг устроен таким образом, что из него можно легко извлечь звуки двух или более тонов. При всем разнообразии типов этого последнего инструмента общий принцип его изготовления остается достаточно постоянным. Из довольно толстого обрубка дерева длиной до двух метров через тонкую продольную щель извлекается основная часть внутренней древесины. В результате получается полый цилиндр, одна стенка которого заметно толще другой. При ударе о тонкую стенку мы получаем более высокий звук, а при ударе о толстую стенку — звук более низкий. Каждая деревня имеет собственный гонг, звучание которого вполне индивидуально (поскольку невозможно изготовить два совершенно одинаковых гонга). Мастерство обращения с гонгом вырабатывается годами, так что обычно в селении бывает не более одного-двух искусных «телеграфистов».

Многие музыкальные инструменты используют технику удара молоточка по материалу, который излучает звук (например, струны гитары или фортепиано). Интересно здесь то, что многие музыкальные инструменты дошли до нас практически в неизменном виде с тех самых пор, когда они были изобретены. Конечно, улучшения могли коснуться используемых материалов, которые были недоступны нашим предкам, но в остальном конструкция вряд ли менялась кардинально в разные эпохи. Такое постоянство не может не вызывать интереса и вопросов о природе подобного явления в мире техники.

Прежде, чем рассмотреть причины постоянства внешнего вида и конструктивных особенностей музыкальных инструментов сначала все-таки стоит выяснить причину, породившую необходимость создавать эти инструменты. Не претендуя на научную точность и поиск всех возможных причин, но используя собственный опыт каждого человека можно утверждать, что по причине изменчивости настроения у него (человека) рано или поздно возникает необходимость влиять, управлять этим явлением. Эта причина, может быть и не единственная, но безусловно является одной из основных. Музыка же является одним из наиболее действенных способов обеспечить подобное управление, т. е. музыка способна формировать настроение человека.

В силу того, что музыкальные инструменты известны очень давно, а предполагаемая нами причина для их появления затрагивает всех людей без исключения, мы можем заключить исключительную важность музыки для человека. Заклучив это, мы сразу же понимаем, что инженеры прошлого не могли обойти этот вопрос и решали его всегда как один из основных, который нельзя было игнорировать или отложить, а поэтому и добивались значительных успехов, закладывая принцип игры на столетия вперед.

Законы физики в современном виде конечно же не были знакомы изобретателям древности. Недостаток глубоких научных знаний они компенсировали обилием практики. Через которую, со временем, наиболее усидчивым и настойчивым удавалось ухватить суть протекающих явлений и процессов, описать их и передать потомкам. Все существующие науки о природе формировались подобным образом – через практику.

Получается, что для освоения технических наук требуется пройти путь наших предков и на практике освоить базовые установки научных учений. Технические науки в этом отношении оказываются проще гуманитарных, поскольку любое предположение всегда можно проверить на практике создав (или не создав) соответствующее работающее устройство. Все прочие подходы к освоению технического научного знания являются несостоятельными, поскольку противоречат естественному ходу вещей, описанному нами выше.

Разобравшись таким образом в предпосылках к работе и ее первоначального осмысления рассмотрим конкретный пример, который авторы выбрали для начального освоения разработки современных музыкальных инструментов (см. рис.1).

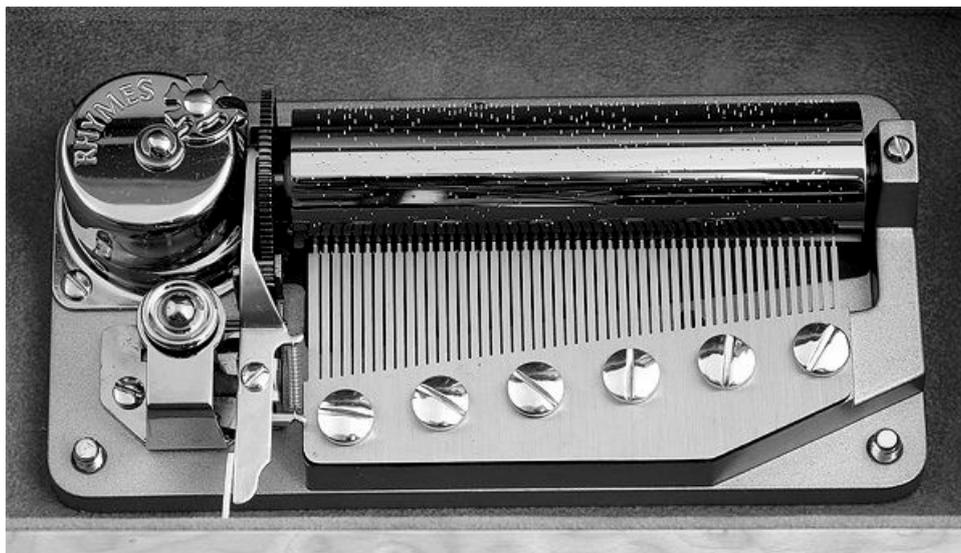


Рисунок 1 – Внешний вид музыкальной шкатулки фирмы Giglio

Механизм, подобный показанному на рисунке выше, лег в основу описываемой далее системы.

