

УДК 621.382.01; 621.382.049.77.01; 621.372.8.01; 535

КП

№ госрегистрации 0113U000358

Инв. №

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14; тел. 057-7021-13

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
работе ХНУРЕ
д-р физ.-мат. наук
проф. Слипченко Н.И.
2014

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**«СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ
КОМПОНЕНТОВ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ИХ
ВНЕДРЕНИЕ»**
№277
(заключительный)

Руководитель НИР
зав. каф. ТАПР
д-р техн. наук. проф.

Невлюдов И.Ш.

Рукопись окончена «__»

2014 г.

Результаты этой работы рассмотрены Бюро Науч.-метод. Совета ХНУРЭ

Протокол №__ от «__»

2014 г.

СПИСОК АВТОРОВ

Научный руководитель темы, д.р. техн. наук, проф., зав. каф. ТАПР	И. Ш. Невлюдов
д.р. техн. наук, проф.	А. И. Филипенко (раздел 2)
д.р. техн. наук, проф.	А.А. Андрусевич
д.р. техн. наук, проф.	М.А. Омаров
д.р. техн. наук, проф.	А.М. Синотин
канд. техн. наук, проф.	В.А. Палагин
канд. техн. наук, проф.	Е.П. Второв
канд. техн. наук, проф.	А.М. Цымбал
канд. техн. наук, доц.	С.П. Новоселов
канд. техн. наук, доц.	Н.Г. Стародубцев
канд. техн. наук, доц.	С.С. Милютна
канд. техн. наук, ст. преп.	Е.А. Разумов-Фризюк
канд. техн. наук, ст. преп.	И.В. Жарикова
канд. техн. наук, ст. преп.	С.В. Сотник
ассистент.	О.В. Сычева
ассистент.	А.И. Бронников
ассистент.	А.Н. Донсков
ассистент.	В.Ю. Шарковский
аспирант	Ю.В. Богдан
аспирант	В.О. Бортникова
аспирант	Е. А. Чала
аспирант	О.Н. Файзулаева
аспирант	А.Функендорф
научный сотрудник	М.А. Ильин
научный сотрудник	С.И. Троицкий
инженер	С.П. Колесников

РЕФЕРАТ

Объект исследования (разработки) - объектом исследования являются технологии компонентов микроэлектромеханических (МЭМС) и микрооптоэлектронных систем интеллектуального управления в робототехнике и интеллектуальным технологиям;

Описание решаемой проблемы - предметом исследования является компоненты МЭМС, их конструкции, материалы и технологии изготовления конкретных приборов микросистемной техники, в частности многозондового подключаемых устройств для контроля многослойных коммутационных плат, электронных компонентов с матричными шариковыми выводами, интерфейсов контролируемых автоматизированных комплексов, пьезопреобразователей механической энергии, методы производственного контроля микроструктурованных оптических волокон, микромощные источники питания, которые утилизируют втрачаеми ранее виды энергии, интеллектуализация технологических процессов, разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения систем интеллектуального управления промышленными и мобильными роботами, микро и мини роботов, разработка алгоритмического и программного обеспечения систем технического зрения роботов;

Актуальность проблемы и обоснование необходимости результатов проекта для обеспечения потребностей рынка: актуальность обусловлена необходимостью применения МЭМС-компонентов, которые на порядок или два уменьшают расходы на соответствующие технологические устройства, которые сейчас используются, в частности многозондовые МЭМС контактирующие устройства для электрического контроля многослойных коммутационных плат и электронных компонентов с матричными шариковыми выводами по собственным патентам (№ 95190, 97537, 98539 и др.), а также необходимостью создания отечественных МЭМС компонентов.

Цель - целью разработки является совершенствование и практическое внедрение МЭМС по собственным патентам и техническими решениями, интеллектуальных приборов в разработке и производство.

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных сокращений	6
Используемые единицы и символы	10
Введение	14
1. Изготовление экспериментальных образцов МЭМС подключающих устройств с возможностью самотестирования подключения	16
1.1 Электрический контроль микросхем в BGA корпусах.	16
1.2 Анализ объекта контроля.	20
1.3 Элементы конструкции макета опытного образца многозондового подключающего устройства.	20
1.4 Исследование механических параметров МПУ	38
1.5 Исследование переходного сопротивления контакта шариковый вывод-полиимидный шлейф	43
1.6 Выводы к первому разделу	47
2 Разработка программного обеспечения для моделирования процесса изготовления микроструктурированных оптических волокон	49
2.1 Исследование влияния геометрических характеристик МОВ на эксплуатационные параметры и параметры передачи сигнала	50
2.2 Влияние технологического процесса изготовления МОВ на их оптико-геометрические характеристики	60
2.3 Разработка информационного обеспечения АСУ ТП вытяжки МОВ	65
2.4 Разработка программы для моделирования процесса изготовления микроструктурированных волокон	72
2.5 Выводы ко второму разделу	76
3. Исследование и разработка интеллектуальных систем принятия решений для промышленных и мобильных роботов	78

4. Разработка программного обеспечения системы технического зрения робота	97
5. Разработка источника энергии на основании прямого пьезоэффекта	113
5.1 Конструкция и принцип работы макета пьезопреобразователя	113
5.2 Обоснование выбора материала пьезоэлектрического элемента	116
5.3 Конструкция опытного образца пьезопреобразователя	121
5.4 Экспериментальные исследования зависимости количества генерируемой энергии от значения и типа нагрузки на опытный образец пьезопреобразователя	122
5.5 Выводы к пятому разделу	139
6. Изготовление макетного образца мобильного робота	140
Выводы	163
Список литературы	167
Приложение А – Акты внедрения	

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

- АСМ – атомный силовой микроскоп;
- АТФ – аденозинтрифосфат (натрия/кальция);
- АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
- БМС – баллистическое магнитное сопротивление;
- ВАК – высокоактивные кислоты;
- БГИС – большая гибридная интегральная схема;
- ГМ – гигантское магнитосопротивление;
- ГМО – генетически модифицированные объекты;
- ГМХ – габаритно-массовые характеристики;
- ДУС – датчик угловой скорости;
- ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота;
- ЕМС – емкостные микромеханические системы;
- ИК – инфракрасный;
- ИМС – интегральная микросхема;
- ИП – источник питания;
- ИС – интегральная (полупроводниковая) микросхема;
- КБЭ – конденсат Бозе-Эйнштейна;
- КНС – кремний на сапфире;
- КФТП – корпускулярно-фотонные ТП;
- ЛЗ – линии связи;
- МАЭМС – микроакустоэлектромеханические системы;
- МКПл – многослойная коммутационная плата;
- МКУ – многозондовое контактное устройство;
- МОП – магнитная оптическая ловушка;
- МОЭМС – микрооптоэлектромеханические системы;
- МС – микросистемы;
- МСБ – микросборка;
- МСЛ – микростереолитография;

МСМ – магнитно-силовая микроскопия;

МСТ – микросистемная техника;

МХЭМС – микрохемозлектромеханические системы;

МЭА – микроэлектронная аппаратура;

МЭМС – микроэлектромеханические системы;

НЖМД – накопитель на жестком магнитном диске;

НТ – нанотехнологии;

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;

ПМВ – преобразователь механических величин;

ПММА – полиметилметакрилат (фоторезист);

ПНК – пептид-нуклеиновая кислота;

ПФВ – преобразователь физических величин;

ПЭ – пьезоэлектрик;

РНК – рибонуклеиновая кислота;

САПР – система автоматизированного проектирования;

СНК – система на кристалле;

ТМАН – гидроксид тетраметиламония $[(\text{CH}_3)_4\text{NOH}]$, анизотропный травильный реагент для кремния;

ТП – технологический процесс;

ТСМ – туннельный сканирующий микроскоп;

УНТ – углеродные нанотрубки;

УФ – ультрафиолетовый;

ЧЭ – чувствительный элемент;

ЧЭД – чувствительный элемент датчика;

ЭА – электронная аппаратура;

ЭДП – этилендиамин и пирокатехин (анизатропный травитель);

АСР – air cushion press (прессование с воздушной прокладкой);

AMANDA – Abformung, Oberflächen mikromechnik, Membranübertragung (микрообработка, литье и перемещение диафрагмы);

CISC – complete integrated schemes commands (полная система команд интегральных схем);

DARPA – defense advanced research projects agency (агентство передовых оборонных исследовательских проектов);

DMD – digital micromirror devices (микрозеркальные цифровые устройства);

DRAM – dynamic random access memory (динамическая память с произвольным доступом);

DSP – digital signal processor (цифровой сигнальный процессор);

iMEMS – integrated MEMS (интегрированная в одном чипе МЭМС);

IP – intellectual property (интеллектуальные свойства);

LIGA – lithographic, galvanoformung, abformung (нем. – литография, гальваника, формировка (литье));

LPCVD – laser processing chemical vapor deposition (процесс лазерного химического парового осаждения);

MUMPS – Multi User MEMS Process Silicon (универсальные процессы для МЭМС);

NIL – nanoimprint lithography (наноимпринтиновая литография);

P. NIL – photo-curable NIL (фотостимулируемая NIL);

T. NIL – thermo NIL (термическая NIL);

NGL – next generation lithography (литография следующего поколения, ведомости ITRS, 2003);

PECVD – plasma enhanced chemical vapor deposition (улучшенный процесс химического парового осаждения);

PDMS – polydimethyl siloxane (прозрачный полимер для изготовления наностампов);

RIE – Reactive Ion Etching (реактивно-ионное травление);

RISC – reduce integrated schemes commands (сокращенная система команд ИС);

RTL – register transfer level (уровень регистровых передач);

SCREAM – Single Crystal Reactive Etching and Metallization – вертикальное объемное травление кремния с металлизацией, являющейся комбинацией анизотропного и изотропного плазмового травления;

SEM – Simultaneously Electroplating Machining (совместная гальваническая обработка);

SUMMIT – Sandia Ultra-Planar Multi-layer MEMS Technology (технология многослойных МЭМС с выравниванием ф. Sandia);

SLIGA – sacrificial LIGA, LIGA с жертвенным слоем;

SPICE – simulation program with integrated circuit emphasis (моделирующая программа с ориентацией на ИС);

SRAM – static random access memory (статическая память с произвольным доступом);

VHDL – very high device language (язык устройств высокого уровня);

VHSIC – very high speed IC (высокоскоростные ИС);

VLIW – very long instructive word (очень длинная машинная команда).

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЕДИНИЦЫ И СИМВОЛЫ

A – работа;

a – атто, 10^{-18} ;

Г – гига, 10^9 ;

г – гекто, 10^2 ;

д – деци, 10^{-1} ;

E – интенсивность излучения;

E – экса, 10^{18} ;

З – зетта, 10^{21} ;

з – зепто, 10^{-21} ;

I – йотта, 10^{24} ;

й – йокто, 10^{-24} ;

K – градус Кельвина;

к – кило, 10^3 ;

л – литр;

M – момент (крутящий, изгиба), Н·м; мега, 10^6 ;

м – метр;

N – Ньютон, единица силы;

n – нано, 10^{-9} ;

П – пета, 10^{15} ;

п – пико, 10^{-12} ;

с – санти, 10^{-2} ; секунда;

T – тера, 10^{12} ;

Ф – функция Лапласа;

ф – фемто, 10^{-15} ;

a – постоянная решетки кристалла;

Å – ангстрем, 10^{-10} м;

b – ширина, м;

- c – жесткость конструкции в направлении, обусловленном индексами; концентрация;
- C – центр симметрии кристалла;
- $^{\circ}C$ – градус Цельсия;
- D – коэффициент упругости; $K = D/\omega$;
- d – диаметр, м;
- e – электрон;
- E – модуль упругости Юнга, H/m^2 ; энергия, eВ;
- f – частота колебаний, Гц;
- F – сосредоточенная сила, Н;
- $^{\circ}F$ – градус Фаренгейта, $^{\circ}F=0,556 K; t=1.8t_c+32$;
- g – ускорение земного притяжения, m/c^2 ;
- h – высота, м; постоянная Планка, $\hbar=h/2\pi$;
- ΔH – энтальпия;
- i – индекс нумерации в тензорах, матрицах; единичный вектор, орт;
- I – момент инерции (осевой, полярный, отцентрированный), m^4 ; ток, А;
- j – плотность тока, A/m^2 ; индекс нумерации в тензорах, матрицах;
- k – коэффициент; индекс нумерации в тензорах, матрицах; упругость; жесткость;
- l – длина, м; индекс нумерации в тензорах, матрицах;
- L – ось симметрии кристалла; индуктивность, Гн;
- m – масса, кг;
- n – номер гармоники, моды;
- N – энергия;
- O – начало отсчета координат, центр геометрической фигуры;
- p – давление, Па;
- P – плоскость симметрии кристалла;
- q – распределенная сила, H/m ;
- Q – добротность;
- r – радиус, м;

R – универсальная газовая постоянная;

s – податливость конструкции в направлении, обусловленном индексами;

S – площадь, m^2 ; статический момент инерции, m^3 ;

t – время, с;

T – абсолютная температура, К;

U – кинетическая энергия;

v – скорость, м/с; объем, m^3 ;

w – толщина элементов встречно-штыревой системы;

W – осевой момент сопротивления, m^3 ;

x – ось координат;

y – ось координат;

Y – податливость; комплексная проводимость;

z – ось координат;

Z – комплексное сопротивление;

β – затухание (колебаний);

γ – угол сдвига (при кручении, сдвиге), град або рад;

δ – погрешность;

ε – относительные деформации (сжатия, растягивания); погрешность, малая величина, диэлектрическая проницаемость; угловое ускорение;

η – коэффициент полезного действия, демпфирование; вязкость жидкости, смазки;

θ – угол сдвига сечения;

i – мнимая единица; текущий индекс в нумерации; орт;

k – единичный вектор, орт;

λ – длина волны, м; теплопроводность, Вт/м·град;

μ – коэффициент Пуассона; динамическая вязкость; магнитная проницаемость;

ν – кинематическая вязкость, $\nu = \mu / \rho$;

ξ – перемещение, скорость, ускорение, м, м/с, м/с²; интенсивность оптического поля в сечении;

π – число пи; $\pi = 3,14142$;

ρ – плотность материала, кг/м^3 ;

σ – нормальные напряжения в сечении, Н/м^2 ;

σ_s – поверхностное натяжение, Н/м ;

τ – касательные напряжения, Н/м^2 ; время (отрезок либо момент), с;

$u - u(x)$ – сдвиг в направлении действия силы сечения с координатой x , м;

φ – угол поворота сечения (при кручении), сдвиг фаз, град або рад;

χ – магнитная восприимчивость;

ψ – относительная величина промежутка: $\psi = (D-d)/d$ (при трении); волновая функция основного состояния электрона;

ω – циклическая частота, $\omega = 2\pi f$, с^{-1}

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость идти в ногу с прогрессом в развитии радиоэлектроники в мире, заставляет осваивать новые направления интеграции и миниатюризации электронной аппаратуры, совершенствовать организацию и технический уровень РЭА. Микросистемная техника (МСТ) является одним из решающих направлений, которому большое число стран уделяет внимание как определяющем для обеспечения интеллектуализации всех сфер человеческого общества. Она выполняет функции тех базовых элементов, из которых состоят и отдельные аппараты, и большие системы. Надежность, уровень интеграции и экономические показатели определяют возможность решения многочисленных задач в хозяйстве, медицине, социальных сферах и военной технике.

Создание отечественной компонентной базы микросистемной техники является насущной задачей для развития собственной электроники, телекоммуникаций, интеллектуальных технологий производства, независимых информационных технологий в стране.

За последние два десятилетия микросистемная техника получила значительное развитие во многих странах мира (США, Японии, странах ЕС, Китае, России) благодаря работе по долгосрочным программам со значительным государственным финансированием. Ежегодно увеличивается количество научных публикаций и выход новой продукции на мировые рынки, в том числе и на украинском. Вклад нашей страны, к сожалению, довольно скромный.

Микросистемные компоненты производятся большим количеством иностранных фирм и могут выбираться для использования как обычные полупроводниковые микросхемы. Конкурировать с мощными зарубежными фирмами в области их производства нецелесообразно. Более перспективным считаем поиск областей применения МСТ, еще не занятых этими фирмами, и

будет реализовываться в проекте. О развитии МСТ свидетельствует также и тот факт, что ряд фирм выпускает технологическое оборудование, рассчитанное на разные мощности производства.

Результатом собственных предыдущих разработок являются четыре типа МЭМС-подключающих устройств для электрического контроля многослойных коммутационных плат (печатных, толсто- и тонкопленочных), входящего и функционального контроля электронных компонентов с матричными шариковыми выводами типа BGA / CSP, защищенных патентами Украины; обобщение метода электромеханических аналогий и их применение в микросистемной технике; издание учебника с грифом МОН для ВУЗов «Введение в микросистемной техники и нанотехнологии»; открытие новой специальности подготовки специалистов «Интеллектуальные технологии микросистемной радиоэлектронной техники»; выполнено около ста выпускных работ бакалавров, магистров и дипломных проектов специалистов по тематике МСТ.

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ МЭМС ПОДКЛЮЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ САМОТЕСТИРОВАНИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

1.1 Электрический контроль микросхем в BGA корпусах.

Значительная часть современных электронных компонентов, применяемых в РЭА, зарубежного производства. Обладая высокими электрофизическими характеристиками, эти покупные изделия достаточно часто не соответствуют паспортным данным, имеют скрытые дефекты, которые ввиду сложности и высокого уровня интеграции (процессоры, FPGA и др.) трудно своевременно выявить.

Это накладывает на отечественных производителей РЭА дополнительные обязанности по организации входного и функционального контроля покупных изделий и использованию контролирующих устройств высокого уровня автоматизации и соответственно сложности.

В области контроля электрических параметров компонентов наметилось несколько тенденций. Первая из них - реализация в конструкции компонентов принципа периферийного, граничного тестирования (boundary testing по стандарту IEEE-1149). В этом варианте предусматривают вывод ключевых для проверки работоспособности точек схемы на внешний, периферийный ряд контактов, подключение к которым более простое, чем ко внутренним (в BGA/CSP и др.). Другой принцип используется в ПЛИС. Производитель разрабатывает схему устройства программирования и тесты для тестирования изделия, требующие дополнительных устройств ввода данных при тестировании.

Третий принцип - использование для тестирования программируемых подключающих быстродействующих устройств с «летающими зондами» (до 60 подключений в минуту).

В большинстве случаев устройства для контроля микросхем в BGA корпусах являются дорогостоящими и предназначены для крупносерийного и массового производства и на настоящий момент необходимо разработать устройства для контроля BGA микросхем со значительно меньшей себестоимостью. Это обстоятельство было использовано при разработке ряда конструктивно-технологических решений для многозондовых контактных устройств (МКУ) контроля электрических параметров многослойных коммутационных плат (МКП) (печатных, толсто- и тонкопленочных), а также входного и функционального контроля электронных компонентов (ЭК) с матричными выводами [Патенты Украины № 82405, 2008; № 95190, 2011; №97538, 2012; 98539, 2012].

Своевременное выявление бракованных компонентов и исключение их из производства РЭА обеспечивает повышение ее надежности, снижение издержек производства и является ответственной частью технологического процесса.

Электрический контроль многослойных коммутационных плат выполняется автоматизированными контролирующими комплексами (ИК-РКУ-2400; Темп-М, АСК-МКИ, АРТ-9411 и др.), необходимыми устройствами которых являются подключающие устройства в виде «ложе гвоздей» - матрицы подпружиненных контактов или матрицы игольчатых штырей, создающих давление на контактные площадки контролируемых плат за счет потери устойчивости (универсальные системы контактирования УСК, УСК-1), «летающих зондов» [Рыков, 2004].

Основными контролируруемыми параметрами в многослойных коммутационных платах является целостность проводников и отсутствие коротких замыканий между разобращенными цепями.

При увеличении числа точек подключения надежность подключающих устройств падает. Известны контролирующие комплексы с числом точек подключения 4000, 8000, 10 000 и даже 16 000. Сложность изготовления,

ремонта, эксплуатации и стоимость таких устройств возрастают. Цена одного пружинного зонда составляет 100 и более гривен.

В отчете кафедры ТАПР, Харьковского национального университета радиоэлектроники по госбюджетной теме №248-1 раздел 5 приведено описание разработки конструкции и технологии изготовления многозондовых подключающих устройств. В данном разделе рассмотрены основные элементы конструкции макета опытного образца многозондового подключающего устройства для контроля ВГА микросхем.

Предлагаемое для контроля ЭК МПУ [Патент Укра'ши № 95190], обладающее возможностью проверки (самотестирования, самомониторинга) контактирования каждого отдельного зонда с соответствующим выводом контролируемого ЭК, что обеспечивает придание подключающему устройству свойства интеллектуальности за счет возможности получения информации о наличии контакта с любым выводом ЭК и повышение надежности тестирования ЭК, выполнено следующим образом.

МПУ (рис. 1.1) содержит корпус-основу 1, контакты-зонды в виде площадок на прижимающей пластине - гибкой многослойной плате 2 с проводниками, изготовленной из фольгированных диэлектриков, прижатие которой к контролируемому электронному компоненту 4 осуществляется сжатым воздухом, крышку 5, уплотняющую прокладку 7, которая обеспечивает герметичность корпуса, фиксирующий элемент 6, решетку 3 (обеспечивает защиту от провисания) и воздушный объем со штуцером. Согласно изобретению каждая отдельная зонд-площадка (рис. 1.2) разделяется на несколько электрически разъединенных между собой частей, которые предназначены для контактирования с одним шариковым выводом ЭК так, что отдельные части зонда станут электрически соединенными между собой только при контактировании по меньшей мере двух частей к одному выводу, и эти отдельные части соединены отдельными проводниками платы на его противоположном к зоне контактирования конце со стандартным плоским разъёмом.

Основные технические параметры МПУ:

- плотность расположения зондов - 0,5 мм;
- переходное сопротивление - единицы мОм;
- количество одновременно контролируемых элементов - до нескольких тысяч в зависимости от плотности их размещения;

подключение к автоматизированным измерительным комплексам - через ZIF-разъемы.

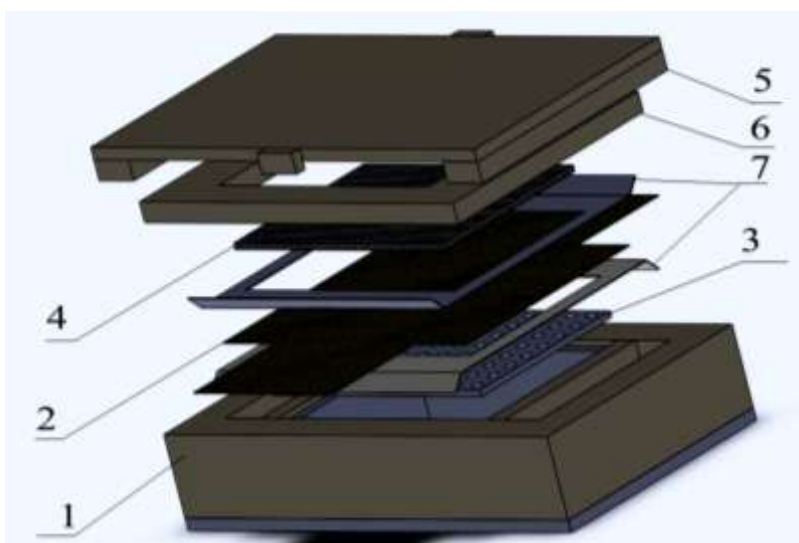


Рисунок 1.1 - 3D модель МПУ



Рисунок 1.2 - Зонд-площадка

Схема подключения BGA компонентов к МПУ представлена на рис.

1.3.

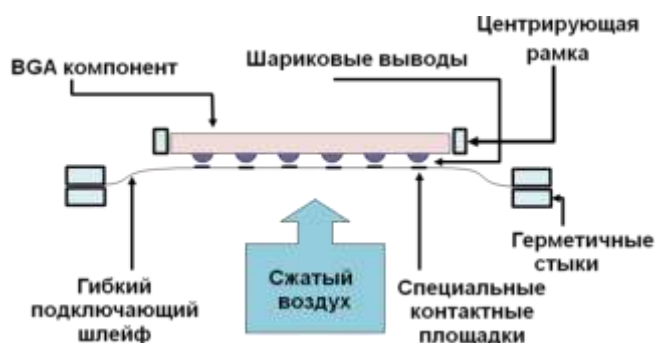


Рисунок 1.3 - Схема подключения BGA компонентов к МПУ

1.2 Анализ объекта контроля.

В качестве объекта контроля были выбраны микросхемы в корпусах FG-320, рисунок 1.4.

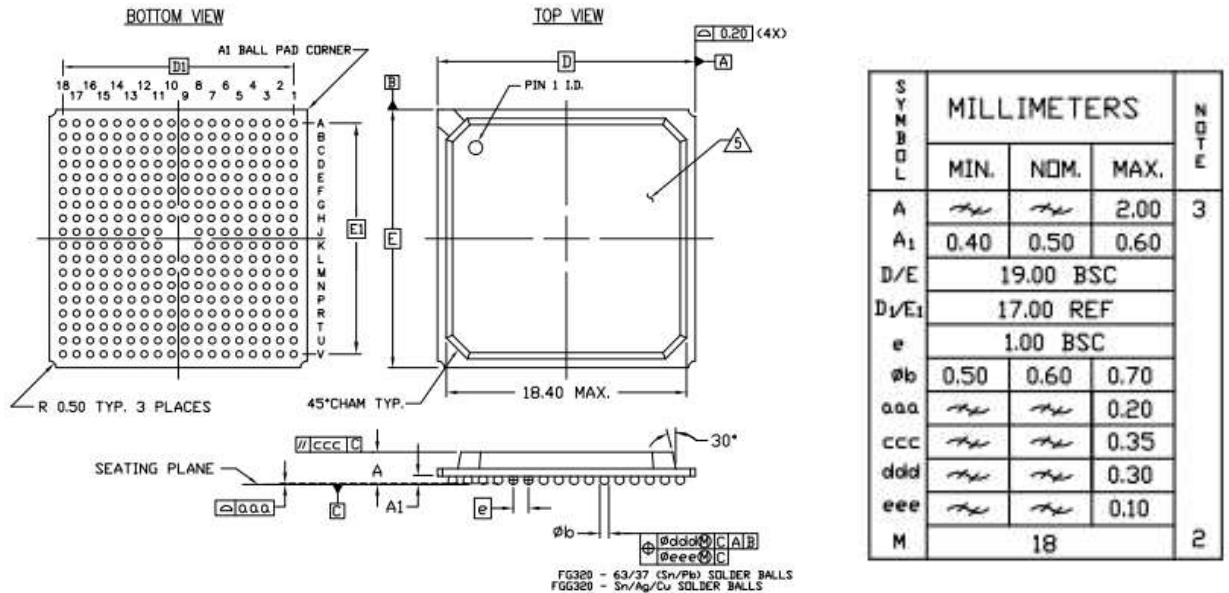


Рисунок 1.4 - Корпус BGA микросхем FG-320

Причиной выбора данного типа корпуса является высокая сложность проектирования топологии прижимающей пластины многозондового подключающего устройства, вызванная большим количеством элементов контроля (выводов) - 320 штук, а так же высокой плотностью их расположения - шаг выводов 1 мм.

1.3 Элементы конструкции макета опытного образца многозондового подключающего устройства.

1.3.1 Прижимающая пластина.

Наиболее технологически сложным и дорогостоящим элементом конструкции опытного образца многозондового подключающего устройства является прижимающая пластина. В качестве материала было принято решение выбрать полиимид марки ФДИ-35, фольгированный алюминием,

который отличающийся хорошими технологическими, временными и климатическими характеристиками.

Разводка топологии прижимающей пластины выполнена в двух слоях и приведена на рисунке 1.5 и 1.6.

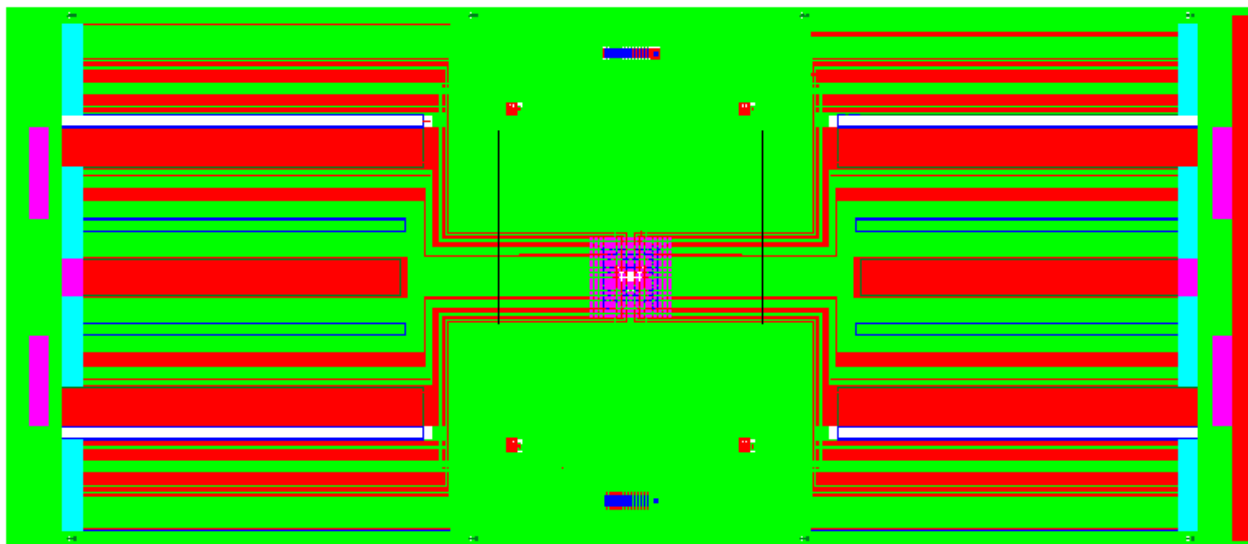


Рисунок 1.5 - Топология прижимающей пластины (рабочие и технологические зоны)

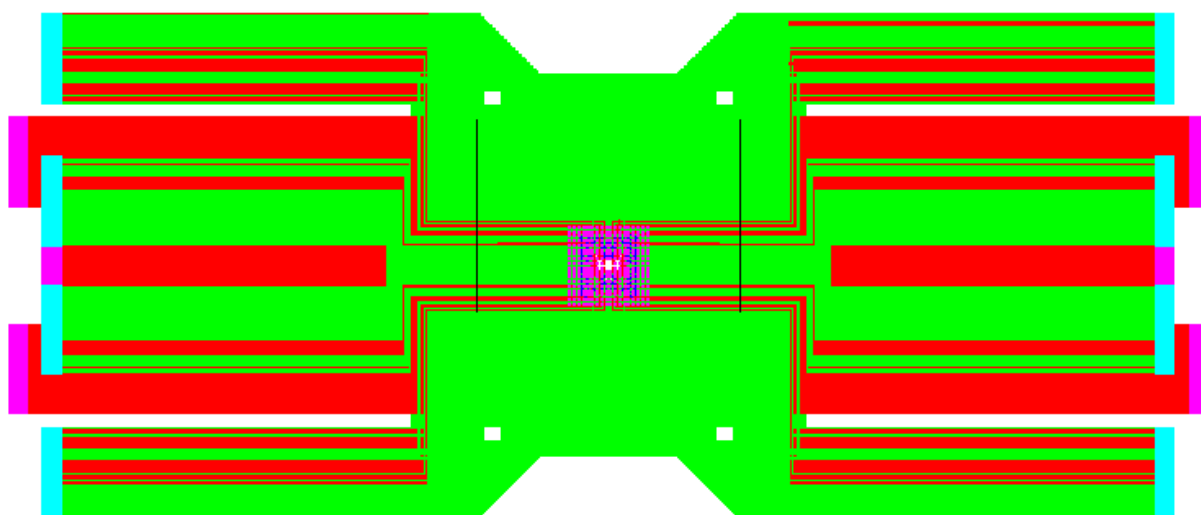


Рисунок 1.6 - Топология прижимающей пластины (рабочая зона)

На первом слое прижимающей пластины находятся контактные элементы (зонды) и частично осуществлена разводка проводников, также он содержит десять внешних шлейфов, через которые МПУ подключается к внешнему измерительному устройству, по пять с двух противоположных сторон, рисунок 1.7. Ширина проводников прижимающей пластины 75мкм, минимальное расстояние между проводниками 75мкм.

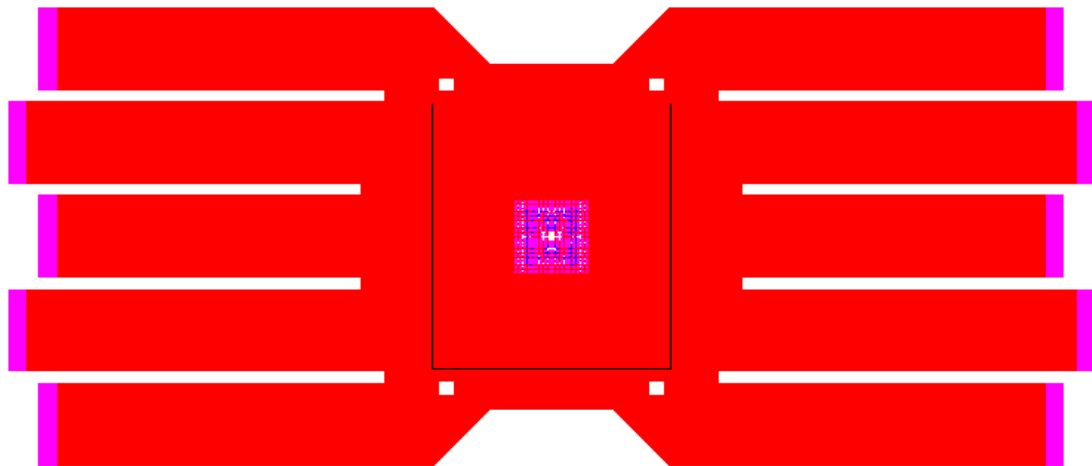


Рисунок 1.7 - Топология первого слоя прижимающей пластины.

На втором слое осуществлена разводка оставшихся проводников и также находится восемь внешних шлейфов, через которые МПУ подключается к внешнему измерительному устройству, по четыре с двух противоположных сторон, рисунок 1.8.

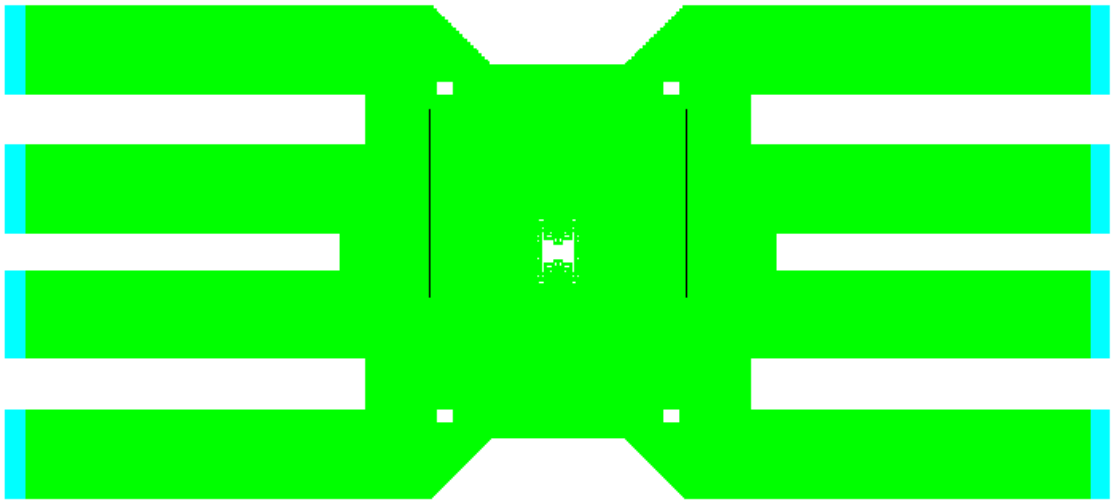


Рисунок 1.8 - Топология второго слоя прижимающей пластины

Межслойные соединения выполняются при помощи ультразвуковой сварки через окна в полиимиде 150x150мкм, рисунок 1.9.

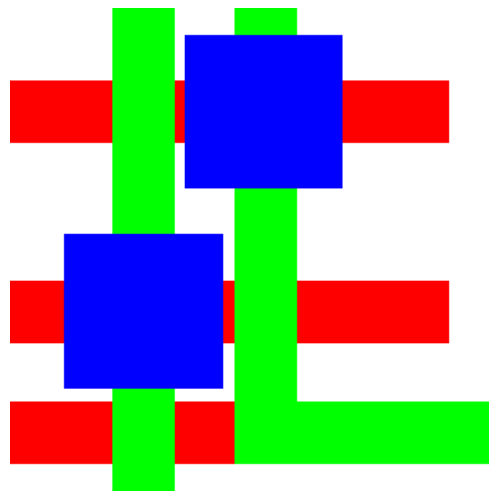


Рисунок 1.9 - Окно в полиимиде для межслойной сварки.

Каждый зонд прижимающей пластины разбит на два независимых контактных элемента. Данный тип зонда используется ввиду того, что сложность контактирующих устройств для контроля электрических параметров МКП возрастает при увеличении числа точек контроля, уменьшении размеров контактных площадок. Снижается надежность

контроля, в результате чего для исключения ошибок контроля вводятся операции ручной перепроверки отдельных цепей плат.

Основными контролируруемыми параметрами плат являются целостность проводников и отсутствие коротких замыканий между разобщенными цепями. При автоматическом контроле этих параметров и использовании подключения к контактным площадкам плат с помощью одного зонда возможны ошибки двух видов:

- при контроле целостности проводников из-за отсутствия контакта зонда с одним из концов проводника он будет забракован как имеющий разрыв, т. е. возможно забраковывание годного изделия;

- при контроле отсутствия короткого замыкания разобщенных цепей при отсутствии контакта одного из зондов с контролируемой цепью короткое замыкание не будет выявлено даже при его наличии, т. е. возможен пропуск брака.

На рис. 1.10 показан зонд, выполненный в виде два независимых контактных элементов. От каждого контактного элемента на внешний конец шлейфа выведен один проводник. Такое разделение частей зонда обеспечивает наличие контакта между разобщенными частями при небольших смещениях контактных площадок платы и зондов подключающего устройства по осям в плоскости платы.

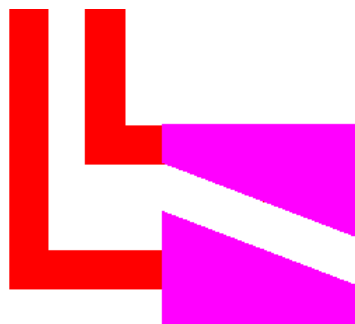


Рисунок 1.10 - Зонд МКУ

Таким образом, подключающее устройство обеспечивает возможность контроля наличия контакта каждого из множества зондов с соответствующим контролируемым выводом микросхемы. Кроме увеличения надежности контакта, получена возможность контроля наличия контакта. Возможность контроля контактирования также исключает описанные выше ошибки контроля первого и второго рода.

Размеры зонда прижимающей пластины 400х400 мкм. Зонды прижимающей пластины и элементы подключения внешних шлейфов необходимо покрывать слоем никеля, что не позволит окисляться алюминиевой фольге и повышать переходное сопротивление.

С целью снижения себестоимости изготовления опытный образец макета многозондового подключающего устройства был упрощен — сократилось количество внешних (выводных) шлейфов: один в первом слое и два во втором.

На рисунках приведены топологии элементов прижимающей пластины:

- топология технологической и рабочей зон прижимающей пластины (рисунок 1.11);
- топология рабочей зоны прижимающей пластины (рисунок 1.12);
- топология первого слоя (рисунок 1.13);
- топология второго слоя (рисунок 1.14).

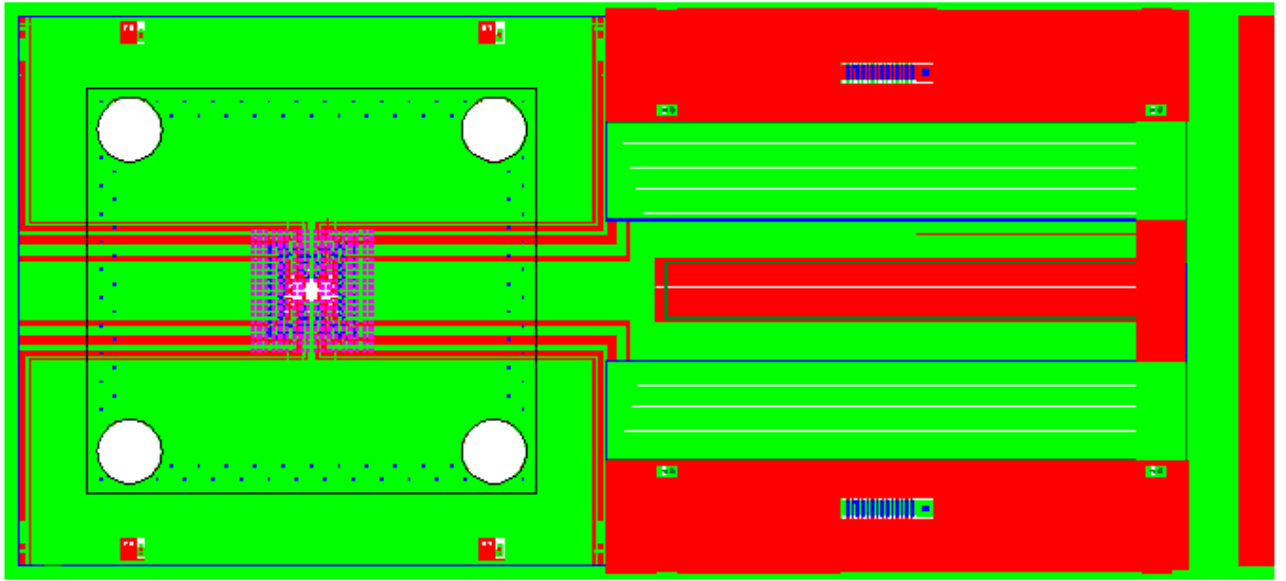


Рисунок 1.11 - Топология технологической и рабочей зон прижимающей пластины.

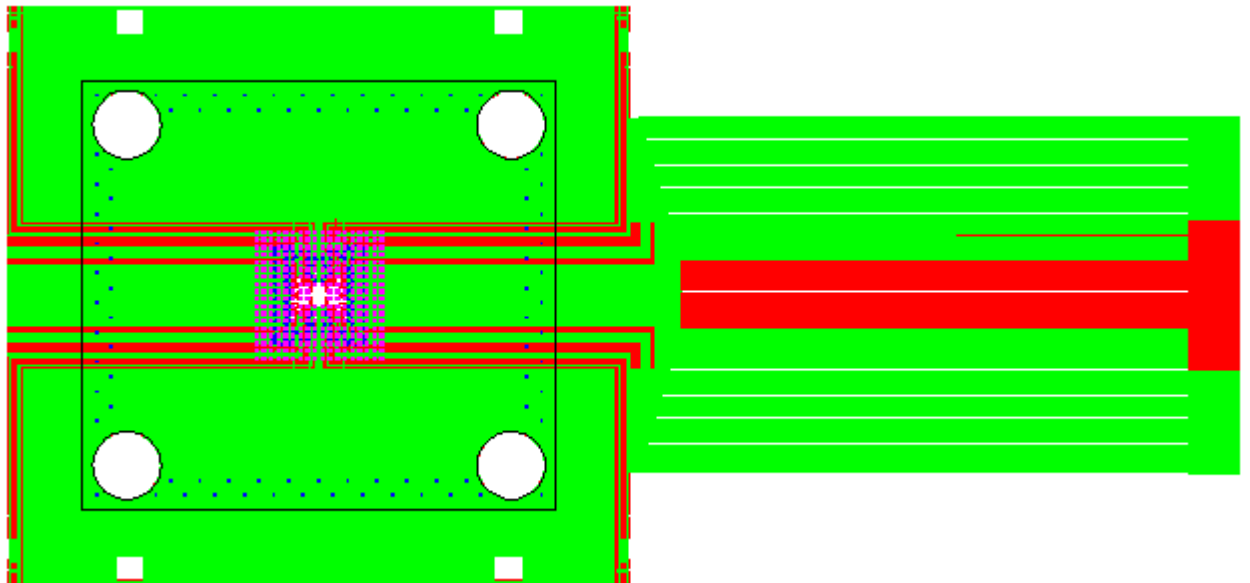


Рисунок 1.12 - Топология рабочей зоны прижимающей пластины.

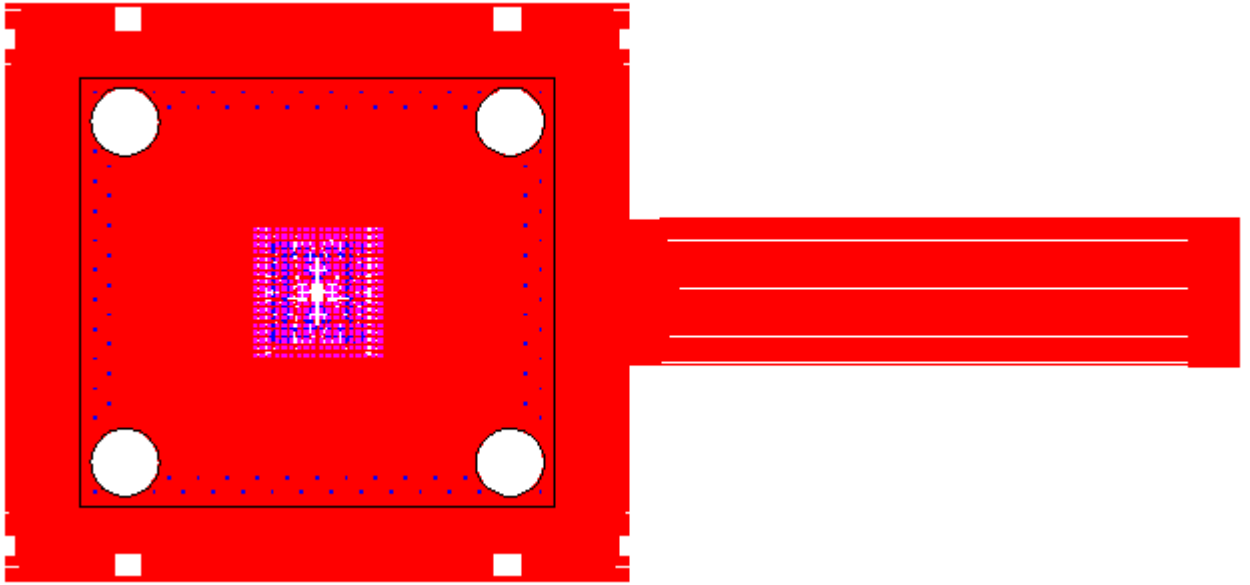


Рисунок 1.13 - Топология первого слоя.

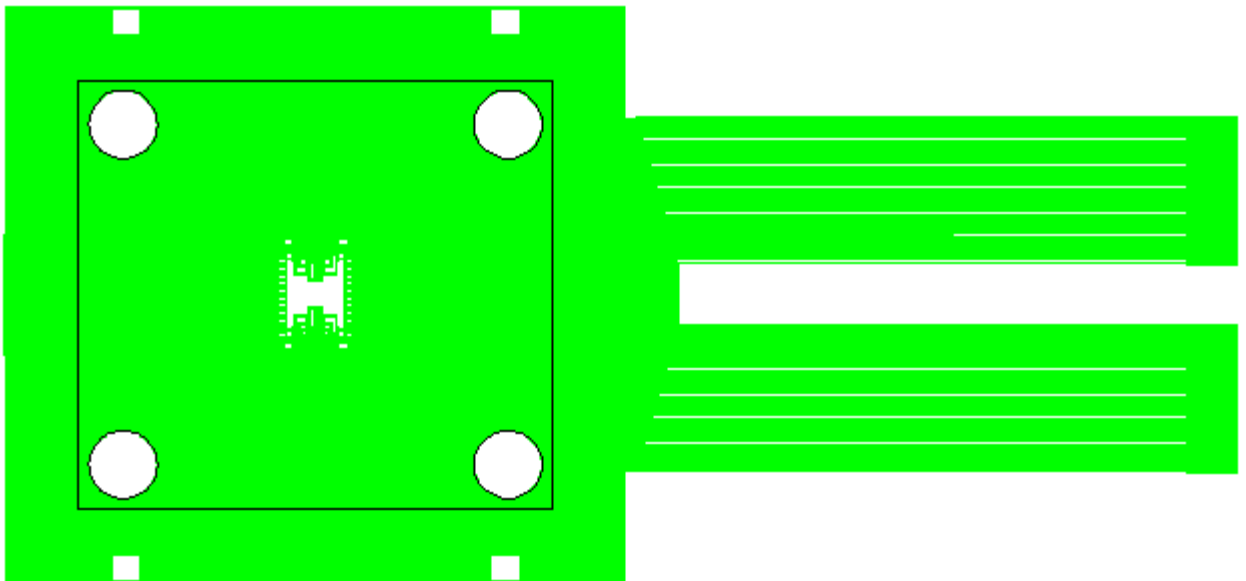


Рисунок 1.14 - Топология второго слоя.