## 2 Структура системы управления

На рис.2 представлена структурная схема мехатронной системы.

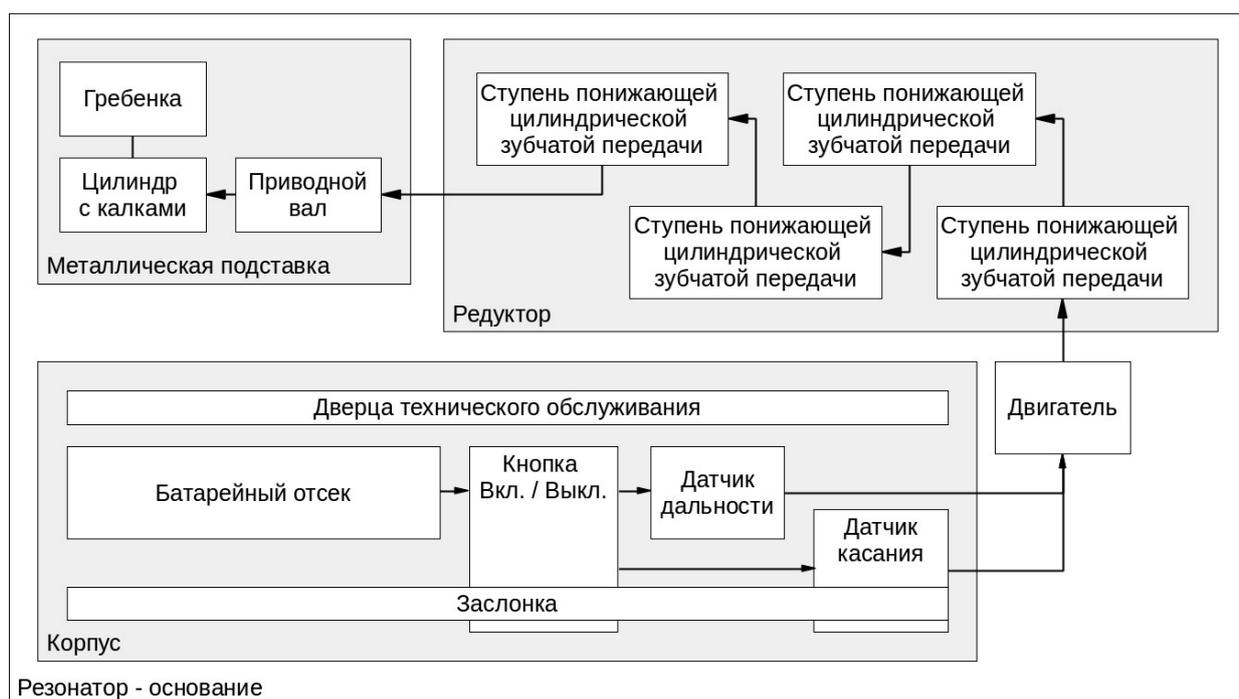


Рисунок 2 – Структурная схема устройства системы

Батарейки проводами подключаются к датчику дальности и датчику касания, оба датчика соединены с двигателем, двигатель заставляет работать редуктор, который приводит в движение приводной вал музыкальной шкатулки.

Для общего включения или выключения устройства используется отдельная кнопка «Вкл./выкл.».

Редуктор подбирался особо тщательно, поскольку скорость вращения приводного вала музыкальной шкатулки должна быть не очень медленной и не очень быстрой. В противном случае мелодия будет непонятна слушателю. Двигатель имеет слишком большую

скорость на выходе и недостаточный момент для вращения приводного вала. Для решения этой задачи опытным путем были подобраны элементы редуктора.

Изначально большая скорость на двигателе была уменьшена с помощью нескольких ступеней редуктора. Каждая ступень – это переход с малой шестерёнки на большое колесо. В итоге получилось 4 понижающих передачи.

Помимо редуктора был изготовлен корпус для электроники системы управления запуском двигателя. Корпус имеет помимо рабочей заслонки, необходимой для реализации штатного пуска двигателя еще и дополнительную дверцу технического обслуживания. Периодическая замена батарей в этом случае происходит удобно.

Все элементы устройства закреплены на едином основании, которое не только обеспечивает жесткость всех конструкции, но и служит резонатором для музыкальной шкатулки, делая изначально тихий звук гребенки звонким и громким (см. рис.3 и 4).

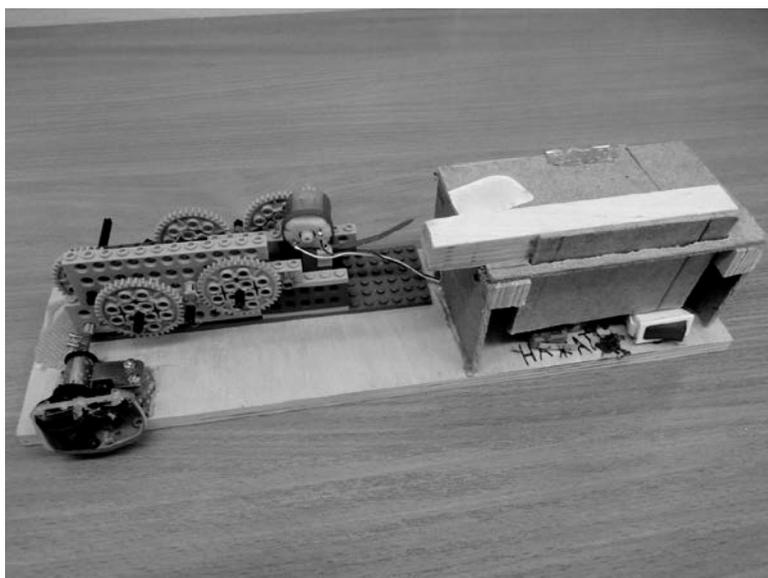


Рисунок 3 – Внешний вид устройства, вид спереди

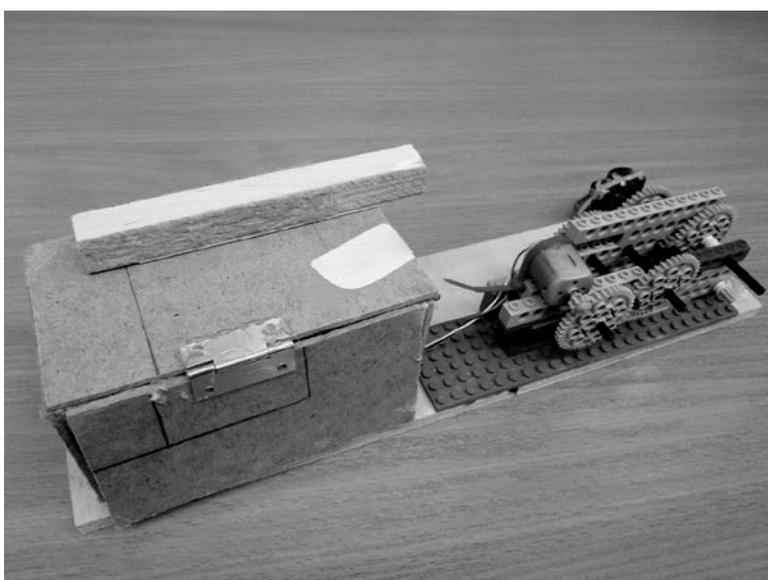


Рисунок 4 – Внешний вид устройства, вид сзади

### **3 Устройство музыкальной шкатулки**

Музыкальная шкатулка — это своеобразный автоматический музыкальный инструмент, производящий звуки при помощи калков, закрепленных во вращающемся валике или диске, которые цепляют зубья гребенки, воспроизводя мелодию. У некоторых

более сложных шкатулок есть крошечный барабан и маленькие колокольчики в дополнение к металлической гребенке. [2]

Основанием, на которой закреплены остальные части, является станина или подставка. Подставку делают из металла.

Музыкальная шкатулка состоит из:

- Заводной ключ или рукоятка для того, чтобы завести механизм.
- Пружинный механизм (их может быть несколько, или пружина может быть больше, для того чтобы продлить время звучания мелодии) позволяет проигрывать музыкальное произведение от одной минуты до нескольких часов.
- Гребенка - плоская металлическая часть со множеством настроенных зубьев различной длины. Чем зуб короче, тем звук выше, а чем зубец длиннее, тем звук ниже.
- Цилиндр - вращающаяся часть механизма с штырьками или калками (выполняют функцию нотного листа), которые цепляют за зубья гребенки, и получается мелодия. Чем диаметр цилиндра больше, тем длиннее и сложнее мелодия.

#### **4 Инструменты, похожие на музыкальную шкатулку**

На музыкальную шкатулку похожи такие инструменты как шарманка и ксилофон.

Шарманка – это ящик, внутри которого размещены в несколько рядов звучащие трубки, меха и деревянный или металлический валик с шипами-кулачками. Крутя ручку, шарманщик может воспроизвести 6-8 мелодий, записанных на валике. Такие «кулачковые устройства» были известны ещё со времен античности: маленькие выступы-«кулачки» крепятся на вращающихся цилиндрах или дисках, попеременно включая звучание той или иной ноты.

Ксилофон – это ударный музыкальный инструмент. Представляет собой ряд деревянных брусков разной величины, настроенных на определённые ноты. По брускам ударяют палочками с шарообразными наконечниками (малетами) или специальными молоточками, похожими на небольшие ложки.