Дополнительно данная топология отличается от предыдущей наличием отверстий для установки прижимающей пластины в корпус многозондового подключающего устройства.

Изготовление опытных образцов было выполнено совместно с НИТИ Приборостроения г. Харьков. При изготовлении первого опытного образца было обнаружено ряд технологических недостатков: неточности совмещения (рис. 1.15 и 1.16), обрыв (рис. 1.17 и 1.18) и короткое замыкание проводников (рис. 1.19)

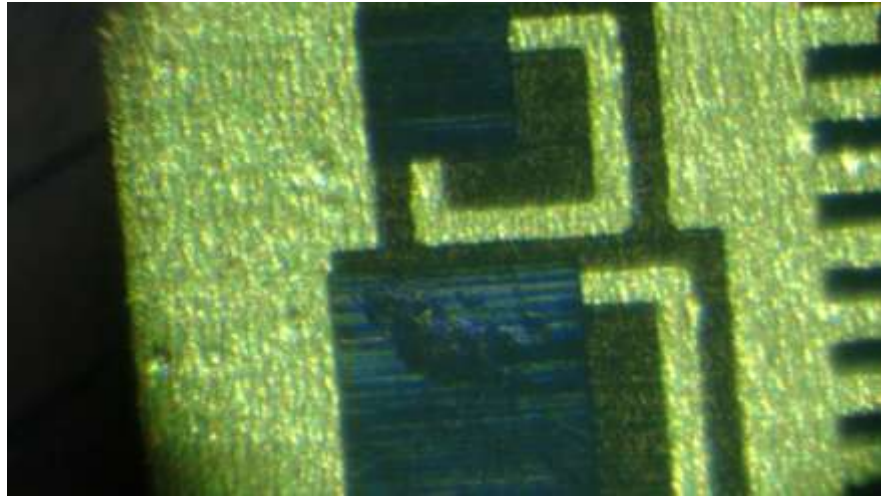


Рисунок 1.15 – Некачественное совмещение масок для травления алюминия и напыления никеля (элемент совмещения)

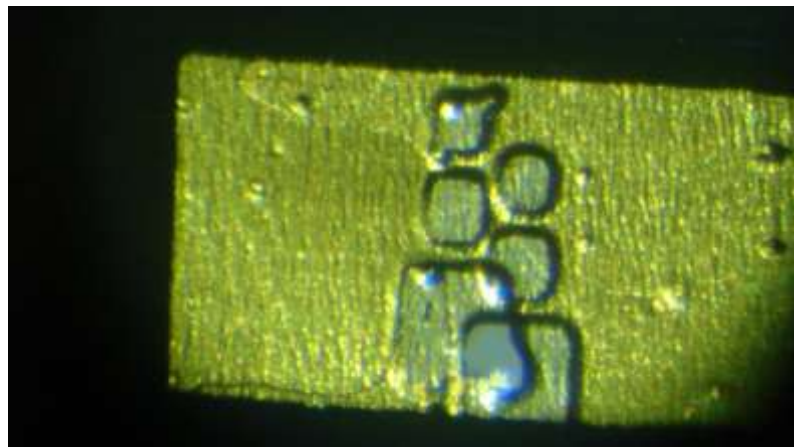


Рисунок 1.15 – Некачественное совмещение слоев прижимающей пластины

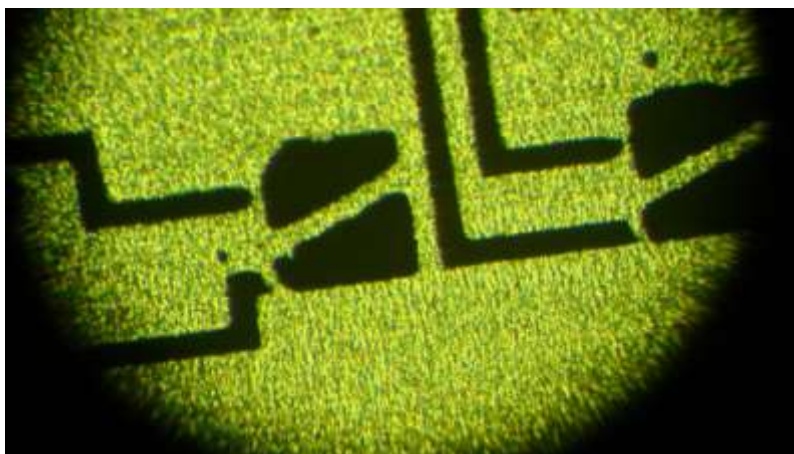


Рисунок 1.17 – Обрыв проводника возле зонда МКП

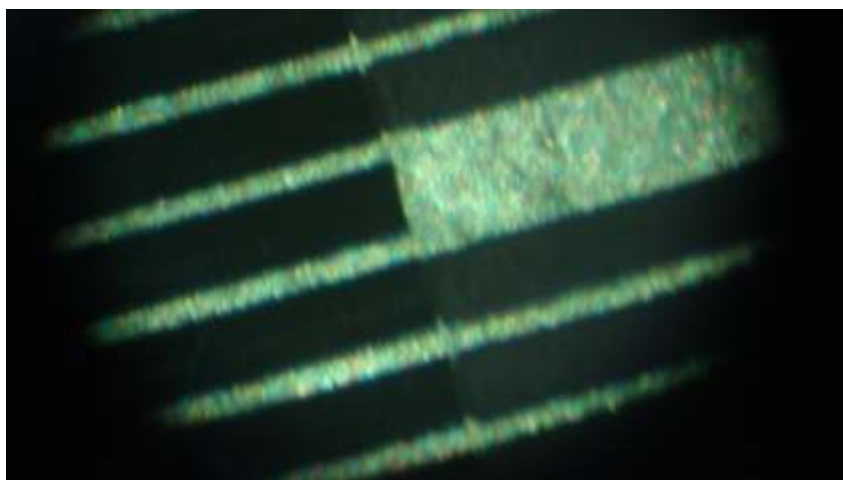


Рисунок 1.18 – Обрыв проводника возле внешнего вывода прижимающей пластины

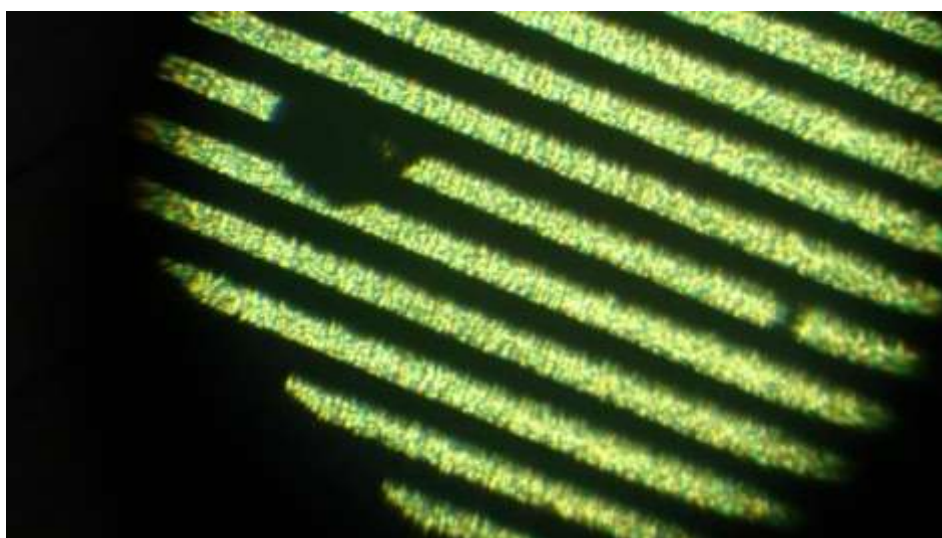


Рисунок 1.19 – Короткое замыкание проводников

При изготовлении второго опытного образца перечисленные недостатки были учтены и устранены. Вид второго опытного образца МКУ, изготовленного совместно с НИТИ Приборостроения, показан на рис. 1.20 и 1.21.



Рисунок 1.20 - Опытный образец прижимающей пластины (контактная сторона).

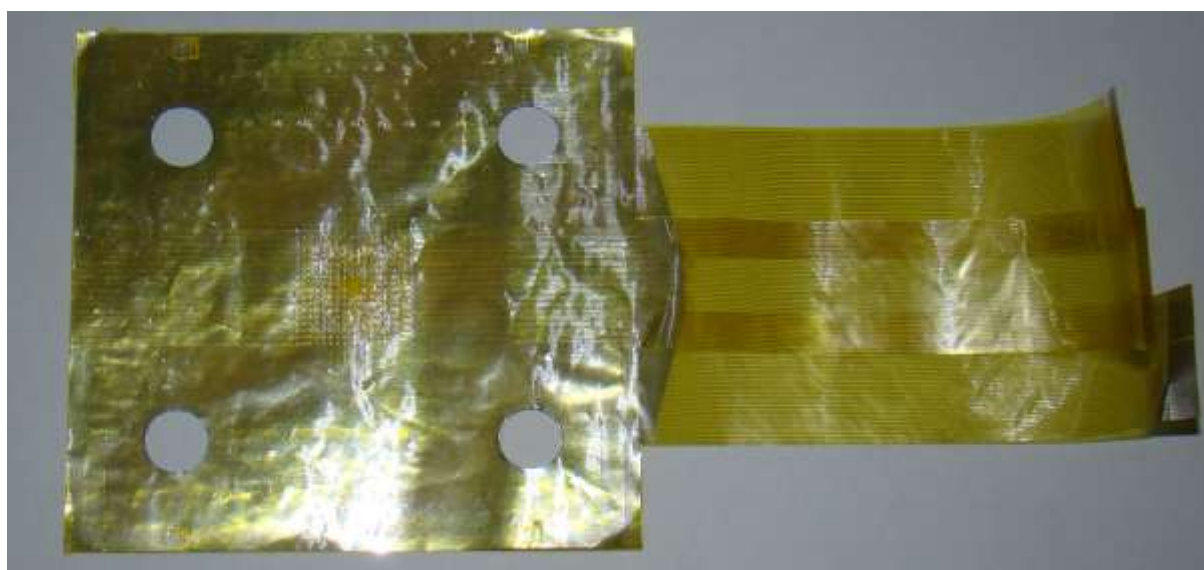


Рисунок 1.20 - Опытный образец прижимающей пластины (обратная сторона).

На рисунках 1.21 - 1.25 представлено увеличенное изображение элементов опытного образца прижимающей пластины.

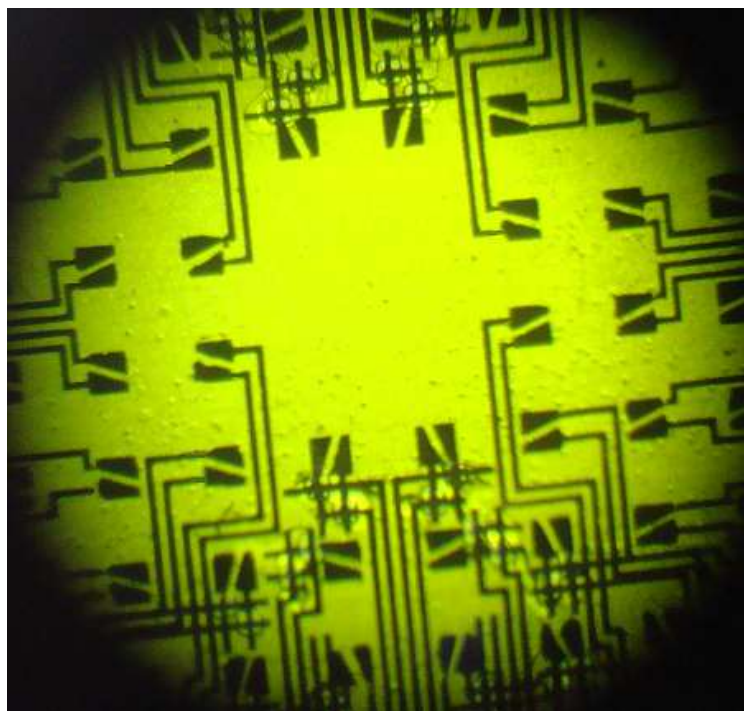


Рисунок 1.21 - Прижимающая пластина (общий вид).

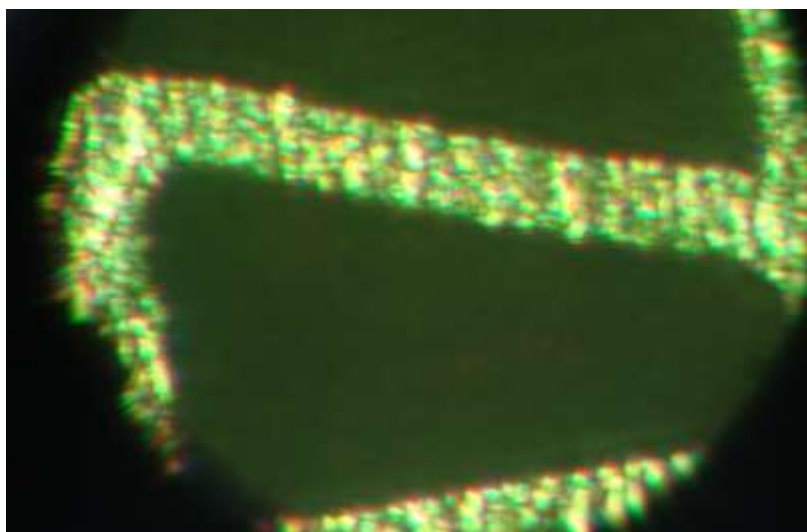


Рисунок 1.22 - Зонд

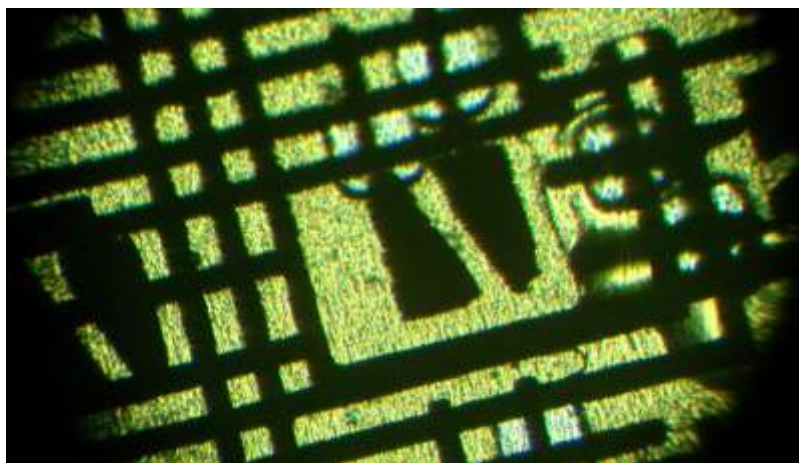


Рисунок 1.23 - Сварочное соединение, окно сварки, зонд.

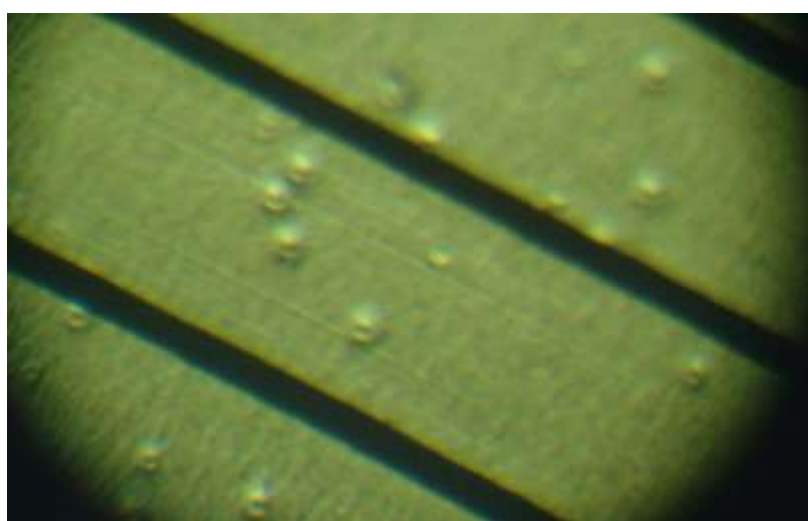


Рисунок 1.24 - Проводники.

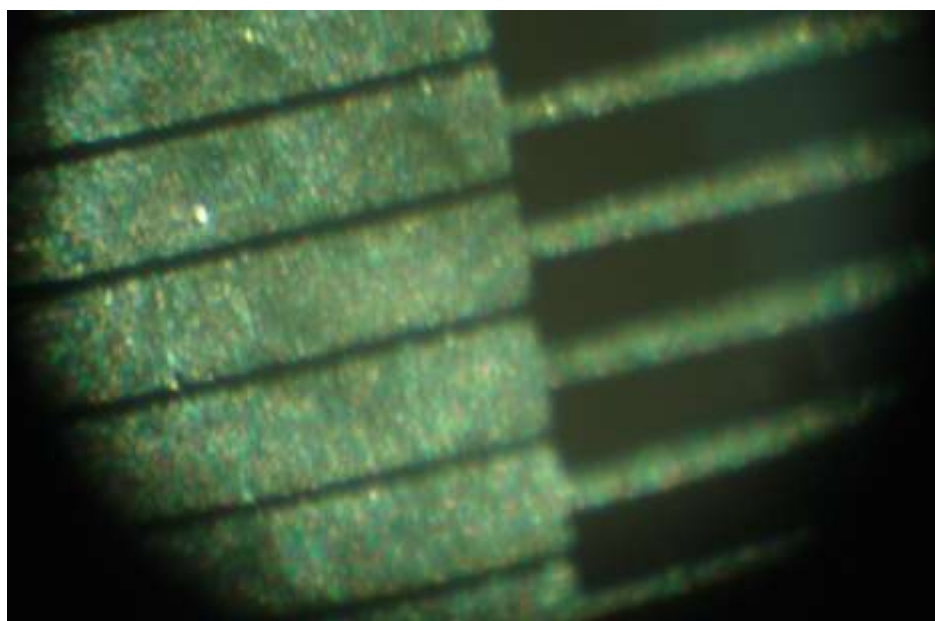


Рисунок 1.25 – Элементы подключения внешних шлейфов.

1.3.2 Корпус многозонового подключающего устройства

Основными требованиями к корпусу многозонового подключающего устройства являются: герметичность, возможность подачи и отвода воздуха, надежность и возможность фиксации в в корпусе объекта контроля.

В качестве основы для изготовления корпуса многозонового подключающего устройства выбран герметичный корпус из алюминиевого сплава ADC-10 (JIS) GAINTA G104, рисунок 1.26, 1.27.



Рисунок 1.26 - Корпус GAINTA G104

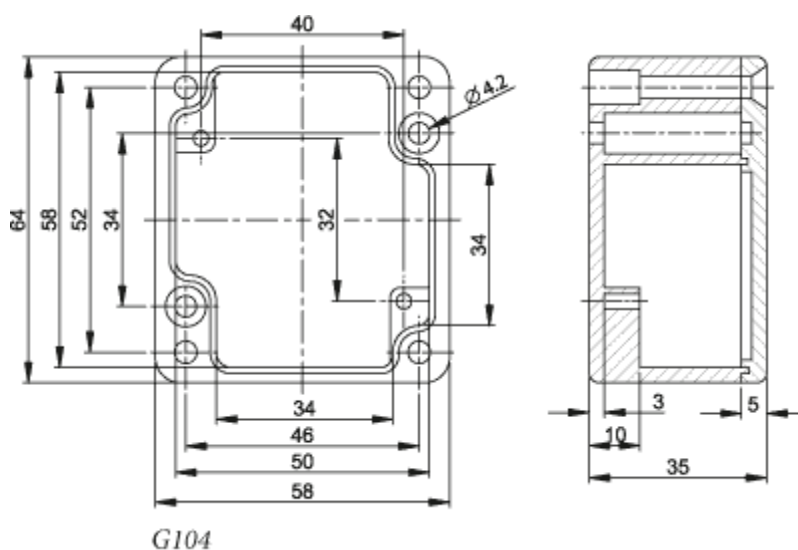


Рисунок 1.27 - Конструкция корпуса GAINTA G104

Для обеспечения подачи сжатого воздуха и отвода его в корпус устанавливаются ниппели, рисунок 1.28. Контролируемая микросхема жестко фиксируется в крышке корпуса.



Рисунок 1.28 - Корпус многозондового подключающего устройства.

Подача воздуха в корпус для осуществления контакта прижимающей пластины и объекта контроля осуществляется из баллона со сжатым воздухом через дроссель и манометр для контроля давления внутри корпуса.

Для снижения вероятности появления дефектов прижимающей пластины принято решение использовать дополнительные прокладки из вакуумной резины, которые не будут снижать герметичность корпуса и в то же время снизят деформацию ПП при закрывании крышки.

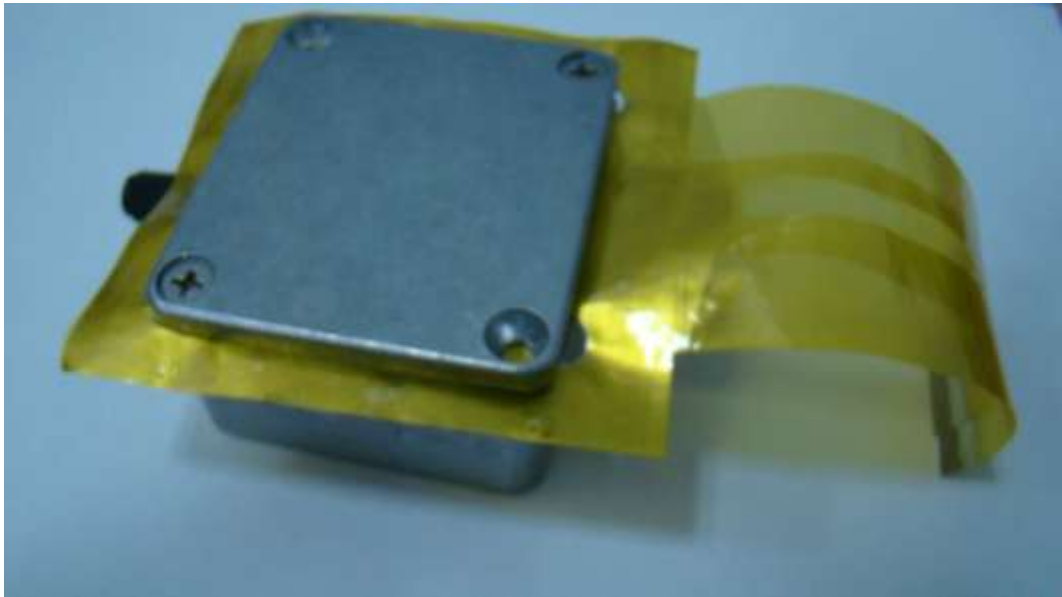


Рисунок 1.29 - Прижимающая пластина в корпусе МКУ

1.3.3 Подключение МПП к автоматизированному измерительному комплексу.

Немаловажным вопросом в проведении измерения во время эксплуатации многозондового подключающего устройства являются методы подключения их к автоматизированным измерительным комплексам (АИК). Было принято решение для подключения шлейфа МПУ к АИК использовать ZIF-разъемы (рисунок 1.30), которые обеспечивают: точность и надежность подключения, большое количество одновременного подключения проводников, снижение вероятности возникновения дефектов, высокую простоту соединения, имея малые габариты и низкую себестоимость.