#### **5 Принцип работы редуктора и его основные параметры**

Редуктор - это механизм, передающий и преобразующий крутящий момент, с одной или более механическими передачами [3]. Основные характеристики редуктора – КПД, передаточное отношение, передаваемая мощность, максимальные угловые скорости валов, количество ведущих и ведомых валов, тип и количество передач и ступеней.

Обычно редуктором называют устройство, преобразующее высокую угловую скорость вращения входного вала в более низкую на выходном валу, повышая при этом вращающий момент. Редуктор, который преобразует низкую угловую скорость в более высокую обычно называют мультипликатором. Редуктор, который преобразует высокую угловую скорость в более низкую, обычно называют демультипликатором.

Передаточное отношение – это одна из важных характеристик механической передачи вращательного движения. В общем случае передаточное отношение находится как отношение угловой скорости ведущего элемента ( $\omega_1$ ) механической передачи к угловой скорости ведомого элемента ( $\omega_2$ ) или отношение частоты вращения ведущего элемента ( $n_1$ ) механической передачи к частоте вращения ведомого элемента ( $n_2$ ).

$$i = i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

$\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости зубчатых колес.  $n_1$  и  $n_2$  - количество зубьев на шестерёнке и колесе.  $i_{12}$  – передаточное отношение между 1 и 2 звеном.  $i$  – передаточное отношение.

#### **6 Схема состояний и принцип работы устройства**

Возможные состояния системы учтены на рис.5.

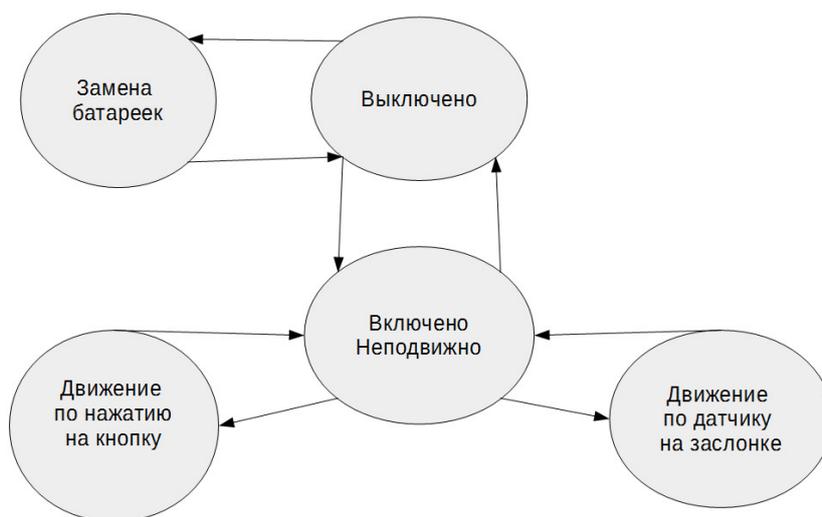


Рисунок 5 – Машина состояний устройства

Чтобы заработала музыкальная шкатулка нужно нажать на кнопку (датчик касания) или отворить заслонку. Когда пользователь отворяет заслонку срабатывает датчик дальности. Когда пользователь активирует датчик касания, замыкается цепь между батарейками и двигателем, что приводит двигатель в движение.

### Заключение

В работе рассмотрена конструкция и система управления музыкальной шкатулкой. Результирующее устройство может рассматриваться как мехатронное. Состав механических элементов устройства включает как элементы конструктора, хорошо знакомого авторам, так и новые электронные и электромеханические компоненты. Сопряжение конструктора, самодельных элементов конструкции и отдельных покупных компонентов позволило не только создать работающее устройство, понятное пользователю, но и освоить принципы разработки мехатронных устройств, применяемых при конструировании роботов, станков с ЧПУ и в инженерной работе в целом.



Рисунок 6 – Авторы работы с разработанным устройством

Авторы, работая в рамках кружка дополнительного образования, особо оценивают и подчеркивают возможность сопряжения школьных знаний через практику разработки и сборки реального работающего устройства. Эта работа дополняет островки уже имеющихся знаний и умений до системообразующего комплекса знаний, полезного в дальнейшей учебе и выборе ВУЗа для поступления.

### **Литература**

1. Панов Е.Н. Знаки, символы, языки. – 2-е изд., доп. – М: Знание, 1983. – (Библиотека «Знание») – 248 с.
2. Механизм музыкальной шкатулки. Режим доступа: <https://www.kakustroen.ru/tehnika/mehanizm-muzykalnoy-shkatulki> – Проверено 31.01.2015г.
3. Механический редуктор и передаточное отношение. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Механический\\_редуктор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Механический_редуктор) – Проверено 31.01.2015г.
4. Григорьев П.В., Егоркин К.С., Кириллов А.В., Костюченко С.В., Лобанов В.С. Мехатронный модуль с органом технического зрения // Сборник научных трудов. 16-я Молодежная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2014». – Москва. 23 апреля 2012 г. – С.202-208.
5. А.А.Андреев, А.И.Власов, В.Н.Гриднев и др. Методические указания по организации и проведению итоговой государственной аттестации бакалавров и магистров по направлению «Конструирование и технология электронных средств»: учебное пособие под ред. В.А.Шахнова. – М.: Изд-во НИИ РЛ МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2015. – 164 с.: ил.

# РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ (БОЛЕЕ 200 °С) И ПОВЫШЕННОЙ РАДИАЦИИ

Козлов А.А., Зимин Д. В.

*Научный руководитель Тиняков Ю. Н.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

## DEVELOPMENT OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS, WHICH ENSURES THE OPERATION OF SEMICONDUCTOR TENSORESISTIVE PRESSURE SENSORS AT ELEVATED TEMPERATURE (200 ° C) AND HIGH RADIATION

Kozlov A.A., Zimin D.V.

*Supervisor: Tinyakov Y.N.*

Bauman MSTU, Moscow, Russia

### Аннотация

В статье рассматриваются методы применения различных технологий в конструкции ЧЭ высокотемпературных и радиационно-стойких датчиков давления. Производится сравнительный анализ конструкций и технологий ЧЭ датчиков давления на базе КНС и КНД структур.

### Abstract

This article focuses on the application methods of various technologies in the construction of sensor and radiation-resistant pressure sensors. Comparative analysis of structures and technologies of pressure sensors based on SOS and SOI structures.

### Введение

Метрологические характеристики тензорезисторного датчика определяются главным образом параметрами его основной части - тензопреобразователя (ТП), осуществляющего преобразование измеряемой механической величины в выходной электрический сигнал. Существенными недостатками полупроводниковых тензопреобразователей являются сильная и нелинейная температурная зависимость таких характеристик ПЧЭ, как тензочувствительность и сопротивление тензорезисторов, и нелинейность функции преобразования деформации в относительное изменение сопротивления тензорезисторов. Для борьбы с этими недостатками разработано большое количество конструктивных и схемных методов компенсации погрешностей ТП, позволяющих изготавливать в настоящее время датчики, работающие в интервале температур от -50 до +125° С с основной погрешностью 0,1% и дополнительной температурной погрешностью 0,1 - 0,4% на каждые 10°С. Вместе с тем, трудоемкая индивидуальная настройка датчиков, необходимая для получения высоких метрологических характеристик, повышает их стоимость и ограничивает объем производства. К недостаткам наиболее широко используемых в последние годы интегральных кремниевых ПЧЭ следует отнести также необходимость формирования в них р-п -переходов, изолирующих тензорезисторы друг от друга и от подложки. Наличие р-п - переходов ограничивает верхнее значение рабочей температуры величиной 130 - 150° С (для кремния), понижает стабильность характеристик датчиков, не позволяет обеспечить высокую температурную и радиационную стойкость ПЧЭ. Указанные недостатки обусловили ограниченность применения полупроводниковых тензорезисторных датчиков в современных системах контроля и управления технологическими процессами, хотя объем производства таких датчиков за рубежом непрерывно растет, что связано, в первую очередь, с массовым потреблением.

**Актуальность работы.** Необходимость создания ПЧЭ с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками для использования в условиях высоких температур и повышенной радиации (космической техники).

**Объектом исследования** является ПЧЭ датчика давления структуры кремний на диэлектрике.

**Постановка задачи:** показать оптимальный вариант конструирования ЧЭ датчика давления.

**Целью работы** является выработка конструкторско-технологических решений для создания температуростойких и радиационно-стойких датчиков давления.

**Научная и практическая новизна работы заключается** в исследовании конструкций ЧЭ выдаче рекомендаций по конструированию ЧЭ температуростойких и радиационно-стойких датчиков давления.

**Практическая ценность работы** заключается в выработке конструкторских и технологических решений при конструировании ЧЭ датчиков давления

**Результатом работы** является анализ конструкций ЧЭ датчиков давления на базе: кремниевых датчиков с диффузионными резисторами, датчиков давления построенных на базе КНС структур, датчиков давления построенных на базе КНД.

## **1 Определение возможности проектирования датчиков давления с чувствительными элементами на базе материала кремний на сапфире (КНС-структуры)**

Отличные упругие и изолирующие свойства сапфира в области высоких температур и отсутствие р-п- переходов позволяют создавать ЧЭ на основе КНС, работоспособные до температур порядка 700° С. Основные технические трудности при этом заключаются в разработке стабильных высокотемпературных контактов к кремнию и высокотемпературных электрических выводов для ТП и в обеспечении жесткого соединения ПЧЭ с температуростойкими деталями корпуса тензопреобразователя.