Рисунок 1.30 - ZIF-разъем

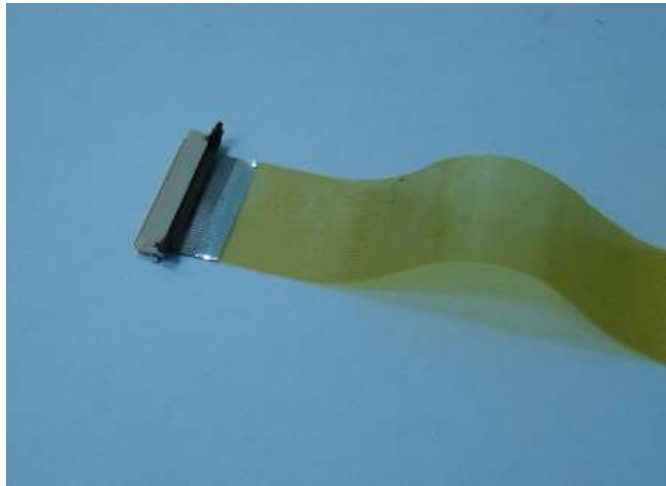


Рисунок 1.31 - Внешний шлейф прижимающей пластины в ZIF-разъеме

Для подключения МПП к АИК разработана жесткая двухслойная плата с ZIF-разъемами. Двукратное увеличение количества выходящих из МПУ проводников усложняет их подключение к контрольной аппаратуре и требует новых конструктивно-технологических решений. Однако сложности с успехом решаются за счет миниатюризации шлейфов по сравнению с проводниково-кабельной системой соединений. Кроме того пинято решение разработать модульную коммутационную плату.

Один элемент - коммутационная плата, представлен на рисунках 1.32, 1.33

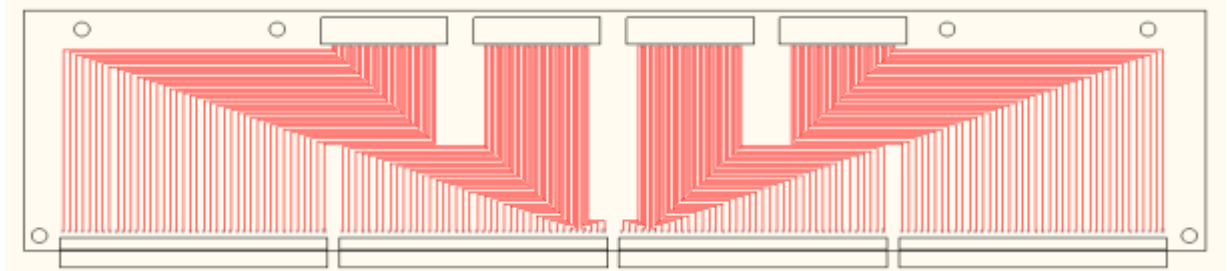


Рисунок 1.32 – Топология коммутационной платы

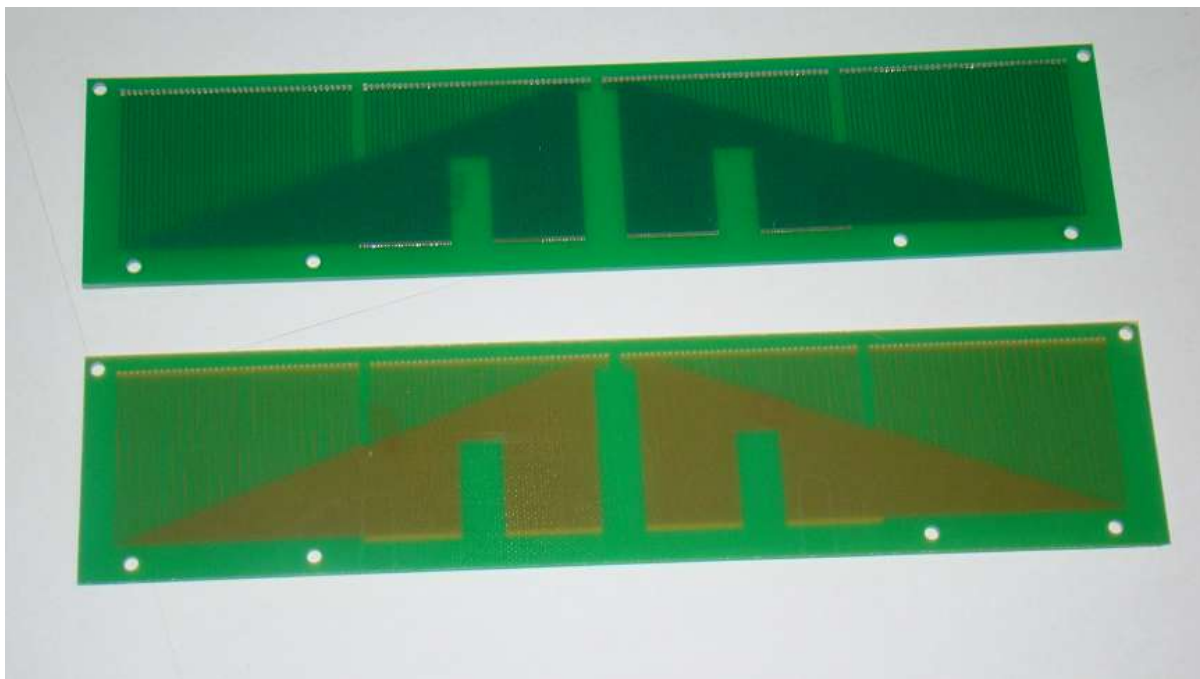


Рисунок 1.33 - Коммутационная плата

С одной стороны коммутационной платы устанавливаются ZIF-разъемы, рисунок 1.34.

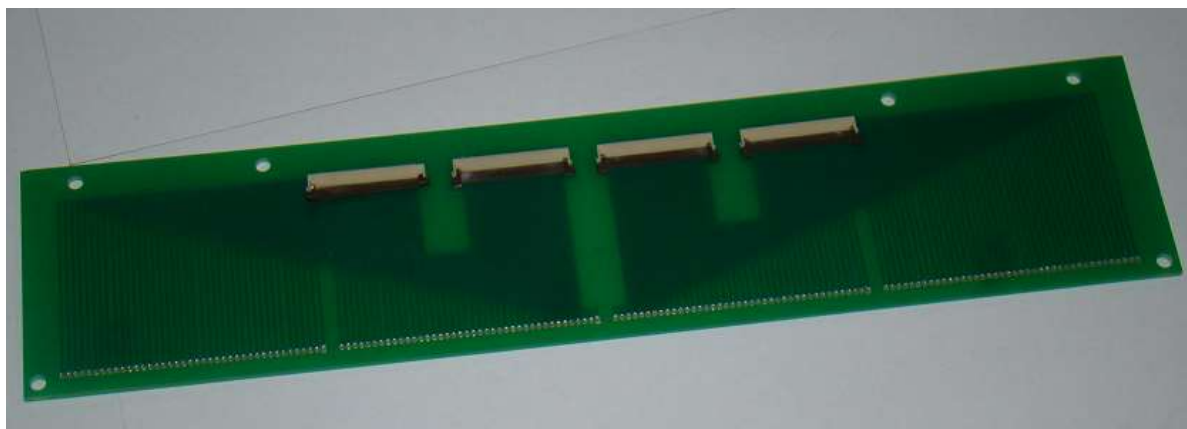


Рисунок 1.34 - Коммутационная плата с установленными ZIF-разъемами.

Общий вид коммутационного модуля представлен рисунке 1.35.

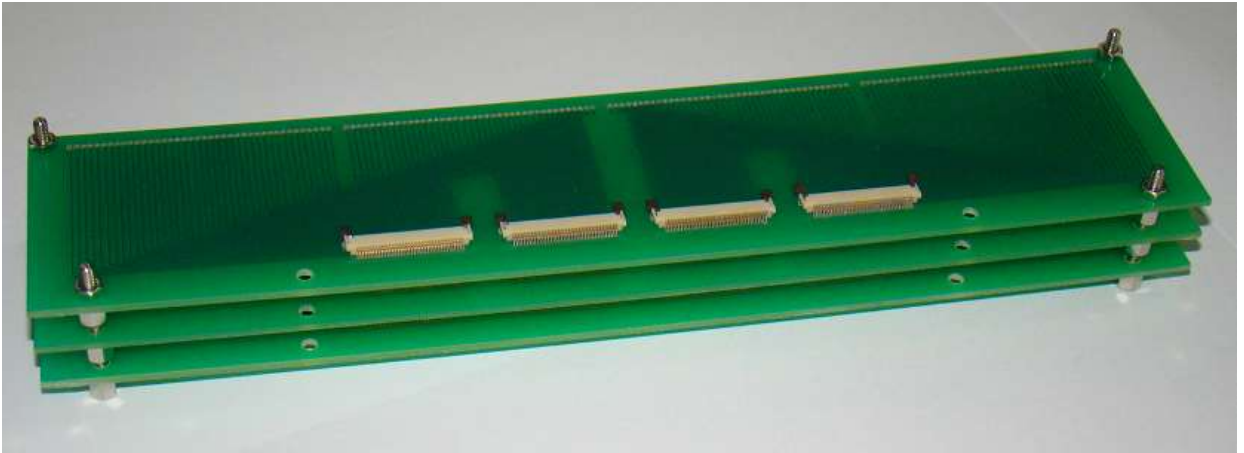


Рисунок 1.35 - Коммутационный модуль в сборе

Для обеспечения работы макета опытного образца достаточно двух коммутационных плат, в общем случае коммутационная плата состоит из трех плат, при этом для работы МПУ необходимо два модуля на противоположных сторонах МПУ.

Коммутационный модуль в свою очередь подключается к ПЛИС для обеспечения переключения режимов работы МПУ.

1.4 Исследование механических параметров МПУ

Согласно нормативным документам контактное усилие при контроле ЭК на одну контактную группу должно составлять 3...30 г.

Контактное давление равно:

$$F_k = P_k \div S, \quad (1.1)$$

где F_k - контактное усилие;

S - площадь прижимной пластины.

Контактное усилие рассчитывается по формуле:

$$F_k = m \cdot n \cdot g, \quad (1.2)$$

где m - контактное усилие на одну контактную группу; n - количество выводов BGA-компонента;

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Корпуса МПУ имеют квадратную форму, исходя из этого площадь контактной зоны равна:

$$S = a^2, \quad (1.3)$$

где a – длина стороны корпуса.

Для определения контактного усилия в зависимости от площади прижимной пластины необходимо провести исследование разных типов корпусов МКП.

Произведен расчет контактного усилия для корпуса с выводами типа RBGA 144, RBGA 196, RBGA 256, RBGA 320

$$F_{k \min} = 3 \cdot 144 \div 1000 \cdot 9,8 = 4,23 (Н),$$

$$F_{k \max} = 30 \cdot 144 \div 1000 \cdot 9,8 = 42,33 (Н)$$

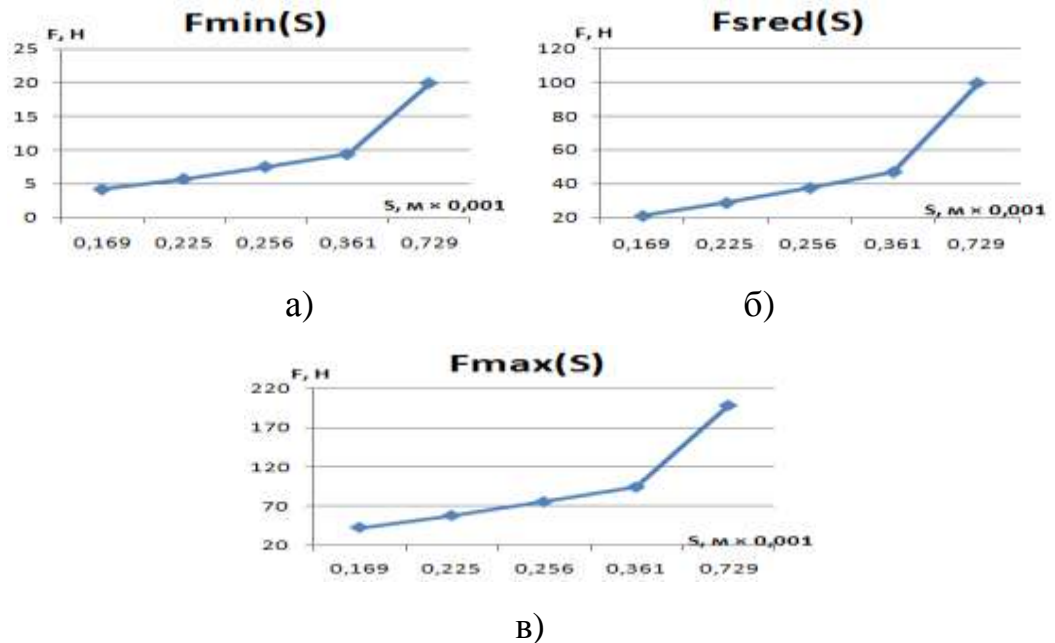
Результаты расчетов контактного усилия для разных типов корпуса приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Результаты расчетов контактного усилия.

Тип корпуса	Количество выводов, шт	S, м ² ·10 ⁻³	F _k , Н
RBGA 144	144	0,169	4,23 – 42,33
RBGA 196	196	0,225	5,76 – 57,62
RBGA 256	256	0,256	7,53 – 75,26
FG320	320	0,361	9,4 – 94,08

По результатам расчетов построены графики зависимости контактного усилия F_k в зависимости от площади прижимной пластины S .

На рисунке 1.36 показаны графики зависимости $F_k(S)$.



а) при F_{min} , б) при F_{sred} , в) при F_{max}

Рисунок 1.36 – Зависимость $F_k(S)$

По результатам исследований можно сделать выводы о том что, при смене контролируемого объекта с помощью полученных графиков можно определить контактное усилие F_k , не проводя дополнительных экспериментов.

Выполнив расчеты контактного усилия F_k , можно рассчитать контактное давление которое можно использовать при подаче сжатого воздуха в корпус МПУ

Вычисление контактного давления для корпуса с выводами типа RBGA 144:

$$P_k = 4,23 \dots 42,33 \div 0,169 \cdot 10^{-3} = 25,05 \dots 250,2 \text{ кПа.}$$

Контактное давление для корпуса типа с выводами RBGA 196:

$$P_k = 5,76...57,62 \div 0,225 \cdot 10^{-3} = 25,6...256,2 \text{ кПа.}$$

Для корпуса с выводами типа RBGA 256:

$$P_k = 7,53...75,26 \div 0,256 \cdot 10^{-3} = 29,4...294 \text{ кПа.}$$

Для корпуса с выводами типа FG 320:

$$P_k = 9,4...94,08 \div 0,361 \cdot 10^{-3} = 26...260,6 \text{ кПа.}$$

Для корпуса с выводами типа RBGA 676:

$$P_k = 19,87...198,74 \div 0,729 \cdot 10^{-3} = 27,26...272,6 \text{ кПа.}$$

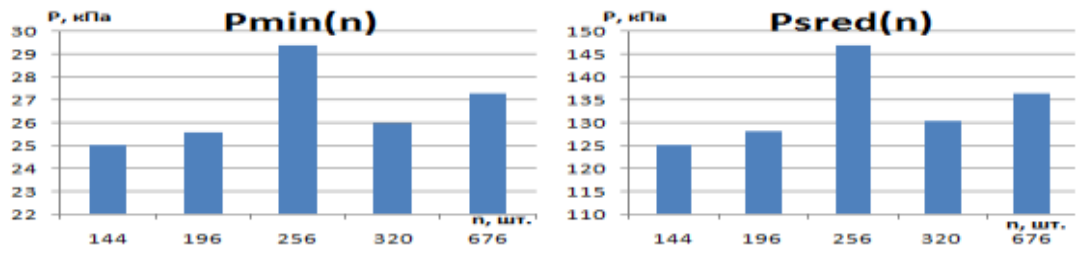
По результатам расчетов построены графики зависимости контактного давления P_k от количества выводов n .

Результаты расчетов контактного давления приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчета контактного давления

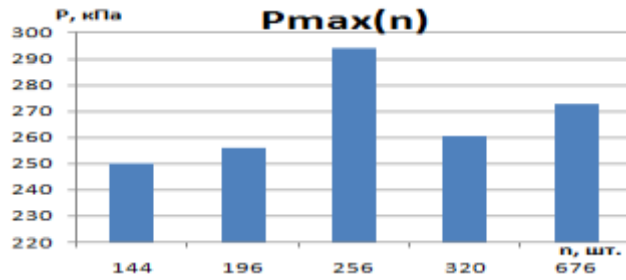
Тип корпуса	Количество выводов, шт	P_k , кПа	Давление на одну контактную группу $P_{k.1k}$, кПа
RBGA 144	144	25,05...250,2	0,17...1,74
RBGA 196	196	25,6...256,2	0,13...1,3
RBGA 256	256	29,4...294	0,11...1,14
FG 320	320	26...260,6.	0,08...0,8
RBGA 676	676	27,26...272,6.	0,04...0,4

На рисунке 1.37 показаны графики зависимости $P_k(S)$.



а)

б)



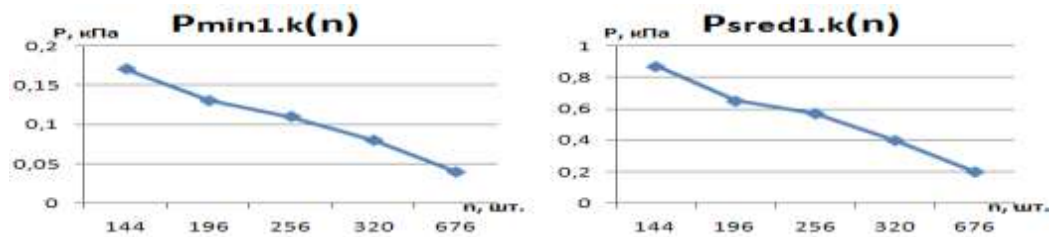
в)

а) при P_{min} , б) при P_{sred} , в) при P_{max}

Рисунок 1.37 – Зависимость $P_k(S)$.

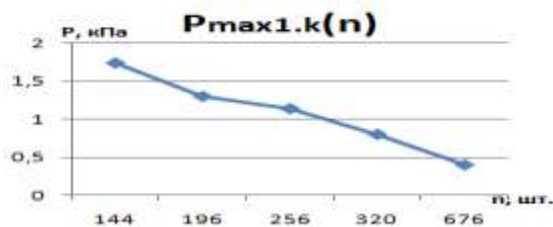
По результатам расчетов построены графики зависимости контактного давлением на один контакт $P_{k.1k}$ от количеством выводов n .

На рисунке 1.38 показаны графики зависимости $P_{k.1k}(n)$.



а)

б)



в)

а) при $P_{min1.k}$, б) при $P_{sred1.k}$, в) при $P_{max1.k}$

Рисунок 1.38 – Зависимость $P_{k.1k}(n)$.

По результатам исследований можно сделать выводы о том что, с помощью графиков можно определить контактное давление P_k , а так же контактное давление на один контакт $P_{k.1k}$ для разного количества выводов и корпусов с выводами типа BGA.

Таким образом, в корпусе МПУ должна обеспечиваться подача сжатого воздуха под давлением в диапазоне 25...300 кПа, что равно 0,25...3 бар.

1.5 Исследование переходного сопротивления контакта шариковый вывод-полиимидный шлейф

Одной из основных проблем при тестировании BGA-компонентов является получение стабильного сопротивления контакта. Определение распределения сопротивления контактов играет важную роль при оценке эксплуатационной надежности контактирующего устройства (соединителя).

Ухудшение или нарушение контактов соединителя может значительно снизить результат первого теста и увеличить время повторной проверки.

При контроле электронных компонентов очень важно точно измерять электрические параметры, так как недостаточная точность контроля может привести к браку целой партии продукции или признанию годными – бракованных изделий. Особенно важно это при функциональном контроле ЭК, где требуется измерение функциональных зависимостей.

В процессе производства при измерении электрических параметров на оборудование могут влиять такие негативные факторы, как износ оборудования, загрязнение оборудования или продукции, человеческий фактор. Поэтому целью данного исследования является анализ параметров МПУ, которые могут повлиять на надежность и точность контроля ЭК. В

качестве основных исследуемых параметров выбраны переходные сопротивления в зоне контакта «шариковый вывод-зонд МПУ».

Переходное сопротивление – резкое увеличение активного сопротивления в месте перехода тока из одной детали в другую.

Проведен эксперимент для определения допустимого контактного усилия для прижатия полиимидного шлейфа к контролируемому компоненту с матричными шариковыми выводами посредством измерения переходного сопротивления контактов BGA-компонентов с полиимидным подключающим шлейфом.

Для измерения переходного сопротивления использовались макеты BGA-компонентов («dummies»), была вскрыта крышка, что обеспечило доступ к контактам ЭК с двух сторон. Измерения проводились для разного числа выводов, подключаемых к МПУ. К контактам постоянно были припаяны проводники.

Для измерения таких значений был использован четырёхзондовый метод (рис. 1.39), который позволяет исключить влияние сопротивления соединительных проводов вольтметра ввиду его большого входного сопротивления, а сопротивления соединительных проводов источника тока – путем подстройки нужной величины тока.

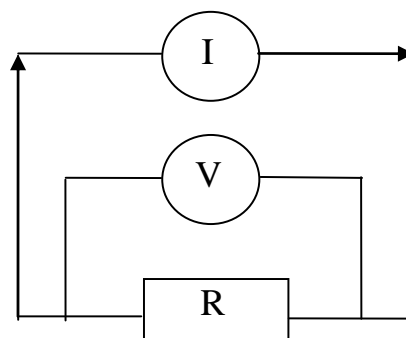


Рисунок 1.39 – Схема четырёхзондового метода измерения сопротивления

Суть эксперимента заключается в анализе изменения сопротивления в зависимости от изменения давления в контактной группе «шариковый вывод-полиимидная пленка». Для обеспечения необходимых величин давления использовались разновесы от 1 до 150 г.

В табл. 1.3. и табл. 1.4 представлены усредненные результаты полученных в ходе эксперимента значений исходя из расчёта давления на каждый шарик в отдельности. Полученные в ходе эксперимента зависимости представлены на рис. 1.40 и рис. 1.41.

Таблица 1.3 – Результаты измерения переходного сопротивления

Сила, Н	Сопротивление, мОм					
	1	2	3	4	5	6
0,01	0,12	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114
0,02	0,12	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114
0,05	0,117	0,113	0,114	0,114	0,114	0,114
0,1	0,116	0,11	0,114	0,114	0,114	0,114
0,2	0,118	0,109	0,108	0,113	0,108	0,114
0,5	0,108	0,108	0,108	0,107	0,107	0,107
1,0	0,108	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107
1,5	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,106

Таблица 1.4 – Усредненные результаты полученных значений

Сила, Н	Сопротивление, мОм
0,000575	0,115
0,001151	0,115
0,002876	0,114333333
0,005753	0,113666667
0,011505	0,111666667
0,028763	0,1075
0,057526	0,107166667
0,086289	0,106833333

Из приведенных зависимостей следует, что при силе прижатия от 0,01 до 0,03 Н сопротивление резко падает, в диапазоне от 0,03 до 0,09 Н – также продолжает падать, но уже достаточно медленно.

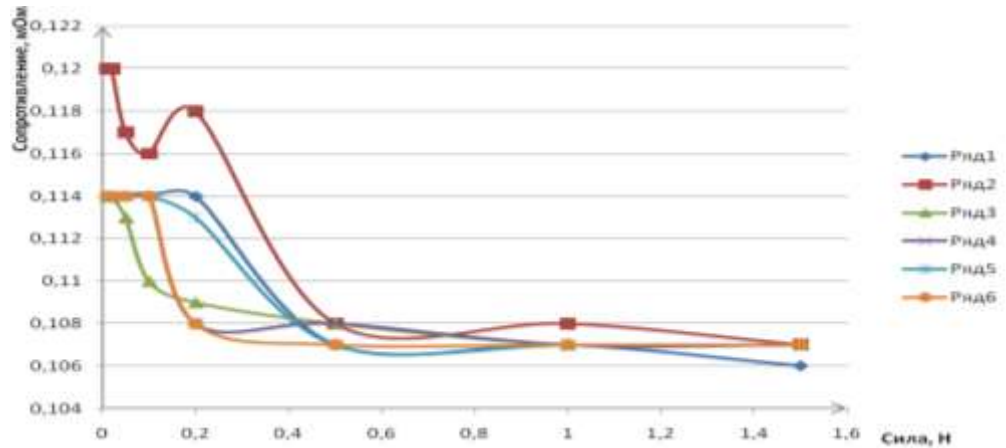


Рисунок 1.40 – Зависимости сопротивления от силы прижатия контактов для 6 экспериментов

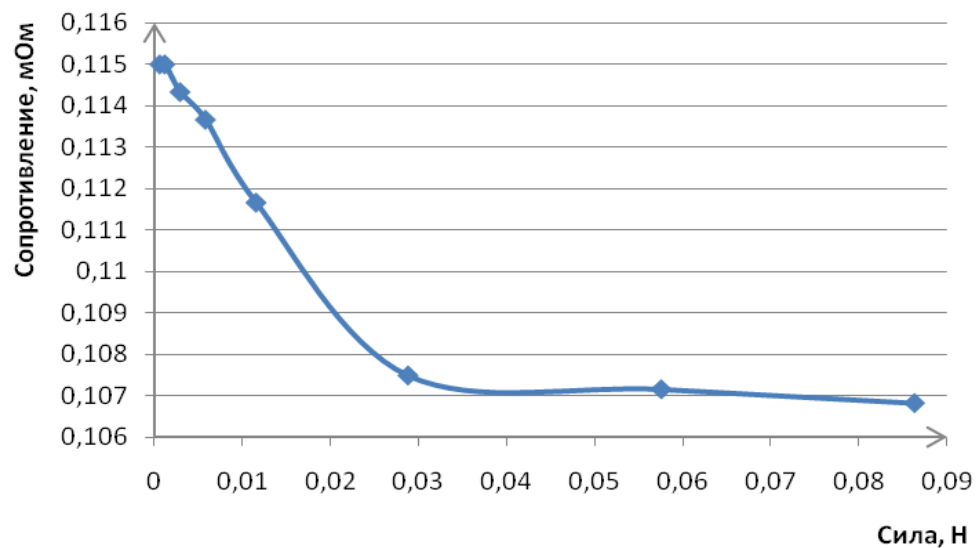


Рисунок 1.41 – Усредненные значения сопротивления, исходя из расчета давления на каждый шарик в отдельности

При анализе полученных результатов можно сделать вывод, что в корпусе МПУ при поджатии сжатым воздухом подключающего шлейфа к BGA-компоненту значение силы, действующей на один шариковый вывод, должно лежать в пределах 0,07-0,3 Н.