Высокая радиационная стойкость сапфира, использование сильнолегированного кремния и отсутствие р-п- переходов делают ЧЭ на основе КНС перспективными для применения в условиях интенсивного облучения. Тензопреобразователи с такими ЧЭ представляют большой интерес для атомной энергетики и других отраслей народного хозяйства. Хорошо зарекомендовали себя ЧЭ на основе КНС и при измерении механических параметров в условиях криогенных температур. Здесь предстоят еще серьезные исследовательские и конструкторские работы, однако с учетом расширяющегося использования низких температур в современной технике эту область применения ПЧЭ на основе КНС также следует считать перспективной.

Сегодня можно указать на четыре недостатка структур КНС, несколько ограничивающих возможности их использования в ЧЭ датчиков механических величин:

- относительно высокая стоимость сапфировых подложек по сравнению с кремниевыми;
- сложность профилирования сапфира при массовом изготовлении ЧЭ;
- малая способность КНС структур выдерживать механические перегрузки;
- не высокая стабильность характеристик ЧЭ во времени, из-за несогласованности коэффициентов термического расширения материалов.

Эти недостатки мешают ПЧЭ на основе КНС успешно конкурировать с интегральными кремниевыми ЧЭ в таких областях потенциально массового потребления тензопреобразователей, как автомобильная промышленность или бытовая техника, где стоимость датчиков является определяющим фактором [4]. Вместе с тем следует помнить, что, во-первых, указанные недостатки обусловлены достоинствами (как ни парадоксально это звучит) структур КНС: высокой прочностью, твердостью и химической стойкостью сапфира, а во-вторых, они связаны в основном с начальным этапом промышленного становления технологии производства КНС. За последнее десятилетие стоимость сапфировых подложек уменьшилась на порядок, а диаметр увеличился в 5 раз, причем тенденция к снижению стоимости подложек сохраняется. И, наконец, более простая

технология изготовления и меньший процент брака при производстве ЧЭ на основе КНС, а также лучшие температурные характеристики тензопреобразователей

## **2 Определение возможности проведения исследований по разработке чувствительных элементов датчиков давления на базе материала кремний на диэлектрике (КНД)**

Стремительное развитие технологии микроэлектроники открывает широкие возможности оснащения современных изделий ракетно-космической техники новыми датчиками давлений, являющимися основными элементами систем управления работой двигательных установок и систем контроля их технического состояния на различных этапах эксплуатации, отличающихся воздействием температур от криогенных значений до (500-600) °С, ионизирующих излучений и жестких электромагнитных помех. Используемые в настоящее время системы измерения давления базируются в основном на устаревших конструктивных технологических решениях: потенциометрических, металлопленочных и фольговых тензорезисторах, не удовлетворяющих в настоящее время возросшим требованиям. Поэтому имеют место тенденции замены устаревших средств измерения давления новыми, основанными на полупроводниковой электронике, в частности, применение структур «кремний-на-диэлектрике» (КНД), обеспечивающих работоспособность средств измерений в экстремальных условиях (повышенные и криогенные температуры, ионизирующее излучение и т. п.) и стабильность их параметров в процессе длительной эксплуатации.

Например, в полупроводниковых чувствительных элементах (ПЧЭ) датчиков давлений существуют следующие недостатки: в ПЧЭ, изготовленных на основе объемного кремния, наличие р-п переходов не позволяет функционировать средствам измерений при температурах свыше 150°С и иметь стабильные параметры (ток утечки, сопротивление изоляции, сопротивление тензорезисторов и т. д.); в ПЧЭ на основе поликремния с изоляцией тензорезисторов пленкой двуоксида кремния, из-за низкой тензочувствительности поликремния, средства измерений на основе таких ПЧЭ имеют малую амплитуду выходного сигнала.

Указанные недостатки снижают метрологические и эксплуатационные характеристики датчиков, используемых. Поэтому задача создания ПЧЭ на структурах КНД с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками является актуальной.

## **3 Преимущества структур КНД перед структурами на основе объемного кремния**

Основные преимущества структур КНД перед объемным кремнием заключается в полной изоляции приборного слоя на котом формируются элементы схемы от подложки.

Приборы с изоляцией р-п переходом имеют более значительные паразитные элементы. Диэлектрическая изоляция позволяет существенно уменьшить паразитные емкости, что повышает быстродействие.