Полученные результаты также совпадают с требованиями стандартов к величине контактного усилия при контроле ЭК с использованием многозондовых подключающих устройств.

Определяем минимально допустимое давление сжатого воздуха в корпусе МПУ исходя из требований обеспечения необходимого переходного сопротивления в области контакта зонда с шариковым выводом ЭК. При контроле микросхемы в корпусе FG-320 оно должно составлять 0,056 МПа.

1.6 Выводы к первому разделу

В качестве объекта контроля была выбрана микросхема с 320 шариковыми выводами в корпусе FG-320.

Разработанный вариант топологии проанализирован исходя из требований улучшения электрических и эксплуатационных характеристик прижимающей пластины МПУ. Одной из основных электрических характеристик является переходное сопротивление проводников. Был проведен расчет математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения значений сопротивлений.

В качестве материала гибкого шлейфа выбран полиимид марки ФДИ-А-50. Окончательный вариант топологии разработан исходя из таких исходных параметров: ширина проводников – 70 мкм, зазор между ними – 80 мкм.

Стоит помнить, что увеличение количества слоев существенно влияет на толщину, жёсткость и гибкость пластины, приводит к значительному росту числа межслойных соединений, в результате чего увеличивается стоимость и время изготовления МПУ. При этом может снизиться качество контактирования площадки-зонда с ЭК. Однако качество прижатия можно обеспечить за счет необходимого давления сжатого воздуха в корпусе МПУ.

Было определено, что величина давления сжатого воздуха для обеспечения надежного тестирования должна лежать в диапазоне 0,025...0,25 МПа.

Таким образом, при проектировании гибкого шлейфа МПУ необходимо находить компромисс между толщиной используемого полиимидного материала, количеством слоев прижимающей пластины и значениями сопротивлений проводников в каждом слое при обеспечении минимально возможной величины паразитной емкости.

Исследования напряженно-деформированного состояния подключающей пластины многозондового устройства контроля электронных компонентов типа BGA/CSP с применением метода конечных элементов подтверждают возможность использования многозондовых подключающих устройств для контроля МКП и ЭК с целью обеспечения высокой точности контактирования и повышения надежности контроля.

Экспериментально было проверено, что надежный контакт зонда МПУ с выводом контролируемого ЭК обеспечивается при контактном усилии 0,07...0,3 Н.

Таким образом, минимально допустимое давление сжатого воздуха в корпусе МПУ, исходя из требований обеспечения необходимого переходного сопротивления в области контакта зонда с шариковым выводом ЭК, при контроле микросхемы в корпусе FG-320 должно составлять 0,056 МПа.

2 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Так как производство микроструктурированных волокон (МОВ), называемых также фотонно-кристаллическими волокнами (ФКВ), является довольно сложным процессом, существует немного способов его изготовления. Основной проблемой при производстве МОВ является проблема контроля и автоматизации процесса вытяжки МОВ.

Как правило, МОВ состоят из диэлектрического материала (обычно чистого кварца) с регулярной решеткой воздушных капилляров. Существует два основных типа МОВ – волокна с полый сердцевиной (ПС) и с твердой сердцевиной (ТС). МОВ с ТС имеют практический интерес благодаря их специфическим свойствам и отсутствию сложностей, связанных с производством и соединением, которые характерны для МОВ с ПС. Кроме того, они обеспечивают эффект фотонного кристалла, связанный с активно легированной ТС и с реализацией зеркал избирательных к длине волны (решетки Брегга).

Оптические свойства МОВ с ТС зависят от нескольких основных параметров:

- разность показателей Δn между включениями с высоким показателем преломления и окружением из кварца;
- диаметр включений d ;
- отношение d/Λ , где Λ – расстояние между центрами включений (шаг);
- длина волны излучения λ .

Некоторые дефекты обязательно сопровождают производственный процесс изготовления. Одни могут, например, вызывать неоднородности конечного легированного германием образца: его диаметр и показатель преломления варьируются вдоль оси. Изменение диаметра образца включает

как изменение диаметра, так и изменение расположения включений, когда шестигранная заготовка собрана перед вытягиванием. Подобные дефекты приводят к поперечным разупорядочениям в конечном волокне, поэтому должны быть приняты во внимание при формировании заготовки и в процессе производства.

Целью данных исследований является разработка программного обеспечения, которое позволяет моделировать и визуализировать процесс управления вытягивания волокна из заготовки, используя оптические методы контроля. Для достижения поставленной цели в работе также проведен анализ влияния оптико-геометрических характеристик МОВ на их эксплуатационные параметры, а также исследовано влияние структуры поперечного сечения МОВ на распределение модового поля.

2.1 Исследование влияния геометрических характеристик МОВ на эксплуатационные параметры и параметры передачи сигнала

Структура МОВ отличается от структуры обычного оптического волокна. В ОВ есть стандартный диаметр сердцевины, тогда как диаметр сердцевины МОВ может изменяться, в зависимости от его области применения. На рис. 2.1 показано смоделированные поперечные сечения МОВ (а-в) и стандартного оптического волокна с радиусом сердцевины $r = 5\text{мкм}$ (г). На рис. 2.2 представлено соответствующие им распределения поля основной моды на длине волны $\lambda = 1.55\text{мкм}$.

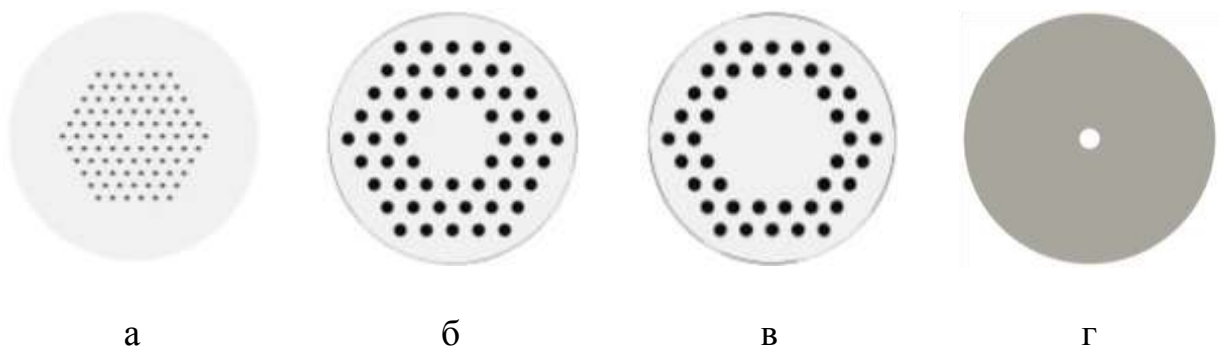


Рисунок 2.1 – Модели поперечных сечений МОВ (а-в) и стандартного ОВ (г)

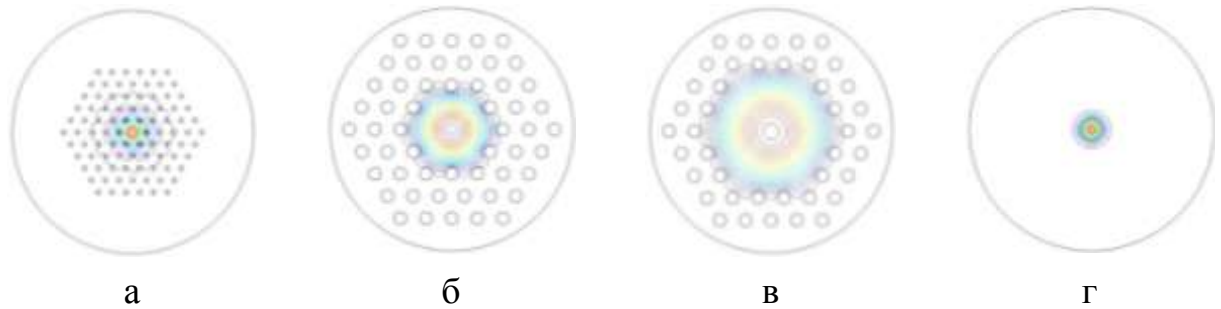


Рисунок 2.2 – Распределение поля основной моды для разных типов ФКВ (а-в) и стандартного ОВ (г)

В табл. 2.1 представлены характеристики используемых в моделировании оптических волокон. Рис. 2.2 показывает, как влияет структура поперечного сечения МОВ на размер и форму модового поля.

Таблица 2.1 – Параметры смоделированных волокон

Изображения (обозначение)	Диаметр сердцевины, мкм	Диаметр отверстий в оболочке ФКВ, мкм	Расстояние между отверстиями, мкм	ПП оболочки	ПП сердцев.	Радиус модового поля, мкм
а (PCF-10)	10	2.142	7.14	1.46	-	23
б (PCF-40)	39.4	6.402	13.2	1.4457	-	32.5
в (PCF-60)	63.0	6.402	13.2	1.4457	-	48.5
г (SMF)	10	-	-	1.4378	1.4457	12.5

Для исследования эксплуатационных параметров сложнопрофильных оптических волокон в зависимости от их геометрических характеристик проведено моделирование сложнопрофильного оптического волокна на персональном компьютере с использованием программного пакета.

Основными задачами исследования являются:

- расчет распределения мощности и определение формы модового поля в исследуемом МОВ;
- определение изменений формы модового поля при случайном изменении диаметра воздушных капилляров и случайном изменении местоположения центров воздушных капилляров;

- определение координаты центра сердцевины для регулярных и нерегулярных структур ОВ через центр тяжести интенсивности поля в волокне;

- определение степени расплывания модового поля при изменении диаметра включений через вычисление среднеквадратического отклонения интенсивности поля в волокне;

- оценка изменения суммарной мощности модового поля в зависимости от изменения диаметра включений.

Внутренняя структура исследуемого волокна имеет кольцо воздушных капилляров, которое представляет собой второе кольцо треугольной решетки. В качестве материала волокна выбрано кварцевое стекло; диаметр воздушных капилляров $d=1,6$ мкм; расстояние (шаг) между центрами воздушных капилляров $\Lambda=2,3$ мкм. Далее в работе такое волокно будет называться регулярным. Поперечная структура исследуемого волокна, имеющего 18 воздушных капилляров, представлена на рис. 2.3.

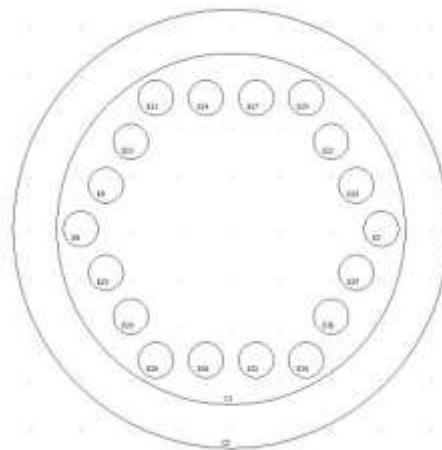


Рисунок 2.3 – Поперечная структура исследуемого волокна

Распределение поля и его мощность в центральном сечении исследуемого волокна представлены на рис. 2.4. Для описания дефектов, возникающих при производстве, рассмотрим нормальный закон распределения случайных величин, описывающих различные возможные значения d и местоположение центров включений. В данном исследовании

применялся эффект разупорядочения к одному из двух выбранных параметров: диаметра включений и местоположения центров включений, а также к двум выбранным параметрам одновременно. Для каждого типа разупорядочения рассмотрены возможные колебания диаметра включений на величину $\pm 10\%$ и колебания местоположений включений в направлении каждой из осей координат также на величину $\pm 10\%$ (от расстояния между центрами соседних капилляров). Отметим, что случайным изменениям подвергались все 18 капилляров. Полученные результаты представлены на рис. 2.5, 2.6.

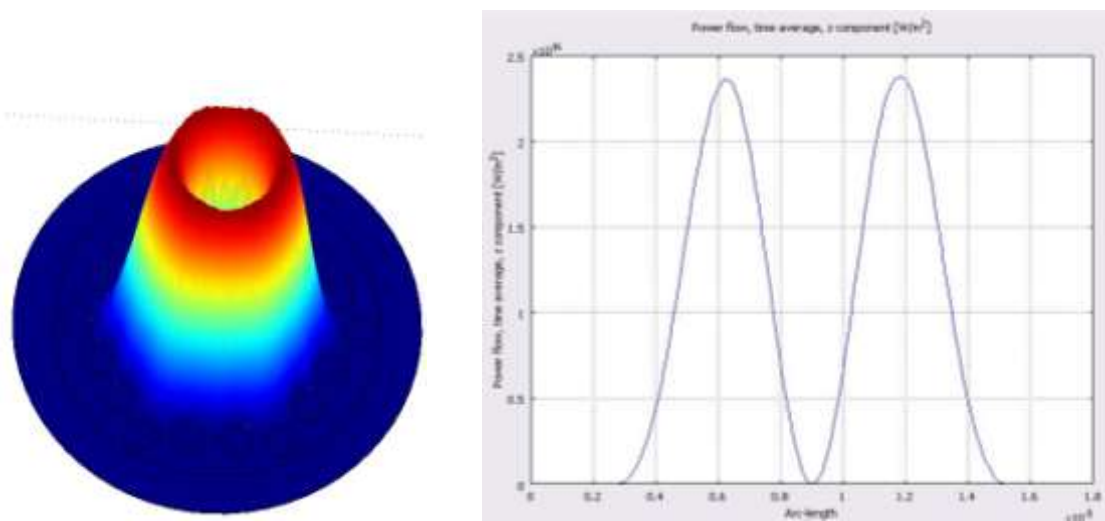
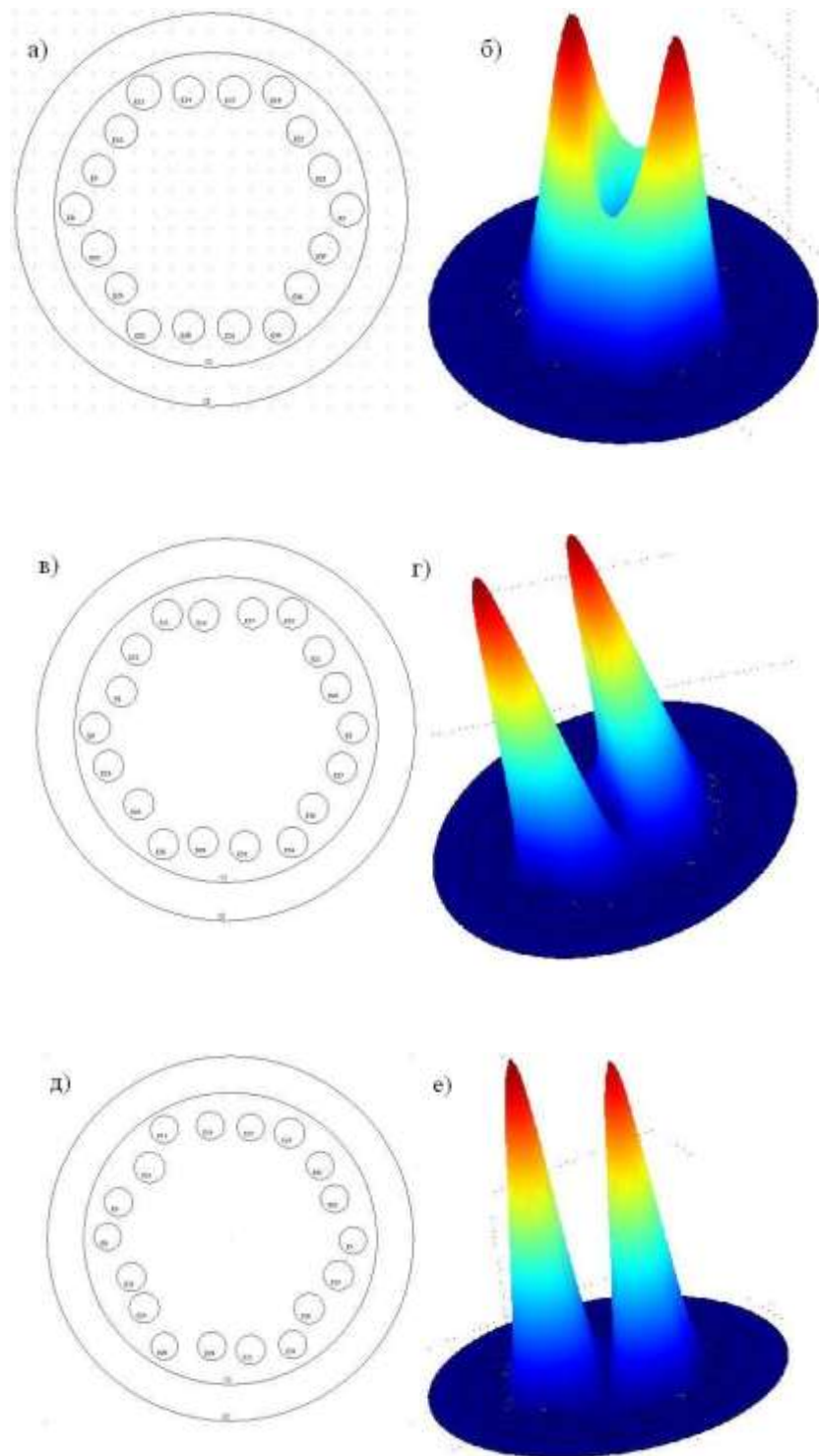


Рисунок 2.4 – Распределение поля и его мощность в центральном поперечном сечении исследуемого волокна

Эти изображения показывают, что при любом из рассмотренных видов дефектов модовое поле будет иметь два ярко выраженных максимума даже при относительно малых изменениях геометрических параметров.

Результаты показали также, что положение максимумов относительно центра симметрии волокна изменяется случайным образом. Кроме того, анализируя полученные результаты, можно прийти к выводу, что при практическом использовании исследуемого вида волокна возникает необходимость специального углового позиционирования торцов волокон (с

целью совпадения максимумов интенсивности модового поля) при их соединении.



а, в, д – поперечная структура волокон;

б, г, е – распределение мощности модового поля;

Рисунок 2.5 – Изменение формы модового поля при случайных изменениях диаметра включений (а, б); случайных изменениях местоположения

включений (в, г); случайных изменениях диаметра и местоположения включений одновременно (д, е)

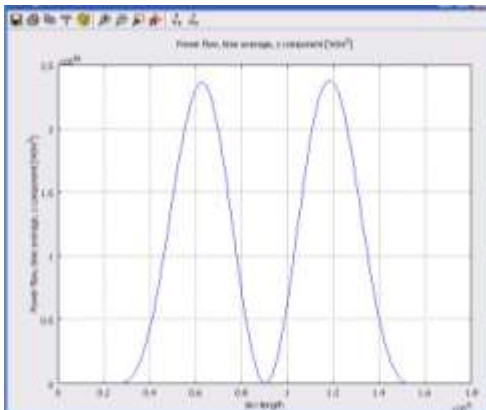
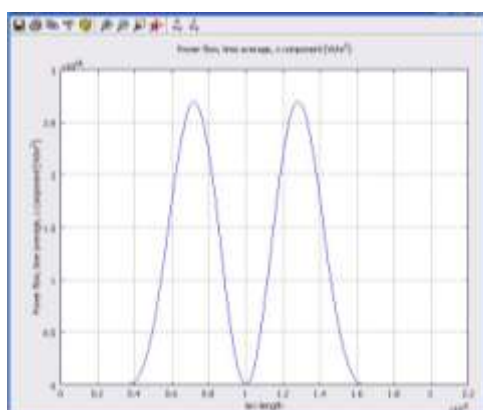
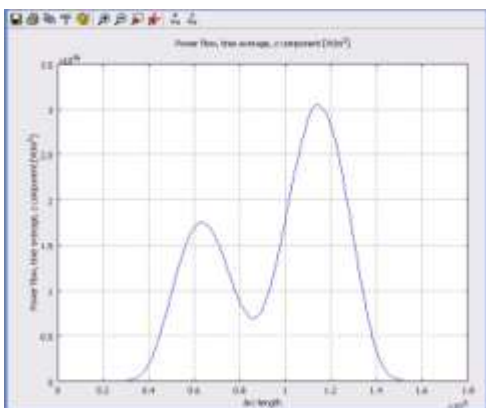
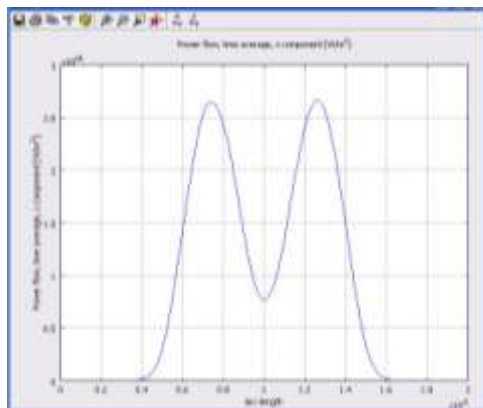
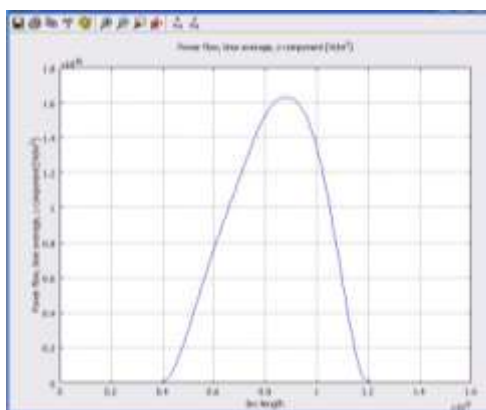
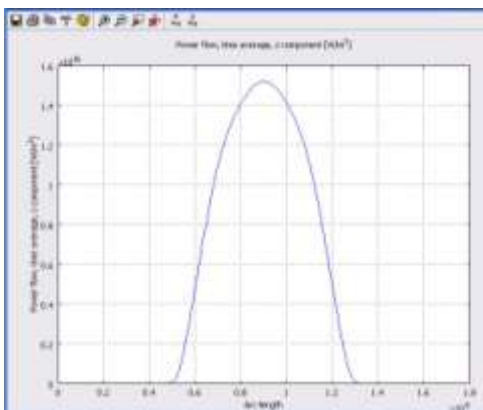
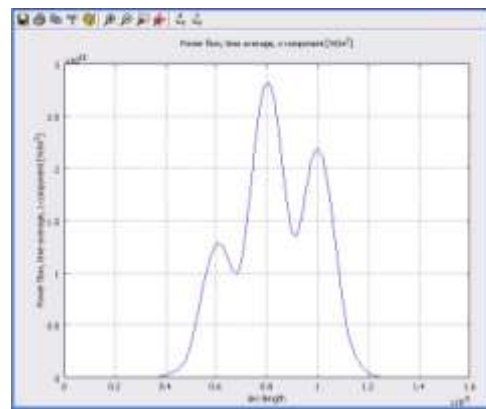
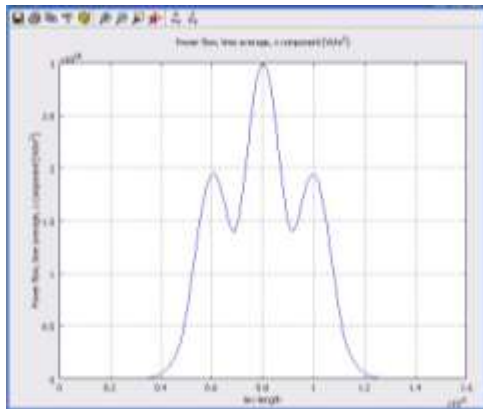


Рисунок 2.6 – Распределение мощности поля в продольных сечениях регулярного (левый столбец) и гибридного волокон

2.1.1 Исследование изменения эксплуатационных параметров волокон при случайном изменении диаметров включений

В данном исследовании применялся эффект разупорядочения диаметра включений. Для каждого типа разупорядочения рассмотрены возможные колебания диаметра включений на величину $\pm 10\%$. Отметим, что случайным изменениям подвергались все 18 капилляров, было проведено 50 опытов.