Конструктивное исполнение структур кремний на диэлектрике:

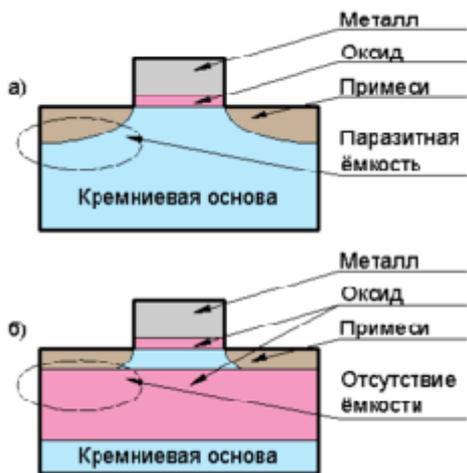


Рисунок 1 - Схема КНИ подложки выполненных по технологиям: а) Классической, б) КНД



Рисунок 2 - Схемы МОП-транзисторов

Подложка, выполненная по технологии кремний на изоляторе, представляет собой трёхслойный пакет, который состоит из монокристаллической кремниевой пластины, диэлектрика и размещённого на нём тонкого поверхностного слоя кремния. В качестве диэлектрика может выступать диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ .

#### 4 Методы исследований

При разработке моделей ПЧЭ датчиков давлений на КНД-структуре будут использованы основные положения физики твердого тела, применены методы математической физики, теории упругости, прикладной механики. При решении задач по анализу и разработке технологии ПЧЭ датчиков давлений на КНД-структуре использованы положения физической химии, кристаллографии, микроэлектроники, технологии изготовления элементов схем, имитационное моделирование на ЭВМ. В экспериментальных исследованиях использованы положения теории измерений, планирования эксперимента. Основные теоретические положения и результаты расчетов будут подтверждены экспериментальными исследованиями образцов ПЧЭ датчиков давлений на КНД-структуре.

#### 5 Технологическая схема производства структур кремний на диэлектрике, многослойных структур и тонких монокристаллических слоев кремния,

На рис.3 приведена предлагаемая в работе возможная технологическая схема изготовления структур КНД методом отслаивания с использованием процессов прямого соединения пластин и химической сборки поверхности во влажных условиях (включая и метод молекулярного наслаивания). Согласно этому маршруту в методе прямого сращивания вместо технологии шлифовки и травления для утончения одной из пластин предлагается использовать технологию отслаивания (отщепления) части рабочей пластины кремния (германия) по области пористого слоя, образованного посредством имплантации протонов на заданную глубину в пластину кремния.

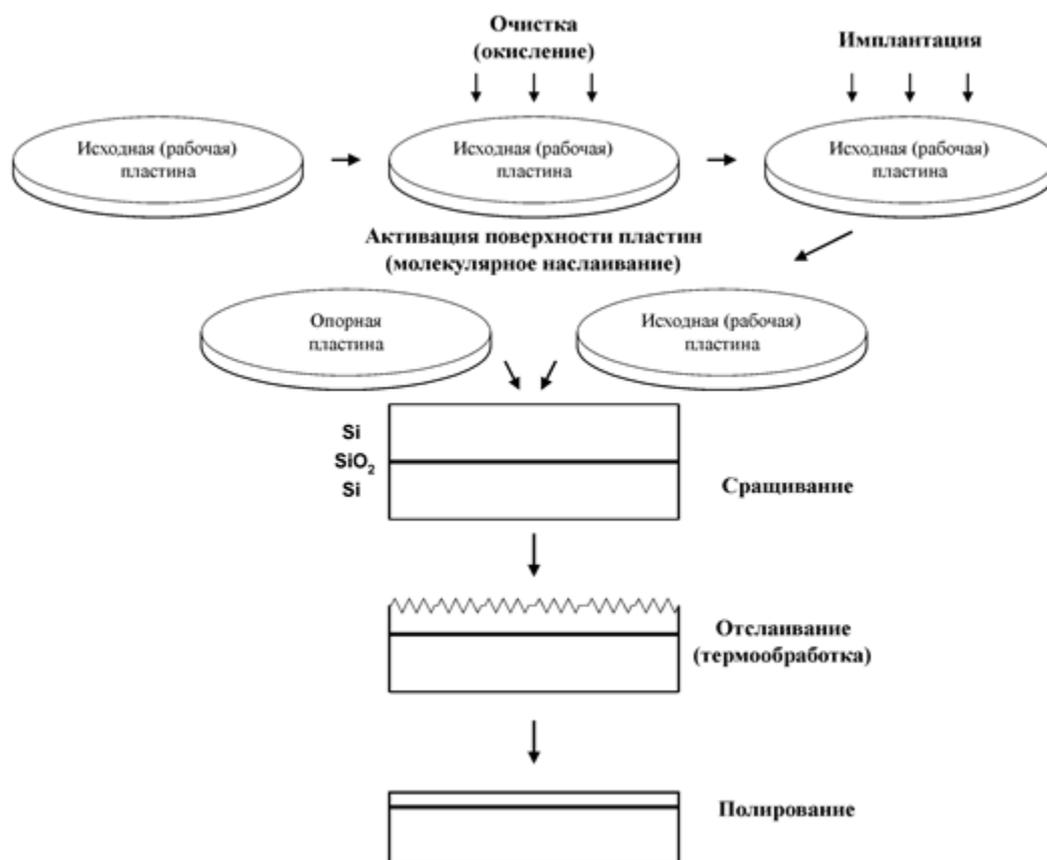


Рисунок 3 - Прямое связывание пластин кремния с использованием метода сращивания во влажных условиях и технологии отслаивания при получении КНД структур