Расчет суммарной мощности модового поля производился по формуле

$$P_{\Sigma} = \int_0^{\infty} P(x) dx, \quad (2.1)$$

где $P(x)$ – функция распределения мощности модового поля.

Результаты расчета суммарной мощности модового поля в зависимости от d_{cp} приведены на рис. 2.7.

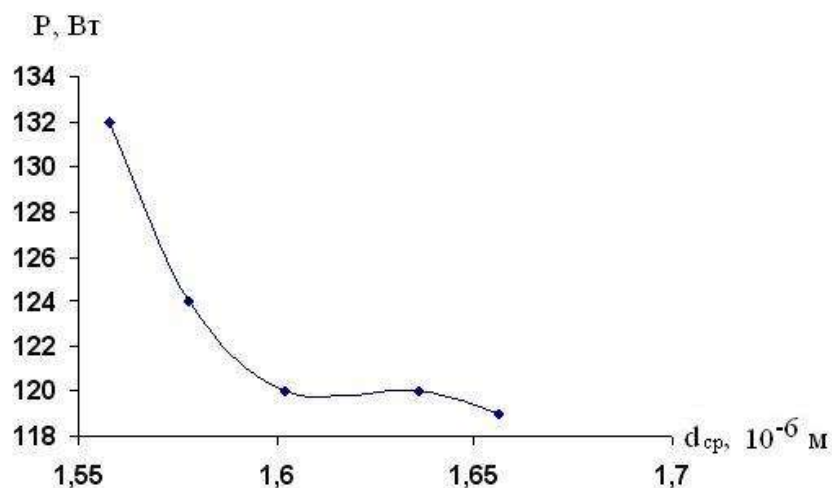


Рисунок 2.7 – Зависимость суммарной мощности модового поля P_{Σ} от d_{cp}

Результаты, представленные на рис. 6.5 показывают, что с уменьшением среднего диаметра включений суммарная мощность модового поля увеличивается. Кроме того, учитывая, что суммарная мощность регулярного волокна $P_{\Sigma}=128$ Вт, можно прийти к выводу, что случайные изменения диаметра включений могут привести к увеличению суммарной мощности модового поля.

Для оценки координаты центра сердцевины она была представлена как центр тяжести функции распределения мощности модового поля в виде

$$X_c = \frac{\int_0^{\infty} xP(x)dx}{\int_0^{\infty} P(x)dx}, \quad (2.2)$$

где $P(x)$ – функция, описывающая мощность модового поля;

x – координата.

Результаты расчета приведены в табл. 2.2. Поскольку в результате вычислений оказалось, что центр сердцевины смещается крайне незначительно, в таблице приведены лишь некоторые из полученных значений. Координата геометрического центра волокна соответствует значению 10^{-5} м. Приведенные результаты показывают, что, несмотря на изменение формы модового поля, координата центра сердцевины остается неизменной.

Таблица 2.2 – Результаты расчета центра тяжести функции распределения мощности

№	$X_c, 10^{-5} \text{ м}$
1	1,001
2	0,991
3	1
4	1,002
5	0,008

2.1.2 Исследование изменения эксплуатационных параметров волокон при изменении диаметра включений на $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$ в волокне с регулярной структурой

Рассмотрим зависимость исследуемых эксплуатационных параметров от изменения диаметра одновременно всех 18 включений на фиксированные величины: $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$.

Расчет суммарной мощности модового поля производился по формуле (6.1), результаты вычислений приведены на рис. 6.8.

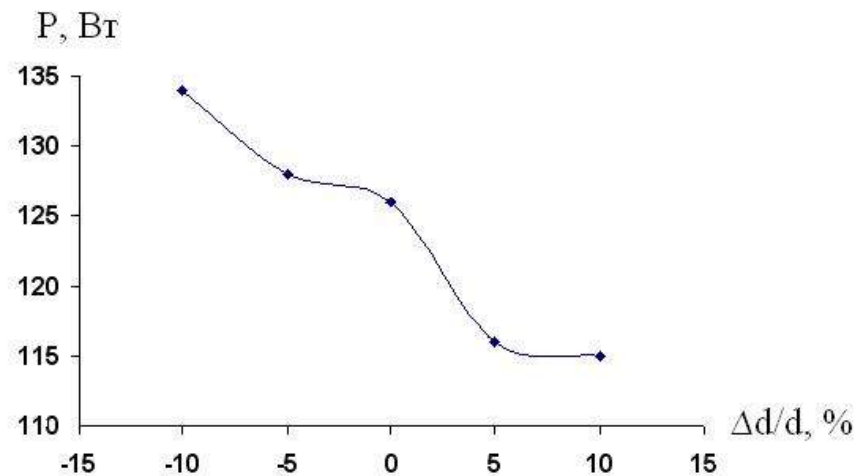


Рисунок 2.8 – Зависимость суммарной мощности модового поля P_{Σ} от $\Delta d/d$ в волокне с регулярной структурой

Для оценки степени расплывания модового поля при изменении диаметра включений использовали среднеквадратическое отклонение, которое характеризует степень концентрации модового поля относительно центра. Вычисления проводились по формуле

$$\bar{\sigma}(P) = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}, \quad (2.3)$$

где \bar{P} – среднее арифметическое значение мощности.

Результаты вычисления приведены на рис. 2.9.

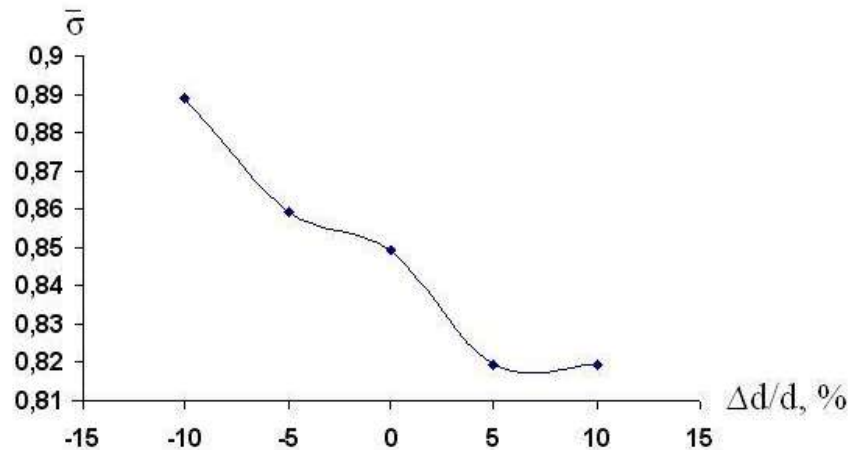


Рисунок 2.9 – Зависимость величины среднеквадратического отклонения мощности от изменения диаметра включений

Результаты вычислений, представленные на рис. 2.6 показывают, что при уменьшении диаметра включений в регулярном волокне возрастает величина суммарной мощности модового поля волокна. Такая же зависимость наблюдается и для гибридных волокон (см. рис. 2.7). Кроме того, результаты вычисления величины среднеквадратического отклонения мощности поля от изменения диаметра включений в регулярном волокне показывают, что при уменьшении диаметра воздушных капилляров наряду с увеличением мощности модового поля наблюдается увеличение среднеквадратического отклонения мощности модового поля.

Следовательно, при уменьшении диаметра воздушных капилляров наблюдается расплывание модового поля в исследуемом волокне.

2.2 Влияние технологического процесса изготовления МОВ на их оптико-геометрические характеристики

Вытягивание стандартных ОВ осуществляется из заготовок в вытяжной башне. При этом контроль геометрических параметров оптического волокна осуществляется поддержанием внешнего диаметра ОВ за счет изменения скорости вытяжной шпилевой лебедки, находящейся в нижней части башни, при стабилизации остальных управляющих параметров технологического процесса (ТП) вытяжки волокна.

В виду сложной структуры МОВ при традиционном способе контроля геометрических параметров волокна и автоматизированном управлении ТП вытяжки МОВ велика вероятность обрыва или разрушения его структуры при сохранении стабильности внешнего диаметра.

При производстве МОВ основное внимание уделяется получению волокна с заданными конструктивно-геометрическими параметрами поперечного сечения. При этом формализация задачи выбора параметров и режимов ТП вытяжки, принятие оптимального технологического решения в различных производственных ситуациях, как правило, ложится на конкретного эксперта. Зачастую результаты такого подхода оказываются неудовлетворительными, что обусловлено повышенными требованиями точности геометрических параметров МОВ, к оптимизации сложных технологических процессов вытяжки, необходимостью учитывать результаты предыдущих процессов и даже корректировать отклонение и т.д.

Для решения данной задачи необходимо:

- проанализировать ТП вытяжки стандартного и МС волокон в части автоматизации контроля конструктивно-геометрических параметров волокна;

- установить наиболее оптимальные управляющие параметры процесса вытяжки, учитывая особенности структуры волокна;

- определить информационное обеспечение процесса, необходимые и достаточные данные для управления процессом.

Решение поставленных задач возможно с помощью создания информационной модели процесса, которая позволяет символически выразить совокупность информации, характеризующую существенные свойства и состояния объекта, процесса, явления, а также взаимосвязь с внешним миром.

Для разработки формальной информационной модели технологического процесса вытяжки МС волокна необходимо на основании сведений о структуре объекта управления декомпозировать множество его характеристик на подмножества его структурных элементов и синтезировать обобщенную структуру информационного представления ТП, определить функциональные взаимосвязи между их элементами.

В настоящее время контроль геометрических параметров ОВ осуществляется традиционным методом - измерением наружного диаметра в процессе вытяжки. Корректировка геометрических параметров волокна осуществляется регулированием одного из параметров ТП вытяжки: скоростью вытяжки ОВ; подачей заготовки; температурой термоустановки; расхода инертного газа.

Наибольшее распространение получил способ изменения диаметра ОВ за счет регулирования скорости вытяжки при стабилизации остальных управляющих переменных состояния процесса.

В указанном случае готовая стержневая заготовка (независимо от способа ее изготовления) вытягивается в волокно в специальной вытяжной башне (рис. 2.10). Процесс вытягивания начинается наверху башни, где стержневая заготовка зажимается в центрирующем патроне.

Нижний конец заготовки подается в электрическую печь, где он нагревается до температуры чуть больше 2000°C. Графитовый

нагревательный элемент защищен средой из инертного газа аргона. Заготовка медленно опускается в печь, а в это же самое время из нее вниз выходит вытягиваемое из заготовки волокно.

Затем волокно покрывается защитным слоем акрилата. Таким образом, волокно получает первичное покрытие.

Линия снабжена датчиками диаметра сразу же под печью и после операции нанесения первичного покрытия.

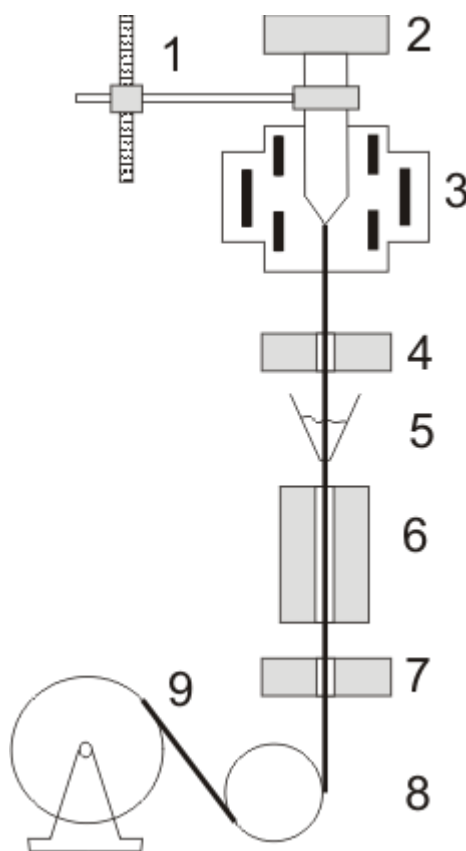


Рисунок 2.10 – Структурная схема установки для вытягивания световодов:

- 1 – механизм подачи заготовки;
- 2 – механизм подачи инертного газа в воздушные отверстия заготовки;
- 3 – высокотемпературный нагреватель;
- 4 – датчик контроля диаметра световода;
- 5 – фильера для нанесения полимерного покрытия;
- 6 – ультрафиолетовая печь для вулканизации полимера;

7 – измеритель диаметра покрытия;

8 – тянущий ролик;

9 – приемное устройство.

Таким образом, ТП вытяжки оптических волокон можно структурно декомпозировать по функциональным признакам (табл. 6.3). С информационной точки зрения, каждый объект управления имеет свою информационную копию.

Таблица 2.3 – Функциональные блоки ТП вытяжки МОВ

Номер блока	Подобъект ТП вытяжки	Информационная копия
1	Блок подачи заготовки	$V_{II}(t)$ - скорость подачи заготовки
2	Блок подачи инертного газа	$P(t)$ - давление инертного газа в отверстиях структуры
3	Блок нагрева заготовки	$T_{II}(t)$ - температура в печи
4	Устройство охлаждения	$T_{Ox}(t)$ - температура охлаждения
5	Блок контроля геометрии сечения	$d(t)$ - внешний диаметр волокна $I(x,t)$ - вектор распределения оптического поля
6	Блок нанесения первичного покрытия	$d_{вн}(t)$ - внешний диаметр волокна после нанесения первичного покрытия
7	Блок приемного устройства	$V_{IIY}(t)$ - скорость вращения шпильевой лебедки

Установлено, что в случае с МОВ наиболее оптимальное управление ТП вытяжки возможно при регулировании параметра температуры печи при контролировании и своевременном корректировании параметра давления инертного газа в воздушных отверстиях волокна.

В общем виде ТП вытяжки МОВ как объекта управления можно представить в виде модели «черного ящика» (рис. 6.11), где U – управляющие воздействия, F – возмущающие воздействия, Y – регистрируемые воздействия, X – состояния системы. Каждое воздействие

можно представить в виде векторов – набора параметров:

$$U = U_1, U_2, \dots, U_r ;$$

$$F = F_1, F_2, \dots, F_m ;$$

$$Y = Y_1, Y_2, \dots, Y_p .$$

К управляемым переменным состояниям ТП, которые определяют оптико-физические и структурные свойства МОВ, относятся:

- температура расплавленной части заготовки (луковицы);
- температура заготовки, длина зоны формирования МОВ;
- распределение температуры по оси вытяжки МОВ;
- распределение температуры поперек МОВ;
- конвективные тепловые потоки внутри печи;
- температурные градиенты в зоне формирования МОВ;
- поля скоростей, температур;
- диаметр вытягиваемого МОВ;
- концентричность и эллиптичность МОВ;
- неизменность структуры оболочки МОВ;
- распределение коэффициента преломления материала МОВ и т.п.

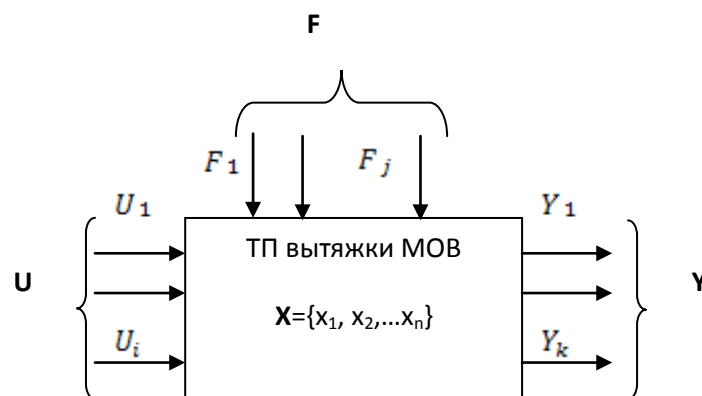


Рисунок 2.11 – Модель ТП вытяжки МОВ в виде «черного ящика»

Эти переменные состояния, в основном, и определяют оптико-

физические и структурные свойства МОВ. Однако в настоящее время непосредственный контроль этих переменных состояний невозможен и неэффективен. Как показали исследования, оптико-физические свойства стандартных ОВ в значительной степени зависят от точности поддержания его диаметра. Поддерживание диаметра стандартного ОВ традиционно осуществляется путем регулирования скорости вытягивания при постоянных значениях скорости потока инертного газа, температуры, скорости подачи заготовки. В свою очередь опыты по созданию МОВ с подобным регулированием ТП дали неудовлетворительные результаты.

Таким образом, информация, требуемая для АСУ ТП вытяжки МОВ, включает в себя:

- регистрируемое воздействие системы ТП вытяжки:

$$Y(t) = V_{\Pi}(t), P(t), T_{\Pi}(t), T_{Ok}(t), d(t), I(n, m, t), d_{вн}(t), V_{ПУ}(t)$$

- информация о параметрах воздействия

$$U = U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7 ,$$

где элементы структуры представляют управляющие сигналы на соответствующие номеру подobjекты процесса (табл.6.3).

2.3 Разработка информационного обеспечения АСУ ТП вытяжки МОВ

Информационное обеспечение АСУ ТП вытяжки ОВ можно представить в виде совокупности инфологической модели процесса автоматизированного управления ТП (рис. 6.12) и схем информационных потоков (рис. 6.13-6.15).

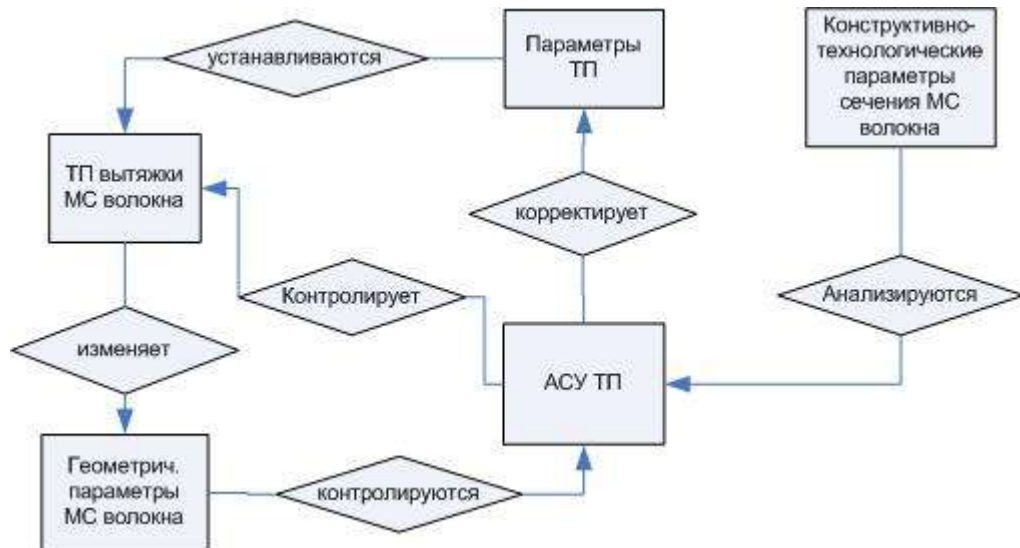


Рисунок 2.12 – Инфологическая модель процесса управления ТП вытяжки
МОВ



Рисунок 2.13 – Схема информационных потоков 1-го уровня

В рамках представленной модели управления предусмотрен контроль геометрических параметров изделия, контроль параметров процесса вытяжки и настройку регулируемых параметров ТП (их корректировку в рамках допустимого диапазона).

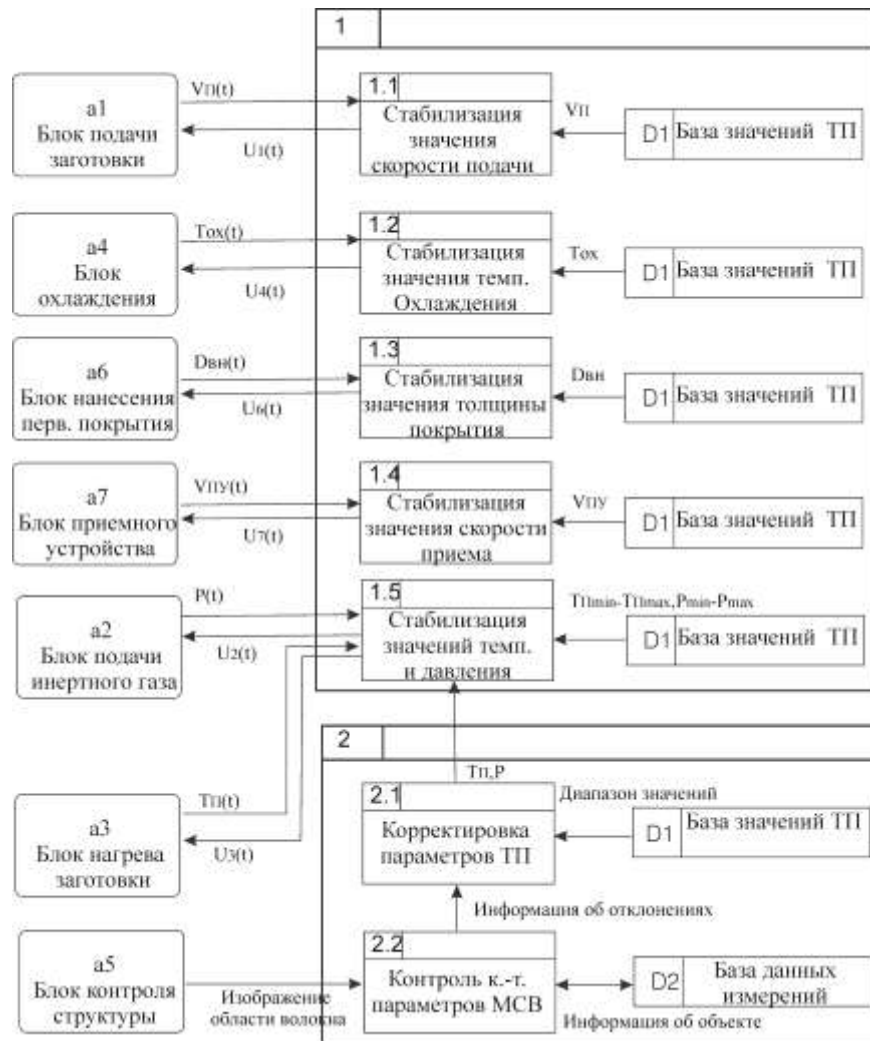


Рисунок 2.14 – Декомпозиция по задачам 2-го уровня

На втором уровне проведена декомпозиция задач управления (рис. 6.14) и их связь с конкретным функциональным блоком ТП вытяжки волокна. Задача контроля конструктивно-технологических параметров МС волокон является комплексной и включает в себя контроль геометрических параметров и корректировку параметров ТП в зависимости от выявленных отклонений (рис. 2.15).

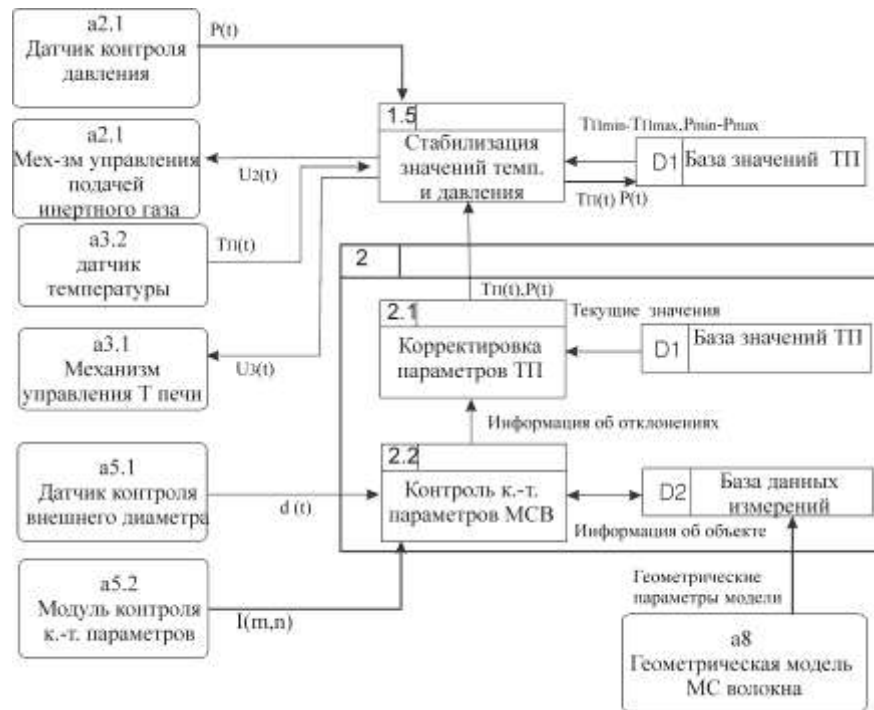


Рисунок 2.15 – Декомпозиция по внешним объектам 3-го уровня

Предложено контролировать конструктивно-технологические параметры сечения волокна методом телевизионного неразрушающего контроля в проходящем сквозь объект контроля излучении. При этом источником информации о состоянии объекта является ПЗС-матрица, которая с заданной частотой регистрирует интенсивность оптического поля $I(m,n)$. Далее на основе анализа текущего распределения необходимо выдать соответствующие управляющие воздействия на систему ТП вытяжки.

Разработан алгоритм управления конструктивно-технологическими параметрами МОВ в процессе вытяжки, который можно представить в виде блок-схемы (рис. 2.16).

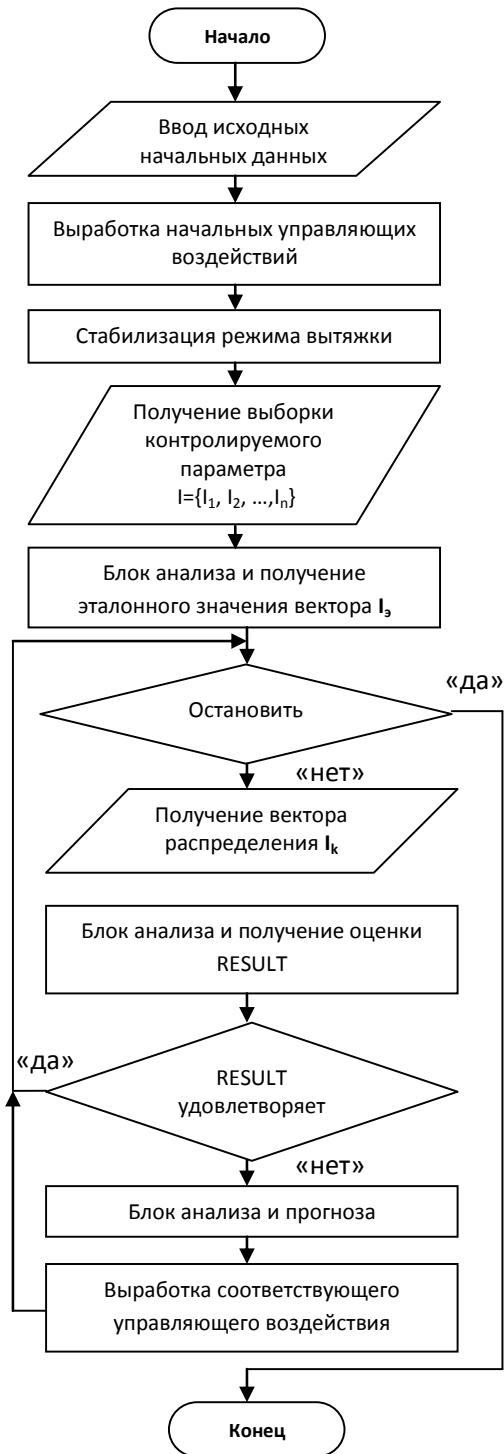


Рисунок 2.16 – Блок-схема алгоритма управления конструктивно-технологическими параметрами МОВ

На основе информации об исходных установленных параметрах процесса реализуется выработка начальных управляющих воздействий $U_{нач}$.

После стабилизации режима вытяжки производится вычисление эталонного значения распределения излучения по зарегистрированной выборке значений.

Следующей стадией является цикл, который представляет собой отслеживание текущего значения параметра распределения оптического поля I_k и регулирование параметров ТП вытяжки при выявлении отклонений от эталона I_3 .

С точки зрения управления процессом, регулируемые параметрами являются параметры оборудования (в нашем случае температура в печи и давление инертного газа в заготовке), влияющие на деформационные изменения конструктивно-технологических параметров МОВ.

Таким образом, цикл выполняется непрерывно весь процесс вытяжки заготовки, что обеспечивает тщательный контроль конструктивно-технологических параметров МОВ по всей длине и повышение уровня выхода годной продукции.

Проведенный анализ технологического процесса вытяжки оптического волокна из заготовки позволил реализовать набор функциональных зависимостей (рис. 6.17-6.19), необходимых для создания программного обеспечения.

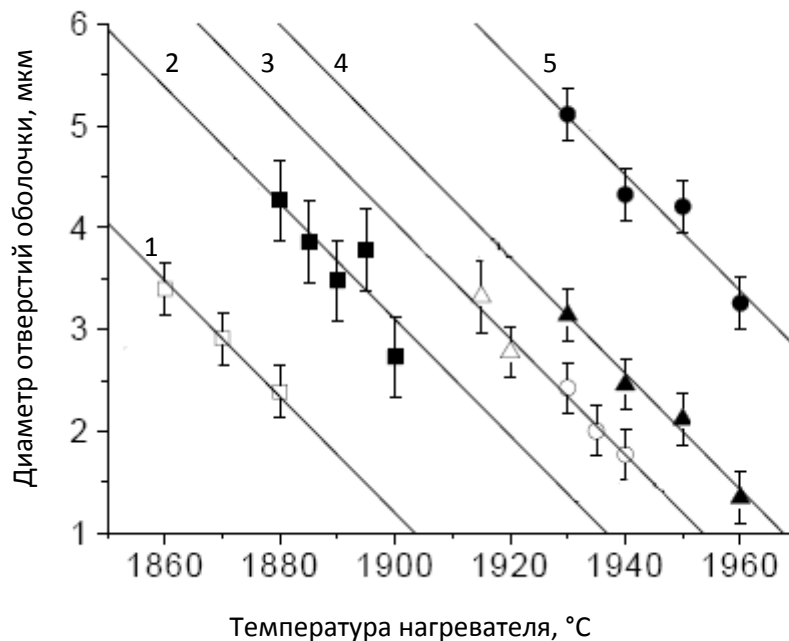


Рисунок 2.17 – Зависимость диаметра воздушных отверстий от температуры вытяжки МОВ

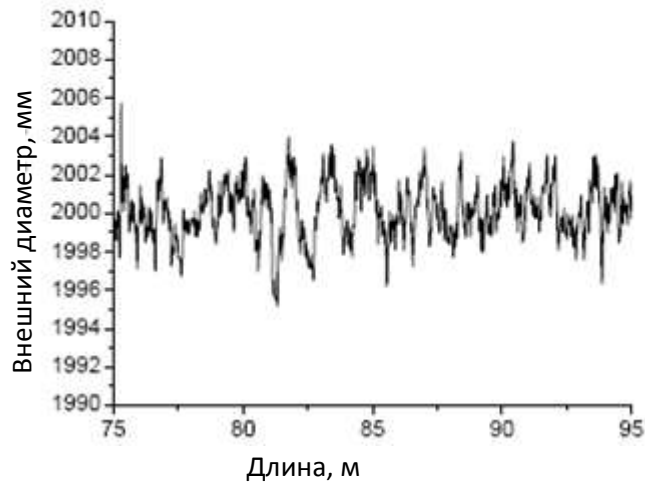


Рисунок 2.18 – Изменения внешнего диаметра

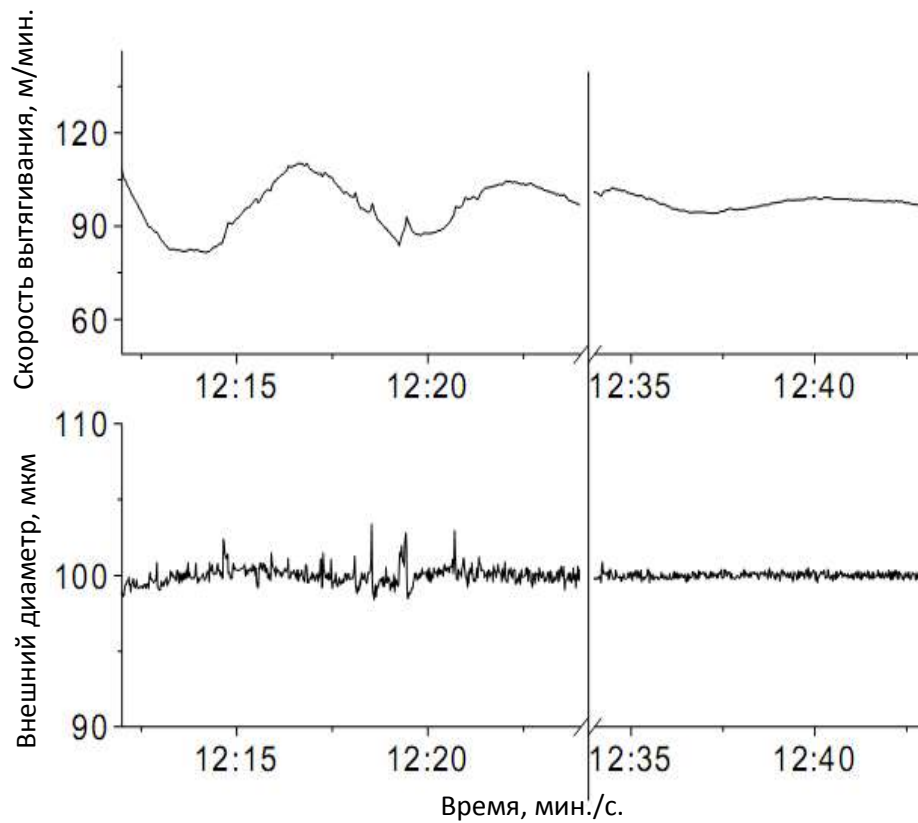


Рисунок 2.19 – Временная диаграмма технологических параметров

Таким образом, динамику изменения геометрии сечения оптического волокна можно осуществлять методом оптического контроля. При этом само изменение геометрии волокна предложено оценивать интегральным показателем интенсивности оптического поля в сечении.

Разработанный алгоритм программы позволяет учесть влияние температуры на диаметр волокна и его структуру, а также наблюдать за появлением, за развитием тех или иных деформаций критических для всего процесса вытягивания. Проведенная параметрическая идентификация параметров объекта управления (печи) позволила построить модель системы управления.

2.4 Разработка программы для моделирования процесса изготовления микроструктурированных волокон

По результатам анализа и при помощи найденных зависимостей была разработана программа, которая моделирует и контролирует процесс вытягивания оптического волокна. На рис. 6.20 представлен общий вид интерфейса программы.

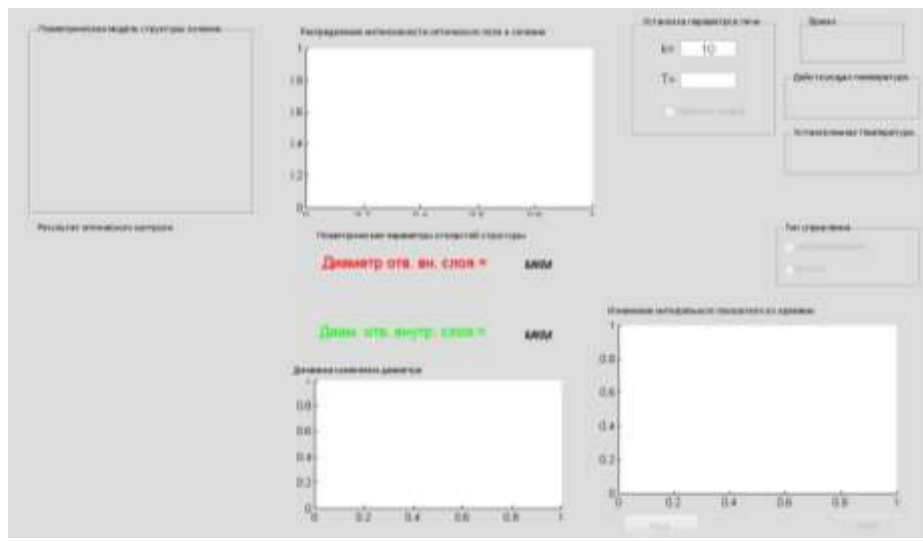


Рисунок 2.20 – Окно программы

Разработанная программа содержит следующие элементы:

1) Окно «Геометрическая модель структуры волокна». В нем отображается поперечное сечение волокна. Чаще всего это фотография, полученная с помощью микроскопа, и изображение которой прошло

предварительную обработку с удалением лишних элементов и преобразованием в черно-белый цвет.

2) Окно «Результат оптического контроля». В нем отображается результат работы программы. В ходе работы, программа формирует единичные векторы, отображающие структуру волокна в данный момент времени, и накладывает их друг на друга. Таким образом, при наложении, они формируют единый массив, отображающий внутреннюю структуру оптического волокна.

3) Окно «Распределение интенсивности оптического поля в сечении». В нем строится график, который показывает значение интенсивности в каждом сечении волокна.

4) «Геометрические параметры отверстий структуры». Здесь выводятся рассчитанные программой диаметры отверстий внешнего и внутреннего слоев микроструктурированного оптического волокна.

5) «Динамика изменения диаметра». Здесь строятся графики изменения диаметров отверстий во времени.

6) «Изменение интегрального показателя во времени». Здесь строится график зависимости среднего показателя интенсивности во времени. Благодаря этому проводится общий контроль над всем процессом.

7) «Установка параметров печи». В этом окне пользователь должен установить параметры печи, как апериодического звена первого порядка. Также, нажав на «Показать график», можно отобразить переходную функцию с заданными параметрами.

8) «Время». Отображает общее время протекания процесса.

9) «Действующая температура». Реальная температура, которая действует в данный момент времени на оптическое волокно.

10) «Установленная температура». Температура, которая установлена оператором.

11) «Тип управления».

В автоматизированном режиме пользователь должен сам задавать параметры печи, следить за формообразованием и изменять действующую температуру. Таким образом, пользователь может проследить за влиянием тех или иных параметров на геометрию волокна, условиями возникновения деформаций и за всем процессом в общем.

Рассмотрим основные моменты работы программы в данном режиме. На рис. 2.21 показано первые девять секунд работы программы, когда пользователь задал необходимые параметры и установил начальную температуру.

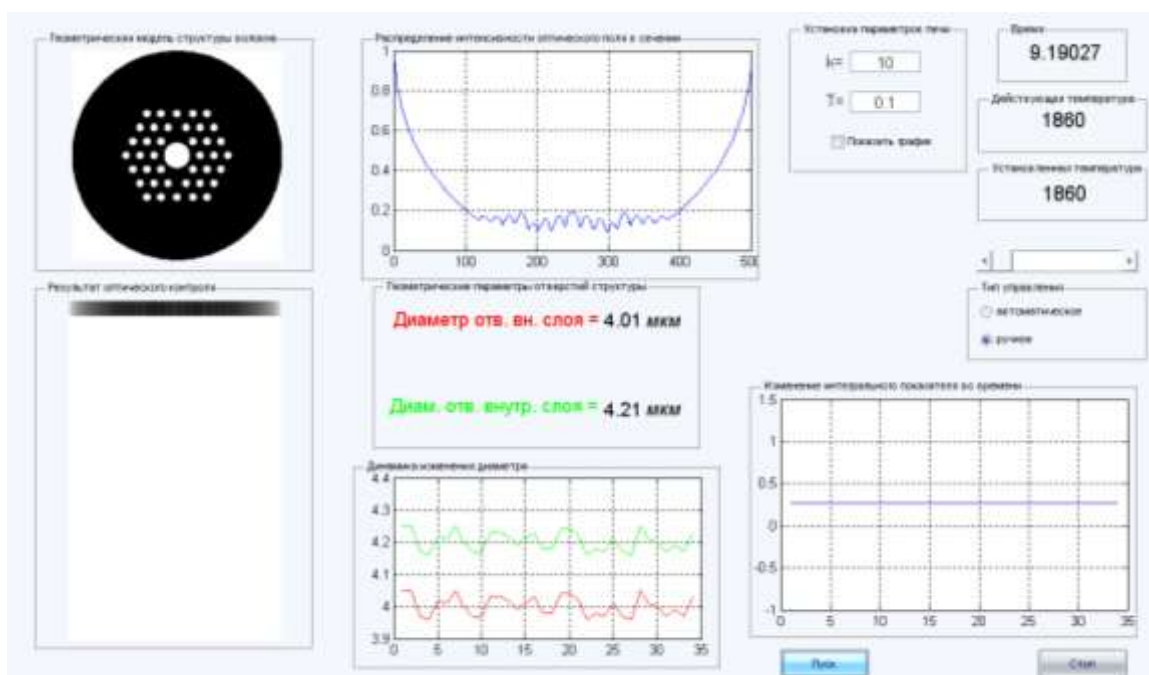


Рисунок 2.21 – Эмуляция процесса управления в автоматизированном режиме

На рис. 2.22 – работа программы на 353 с. функционирования процесса, а на рис. 2.23 изображен процесс деформации – схлопывания отверстий волокна.

Регулировка параметров процесса проводится с помощью окон, размещенных в правом верхнем углу интерфейса.

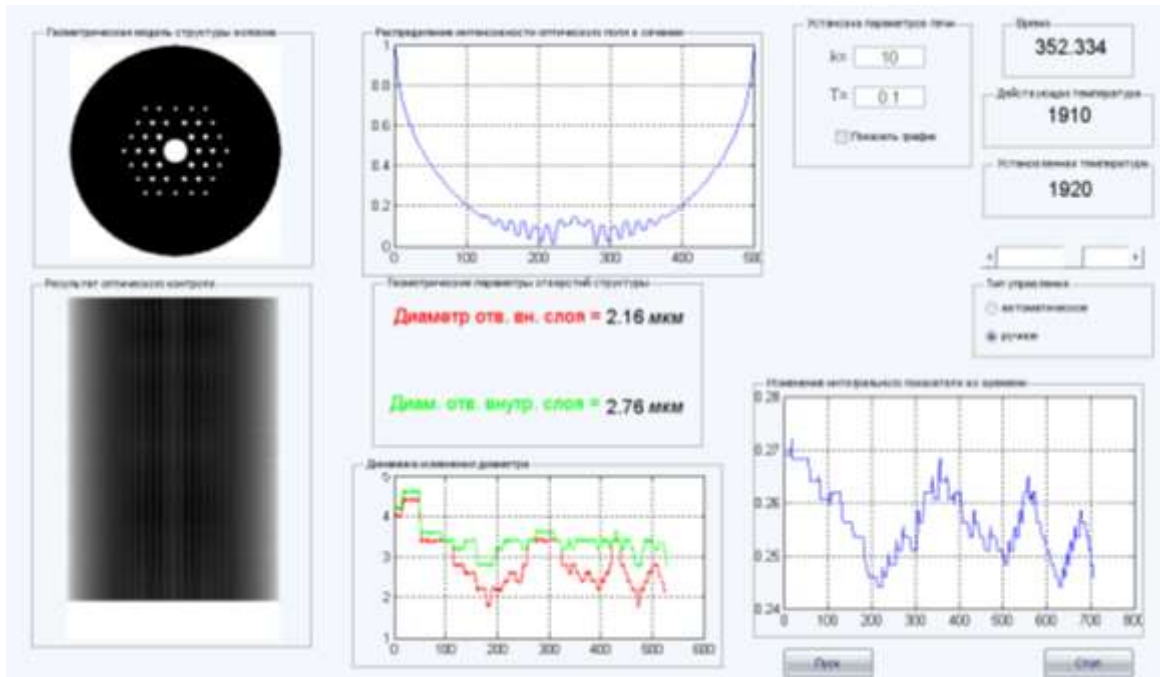


Рисунок 2.22 – Эмуляция процесса управления в автоматизированном режиме

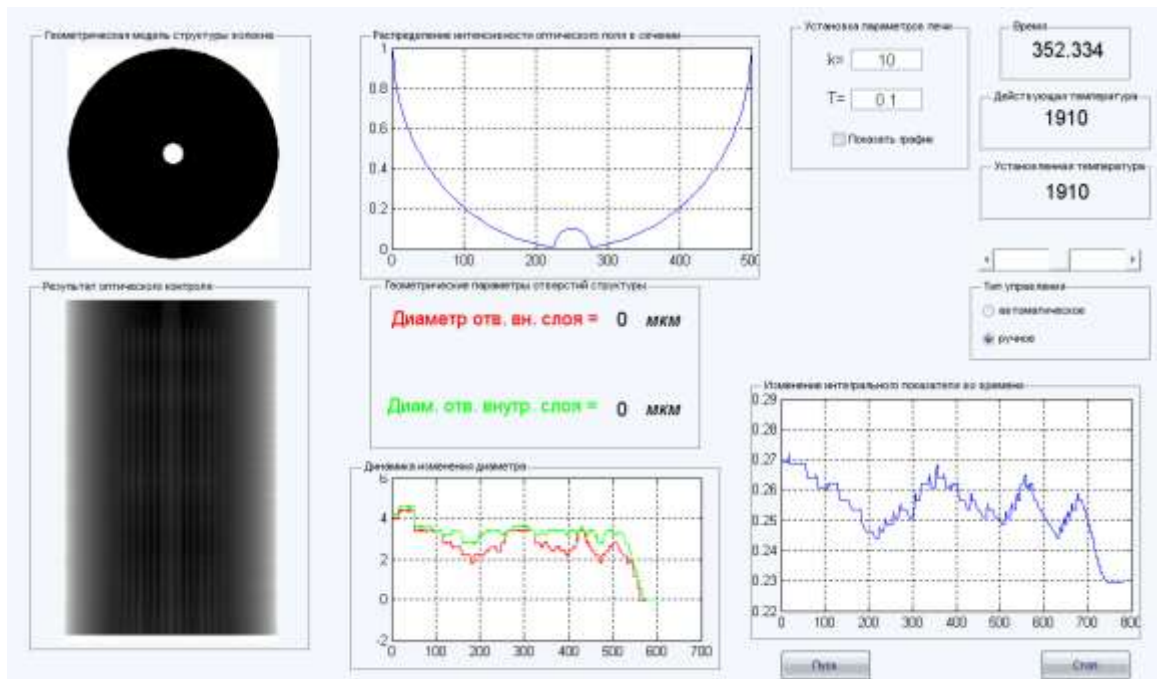


Рисунок 2.23 – Эмуляция процесса управления в автоматизированном режиме

2.5 Выводы ко второму разделу

В данной работе с помощью компьютерного моделирования построены поперечные сечения оптических волокон четырех разных типов и получены их распределения полей основной моды. Из полученных изображений видно, что структура волокна (размер отверстий в оболочке, расстояние между ними, диаметр сердцевины) влияет на распределение модового поля. Также проведено исследование влияния случайных изменений диаметра включений и расположения центров включений на эксплуатационные параметры микроструктурированного оптического волокна. Полученные результаты показывают, что при любом из рассмотренных видов дефектов модовое поле будет иметь два ярко выраженных максимума, что может привести к изменению полной мощности модового поля.

Разработана информационная модель ТП вытяжки МОВ, с учетом установленных особенностей от ТП вытяжки стандартных волокон. Установлено, что ключевой задачей управления конструктивно-технологическими параметрами МОВ является анализ текущего состояния объекта контроля и выдача соответствующей информации о динамике образования дефектов.

Проанализировав существующие технологии изготовления МОВ и системы управления ими, были выявлены их основные недостатки:

- высокая стоимость технологического процесса, в результате чего, любая ошибка в производстве несет за собой большие финансовые затраты;
- контроль качества МОВ проводится только по внешнему диаметру, что не обеспечивает учет всех параметров МОВ;
- благодаря первым двум недостаткам, невозможна полная автоматизация процесса вытягивания МОВ.

В работе разработано программное обеспечение для компьютерной эмуляции процесса управления вытягиванием микроструктурированных оптических волокон, что позволяет оценить качество управления

технологическим процессом и подобрать технологические параметры, не используя при этом реальную установку и материалы.