Пористый слой включает в свой состав наполненные водородом нанопоры, созданные имплантацией протонов в слое кремния через тонкую пленку  $\text{SiO}_2$  или пористого слоя кремния, полученного электрохимическим методом. В последнем случае на поверхности пористого кремния выращивается эпитаксиальный слой необходимой толщины, который после прямого соединения с опорной пластиной кремния в последующем отслаивается (отщепляется) посредством термообработки или часть рабочей пластины после соединения с опорной пластиной удаляется до эпитаксиального слоя с использованием механических (химико-механических) методов. В качестве примера использован процесс отслаивания слоя кремния с помощью имплантации ионов водорода. В этом случае общая схема производства структур КНД в прямом сращивании пластин кремния с использованием во влажных условиях (включая химическую сборку поверхности методом молекулярного наслаивания) соответствует технологической схеме, изображенной на рис.3. В специально окисленную рабочую пластину кремния (толщина оксида несколько сотен ангстрем) вначале производится имплантация протонов с дозой облучения порядка  $(1-8) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  и энергией 100-150 кэВ. Пленка  $\text{SiO}_2$  представляет собой защитный слой при имплантации, уменьшающий количество дефектов и примесей в приграничной области. В дальнейшем она удаляется. Опорная пластина кремния подвергается термическому окислению до толщины оксида (0,2-0,4 мкм), необходимого для производства конечной структуры КНД. После специальной очистки и активации методом молекулярного наслаивания поверхности пластин соединяются лицевыми сторонами друг к другу и прижимаются. Термообработка этой пары приводит к связыванию пластин кремния с одновременным отслаиванием по слою, где находится в нанопорах имплантированный водород. В таком процессе тонкая пленка кремния переходит с рабочей пластины на окисленную поверхность опорной пластины. В дальнейшем структура КНД подвергается кратковременному отжигу при 1100 °С, в результате чего удаляются созданные в процессе имплантации радиационные дефекты и водород. Полученный таким образом тонкий слой полируется. Для производства

высококачественных структур КНД особую роль играют технологические процессы протонирования, очистки, окисления и активирования (активации) поверхности.

Дальнейшее производство полупроводниковых приборов с использованием полученной подложки по своей сути практически ничем не отличается от классической технологии, где в качестве подложки используется монокристаллическая кремниевая пластина.

До настоящего времени работы по технологии прямого срачивания для изготовления КНД-структур не рассматривают вопросы практического использования данной технологии применительно к формированию ПЧЭ датчиков давлений (в основном все работы по данной технологии посвящены формированию КНД-структур для изготовления изделий электронной техники (микросхем, процессоров и т.п.)), поэтому требуется проведение дополнительных исследований для создания методов производства новых, высокоточных, надежных ЧЭ высокотемпературных датчиков давлений, построенных на КНД-структуре.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что разработка конструктивно-технологических решений ЧЭ датчиков давлений на КНД-структуре является актуальной научно-технической задачей.

### **Заключение**

Оптимальным вариантом конструирования высокотемпературного и радиационно-стойкого датчика давления является применение кремниевых КНД структур. Данная технология является стандартной при изготовлении быстродействующих цифровых схем.

Помимо этого снижаются затраты на разработку технологии изготовления ЧЭ датчиков давления на базе КНД структур, в отличие от КНС структур. Для формирования ЧЭ датчиков давления необходимо отработать технологию получения профилированных мембран ЧЭ, а также отработать технологию получения высокотемпературных контактов кремний-металл.

Применение КНД структур позволит разработать высокотемпературные и радиационно-стойкие датчики давления.

### **Литература**

1. Петерсон К.Э. Кремний как механический материал, ТИИЭР, 1982
2. Тимошенко С.П., Прокопьев Е.П. Особенности процесса прямого соединения пластин кремния.// Материаловедение. 1999. №5. С.43-45.
3. Е.П.Прокопьев, С.П.Тимошенко, А.Л.Суворов, Б.Ю.Шарков, А.Г.Залужный, В.И.Графутин, М.А.Козодаев. Особенности технологии изготовления КНИ структур прямым срачиванием пластин кремния и контроля их качества. Препринт ИТЭФ 24 - 00. М., 2000. 20 с.
4. А.Л.Суворов, Ю.А.Чаплыгин, С.П.Тимошенко, В.И.Графутин, С.А.Дьячков, А.Г.Залужный, В.В.Калугин, Е.П.Прокопьев, В.Ф.Реутов, Б.Ю.Шарков. Анализ преимуществ, перспектив применений и технологий производства структур КНИ. Препринт ИТЭФ 27 – 00. М., 2000. 51 с.