Также, в процессе разработки программного обеспечения, были найдены и рассчитаны следующие свойства технологического процесса и самого МОВ:

- температура, при которой происходит процесс;
- изменение диаметра волокна во времени;
- зависимость диаметра волокна от его длины;
- зависимость диаметров отверстий от температуры;
- время и температура, при которых начинается захлопывание отверстий.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Рассматривая системы планирования стратегий роботов, следует рассматривать как состояние самой робототехнической системы, так и состояние мира, в котором система находится. Конечно, характеристики робота, так и мира его функционирования могут изменяться во время наблюдения жизненного цикла роботизированной системы.

Выполнение робототехнической системой (РТС) определенных задач является динамическим процессом, который состоит из отдельных дискретных шагов и выполняется в течение определенного времени. В соответствии с этим, планирование стратегий предлагается описывать с помощью динамической модели.

Динамическая модель исходит из существования состояний РТС $x_i \in X, i = 0 \dots n-1$, состояний РП $s_i \in S, i = 0 \dots m-1$, одного или нескольких состояний $y \in X, s^G \in X$ что является целью РТС, которая достигается решениями $d_i \in D, i = 0 \dots n-1$.

В соответствии с решениями d_i происходят переходы:

Между состояниями РТС: $p_i(x_i, x_{i-1}), p_i \in P, i = 0 \dots n-1$,

Между состояниями РП: $\psi_i(s_i, s_{i-1}), \psi_i \in \Psi, i = 0 \dots n-1$.

Переходам РТС и РП согласно решениям d_i соответствуют:

Функции решения отдельных технологических заданий:

$$f_i = \langle x_0^i, p_0^i, x_1^i, p_1^i, \dots, x_{n-1}^i \rangle, f_i \in F, \quad (3.1)$$

функции планирования стратегий:

$$G_i = G(f_0, p_0, \psi_0, \dots, f_{n-1}, p_{n-1}, \psi_{n-1}), \quad (3.2)$$

при этом n ограничивается.

Функционирование РТС характеризуется изменением состояний самой РТС, РП, заданий:

$$x_0 \prec x_1 \prec \dots \prec x_{n-1}, s_0 \prec s_1 \prec \dots \prec s_{n-1}, G_0 \prec G_1 \prec \dots \prec G_{n-1}. \quad (3.3)$$

Каждое задание характеризуется уровнями качества: $q_0 \prec q_1 \prec \dots \prec q_{n-1}$,

при этом:

$$q_1 = f_1(x_0, y, s_0, d_0, a_0, t_0, c_0, q_0), \quad (3.4)$$

$$q_n = f_n(x_{n-1}, y, s_{n-1}, d_{n-1}, a_{n-1}, t_{n-1}, c_{n-1}, q_{n-1}),$$

Условия решения технологических заданий: (3.5)

$$\sum_{i=1}^n q_i \rightarrow \max, \sum_{i=1}^n c_i \rightarrow \min, \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \min.$$

Достижения целевого состояния Y обеспечивается выполнением технологических заданий, которая формирует вектор

$$\vec{f}^0 = \langle f_0^0, f_1^0, f_2^0, \dots, f_{n-1}^0 \rangle,$$

Если при определенных $\psi_i \in \Psi$ целевые функции не обеспечивают достижение целевых состояний y, s^G , или качество переходов q_i не является удовлетворительным, функция планирования стратегий G_i должна быть изменена таким образом, что следует сгенерировать такой вектор $f^* = \langle f_0^*, \dots, f_{m-1}^* \rangle$ который будет удовлетворять $G_i^*(x_i) = y$ или $G_i^*(s_i) = s^G$.

Весь процесс планирования стратегий подается последовательности выполнения технологических задач, что составляет определенный технологический процесс.

К технологическим задачам, в частности, относятся локомотивные (связанные с перемещениями), манипуляционные (связанные с манипуляциями отдельными объектами), обслуживающие, заготовительные и другие операции.

Взаимодействие робототехнической системы с системой планирования стратегий (подсистемой решателя) описывается отношениями, задаваемые декартовыми произведениями и соответствуют дискретным этапам (на промежутке времени $t=0, \dots, k$) выполнение процесса решения:

$$(X_0 \times D_0 \times S_0, X_1 \times D_1 \times S_1, X_2 \times D_2 \times S_2, \dots, X_k \times D_k \times S_k) \quad (3.6)$$

и соответствуют качественным состояниям ИСУ:

$$\langle Q_0^i, Q_1^i, Q_2^i, \dots, Q_{n-1}^i \rangle \quad (3.7)$$

соответствуя набору состояний качества

$$C_1 \prec C_2 \prec C_3 \prec \dots \prec C_n . \quad (3.8)$$

Модель изменения состояний будет определяться взаимодействием элементов множеств X, D, S :

$$(X_0 \times D_0 \times S_0) \prec (X_1 \times D_1 \times S_1) \prec (X_2 \times D_2 \times S_2) \prec \dots \prec (X_{n-1} \times D_{n-1} \times S_{n-1}) . \quad (3.9)$$

Указанное выражение отражает процесс планирования стратегий в ИСК роботом, который должен учитывать состояние элементов роботизированной системы, их взаимодействие с окружающим пространством, возможность выбора определенных решений в конкретных условиях места и времени. Таким образом, динамическая модель описывает эволюцию «мира» работа, осуществляемая его активными действиями для

достижения указанного работу целевого состояния. Однако, для реального применения модели, следует рассматривать конкретные примеры взаимодействия множества объектов ИСК, внешней среды и множества возможных решений, которые будут дополнять динамическую модель и входить в более детализированные модели других типов.

При планировании стратегий в интеллектуальной системе управления роботом возникает ряд проблем, по анализу следующих составляющих:

- 1) достижимость цели при имеющихся условиях ОПР и среды;
- 2) наличие альтернативных путей достижения целей;
- 3) влияние внешних факторов и их учета с помощью механизмов адаптивного планирования стратегий.

Достижимость общей цели системы планирования стратегий определяется достигаемости всех подцелей, что в последовательности приводят к переходу в целевое состояние. В свою очередь каждая цель (подцель) является определенным состоянием робототехнической системы. Таким образом, достижимость цели и любой подцели определяется наличием причинно-следственных цепочек в эволюции состояния робототехнической системы.

Определение 3.1. Между двумя состояниями робототехнической системы X_i и X_j ($i \neq j$), существует причинно-следственная связь, тогда и только тогда, если существует множество актов решения \vec{D}_{ij} , которая связывает X_i и X_j :

$$\forall X_i \in X, \forall X_j \in X (i \neq j), \exists \vec{D}_{ij} : (D_i \Rightarrow D_j) \rightarrow X_i \Rightarrow X_j. \quad (3.10)$$

Определение 3.2. Цель Y (состояние X_j) является достигаемой, если существует множество актов решения \vec{D}_{ij} , которые связывают начальное состояние системы X_i с целевым состоянием $Y (X_j)$:

$$\forall X_i \in X, \forall Y (Y = X_j), \exists \vec{D}_{ij} : (D_i \Rightarrow D_j) \rightarrow X_i \Rightarrow Y(X_j). \quad (3.11)$$

С практической точки зрения, можно сделать замечание, что если существует упорядоченный набор состояний системы X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 , тогда между некоторыми X_1 и X_4 существует причинно-следственная связь, которая состоит из актов решения системы, которые переводят ее из одного состояния в другое:

$$D_1 (X_1 \rightarrow X_4), \text{ или}$$

$$D_2 (X_1 \rightarrow X_3), D_3 (X_3 \rightarrow X_4), \text{ или}$$

$$D_4 (X_1 \rightarrow X_2), D_5 (X_2 \rightarrow X_4), \text{ или}$$

$$D_4 (X_1 \rightarrow X_2), D_6 (X_2 \rightarrow X_3), D_3 (X_3 \rightarrow X_4).$$

Если же вычеркнуть, например D_6 с четвертой строки, решение, которое переводит систему (соответственно условиям, указанным в строке) из состояния X_1 в состояние X_4 будет невозможным, на что указывает недостижимость перехода $X_2 \rightarrow X_3$. Для манипуляционного робота это может быть невозможность выполнения $X_2 \rightarrow X_3$, для мобильного – наличие препятствия, которое невозможно преодолеть стандартными средствами (например, на дороге выкопан ров, и нет объезда, или единственный мост через реку разрушен наводнением). Наибольшая же опасность кроется в появлении такого факта уже после того, как принято решение об осуществлении плана действий. В таком случае на данный становится

необходимость переформулирование плана выполнения решения, другими словами - адаптации плана к новым условиям, хотя, конечно, могут возникать и такие препятствия, преодоление которых будет невозможно при любых условиях [95, 96].

В случае, когда несколько различных стратегий решения переводят системы в нужное целевое состояние возможно существование альтернативных планов решения задач. При этом задача лица, принимающего решение будет заключаться в выборе лучшей альтернативы.

Как видно из примера, при планировании стратегий должно рассматриваться ряд вариантов решения, являются разными векторами \vec{D}_{ij} . Они будут отображать многообразие способов достижения целевого состояния Y с начального состояния X_i . Простой пример, иллюстрированный рисунком 2.2, показан ниже.

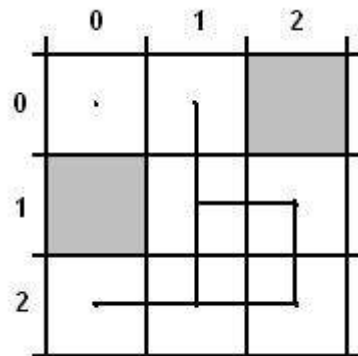


Рисунок 3.1 – Задание простой модели мира с преградами

Для рабочего пространства размера 3, переход с позиции (0, 2) в позицию (1, 0) может обеспечиваться двумя вариантами (при условии, если разрешены только вертикальные или горизонтальные переходы):

$$\text{а) } (0, 2) \xrightarrow{1} (1, 2) \xrightarrow{1} (1, 1) \xrightarrow{1} (1, 0) ;$$

$$\text{б) } (0, 2) \xrightarrow{1} (1, 2) \xrightarrow{1} (2, 2) \xrightarrow{1} (2, 1) \xrightarrow{1} (1, 1) \xrightarrow{1} (1, 0) .$$

В случае предоставления возможности повторного посещения участка пространства, количество вариантов, конечно, будет расти. С практической точки зрения, два указанных варианта отличаться количеством шагов, необходимых для достижения цели. Если в первом случае их 3, то во втором $\tilde{5}$. Количество шагов определять и условную стоимость решения, хотя только для случая, когда условия перехода из одной позиции в другую будут одинаковыми. На практике это бывает не всегда, если, например, для перехода будет тратиться различное количество энергии, о чем дает представление трехмерный пример, показанный на рисунке 3.2:

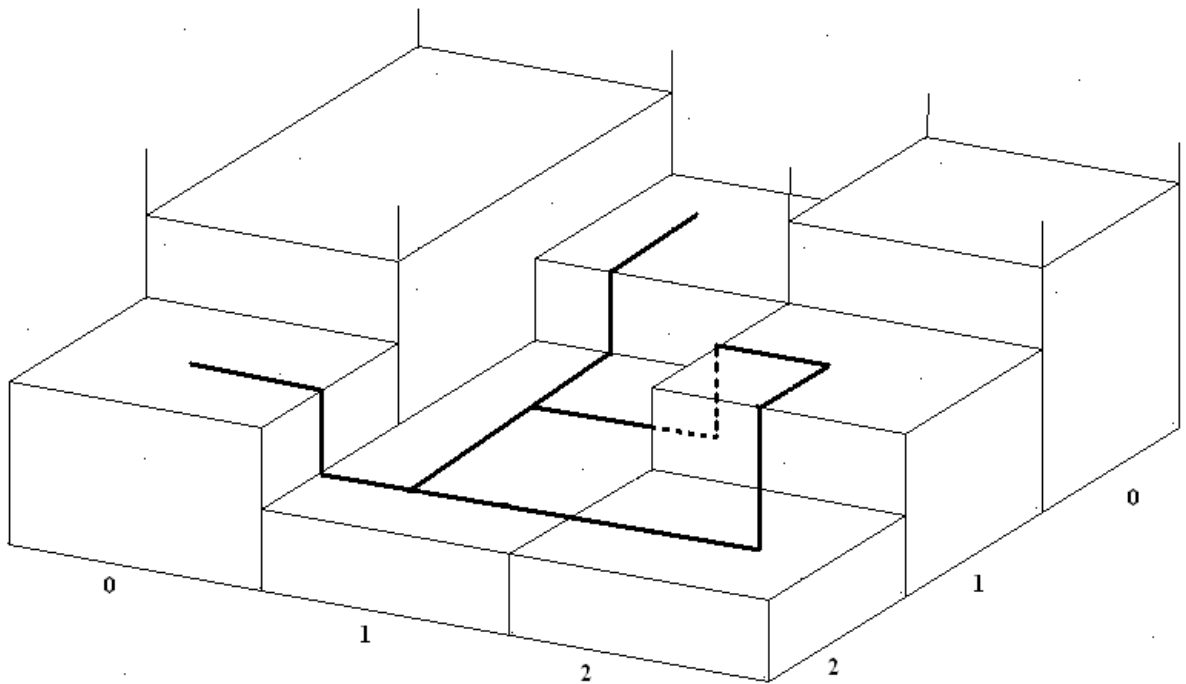


Рисунок 3.2 – Задание трехмерного пространства для модели мира с препятствиями

Таким образом, условия примера указывают на различную сложность переходов. Ее можно установить в диапазоне $[0, 1]$, где 0 - нулевая сложность

(соответственно, нулевая стоимость), 1 - максимальная (пороговая) сложность. Обозначив стоимость, как V , укажем стоимости переходов:

$V((0,2) \rightarrow (1,2)) \approx 0.3$, - переход сверху;

$V((1,2) \rightarrow (1,1)) \approx 0.5$, - переход по площади;

$V((1,1) \rightarrow (1,0)) \approx 0.7$, - переход вверх;

$V((1,2) \rightarrow (2,2)) \approx 0.3$, - переход сверху;

$V((2,2) \rightarrow (2,1)) \approx 0.7$, - переход наверх;

$V((2,1) \rightarrow (1,1)) \approx 0.3$, - переход сверху.

Таким образом, стоимость первого маршрута в «весовой» интерпретации будет $0.3 + 0.5 + 0.7 = 1.5$, стоимость второго – $0.3 + 0.3 + 0.7 + 0.3 + 0.7 = 2.3$.

Анализ альтернативных путей достижения целей позволяет сделать такие определения:

Определения 2.3: Если есть начальное состояние системы планирования стратегий X_i , целевое состояние $Y(X_j)$ и существует множество актов планирования стратегий \vec{D}_{ij} , которая связывает X_i и X_j , тогда любой вектор \vec{D}'_{ij} , который связывает X_i и X_j , есть альтернативным путем планирования стратегий, согласно условия $\vec{D}'_{ij} \neq \vec{D}_{ij}$:

$$\forall X_i \in X, \forall Y(Y = X_j), \exists \vec{D}_{ij} \rightarrow \exists \vec{D}'_{ij}, \vec{D}'_{ij} \neq \vec{D}_{ij}, (\vec{D}'_{ij} \subset \vec{D}_{ij} \vee \vec{D}_{ij} \subset \vec{D}'_{ij}). \quad (3.12)$$

а) Таким образом, достаточно, чтобы вектор \vec{D}_{ij} не совпадал с альтернативой \vec{D}'_{ij} , причем, не исключается вхождения \vec{D}'_{ij} у \vec{D}_{ij} (или в

обратном порядке). Количество векторов может ограничиваться только размерами рабочего пространства.

б) Учет альтернатив при планировании стратегий является одной из важных проблем теории планирования стратегий, однако осложняется большим количеством вариантов вычисления альтернативных решений. К способам оценки решений, в частности, относятся методы, построенные на основе теории нечетких множеств и теории вероятностей.

в) Программное моделирование адаптивной системы планирования стратегий мобильного робота

г) Рассмотрим особенности разработки программного обеспечения для адаптивной системы разработки маршрутов мобильного робота.

д) Пусть существует двумерный рабочее пространство (мир) работа - P , состоящий из отдельных точек $p(x, y)$. Размер мира может меняться в широком диапазоне, но с точки зрения модели должно быть несущественным - размер установлен, 8×8 (размер шахматной доски, рисунок 2.3) или 8000×8000 . Главное при этом - дискретность пространства и его конечности (хотя это и влияет на характер принятия решения и его отражение). Теоретически, мир любого размера можно моделировать дискретной моделью фиксированного размера, которая в определенной степени соответствует размерам объектов пространства.

е) Программную модель динамического пространства в условиях постановки задачи разработки плана перемещений мобильного робота демонстрируют рис. 6.1 - 6.3.

ж) Каждая ячейка дискретного пространства имеет простое свойство: может быть свободной или занятой (самым роботом, или объектами пространства - другими работами и препятствиями разного плана). На рисунке 6.1 заняты ячейки обозначены серым цветом. Заполнение ячеек, как и их освобождения, должны соответствовать состоянию мира работа и изменениям в таком мире.

з) Пусть, задача простого работа будет заключаться в перемещении от одной ячейки пространства в другую. То есть в пространстве имеющимся точки $sr(x, y)$ (начальная или стартовая позиция) и $er(x, y)$ (конечная позиция), на рисунке 6.2 это ячейки 1/8 (нижняя в левом углу поля) и 8/1 (верхняя в правом углу). Из за дискретности пространства траектория имеет зубчатый вид, и хотя можно рассуждать о возможном диагональный характер перемещений, для первого, простейшего рассмотрения предлагается именно так маршрута перемещения.

и) Вид траектории должна разрабатываться системой планирования стратегий мобильного робота. Для планирования маршрута система должна на каждом шагу руководствоваться следующей информацией;

к) первый вариант маршрута перемещения должно генерироваться перед началом движения в начальной точке маршрута, он учитывает состояние пространства на момент своего сложения;

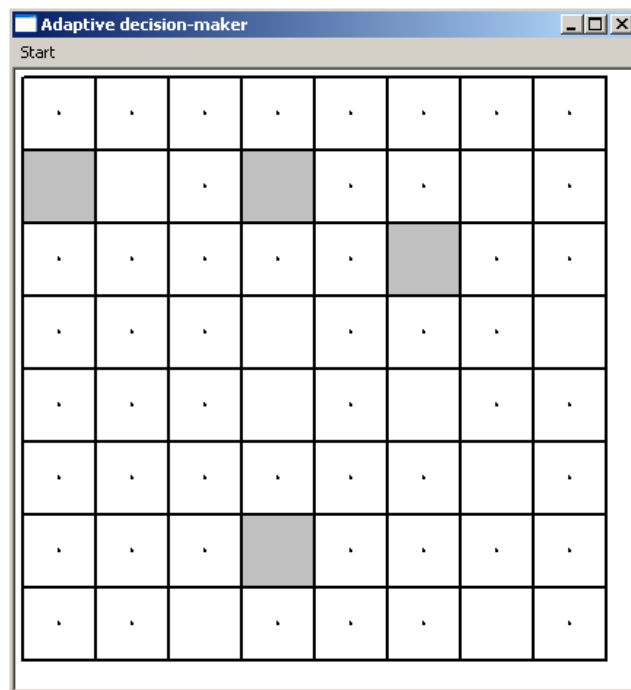


Рисунок 3.3 – Представление пространства для простой адаптивной модели

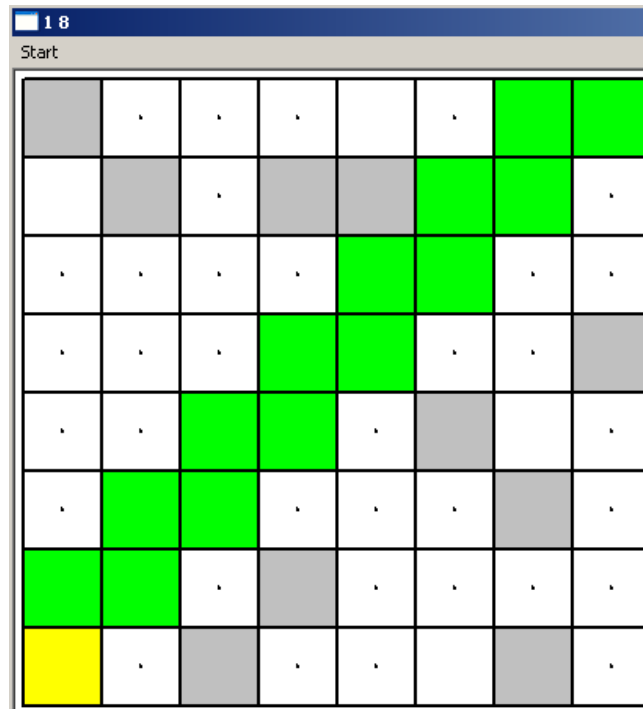


Рисунок 3.4 – Начальная траектория перемещения объекта

Вид траектории должна разрабатываться системой планирования стратегий мобильного робота. Для планирования маршрута система должна на каждом шагу руководствоваться следующей информацией:

а) первый вариант маршрута перемещения должно генерироваться перед началом движения в начальной точке маршрута, он учитывает состояние пространства на момент своего сложения;

б) каждый следующий шаг маршрута имеет приближать робот в ячейки-цели, поэтому из всех ячеек, окружающих текущее положение робота, при разработке маршрута должен избираться имеющая наименьшее расстояние до цели и является простым критерием оптимизации;

в) система планирования маршрута должен постоянно проверять состояние ячеек, окружающих текущее положение робота;

г) на каждом шагу должны проверяться вольность ячеек-соседей и факт их прошлого посещения роботом;

д) если ячейка, запланирована маршруту в качестве следующего шага работа, есть занятой, относительно текущего состояния робота необходимо генерировать новый маршрут перемещения, который будет учитывать состояние ячеек мира;

е) если робот окружен занятыми ячейками, следует ожидать освобождения какого-либо из соседних ячеек (а в более сложном случае - предлагать действия по освобождению соседних позиций);

ж) если робот достиг ячейку-цель, следует сохранить выполнен маршрут с целью дальнейшего использования.

На рисунке 3.5 показано, что ячейки 4/5, 5/4 и 8/1 были заняты, таким образом, достижения при выполнении роботом маршрута, соседних с ними участков мира должно означать перестройку первоначального маршрута (или такого, что действует на текущий момент - с учетом предыдущих перестроек). Таким образом, начальный (или промежуточный) план должен быть адаптирован к существующему на момент выполнения действий работа состояния мира.

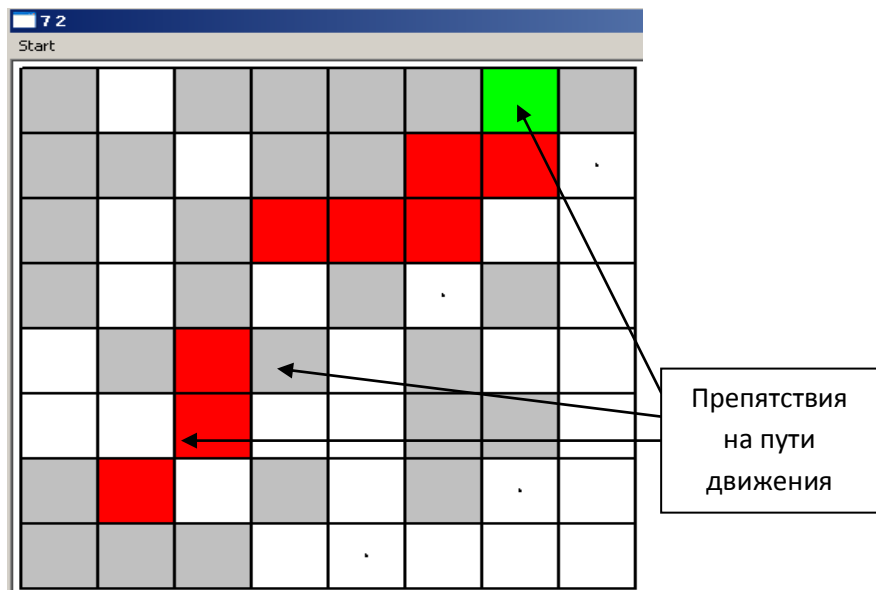


Рисунок 3.5 – Изменения маршрута при наличии помех

Для реальных задач это будет означать необходимость обход препятствий на пути робота и адаптацию ранее разработанных планов требованиям текущего состояния пространства функционирования робота.

Занят состояние целевой ячейки (8/1) потребует ожидания системы на ее освобождение или на осуществление действий самим роботом для обеспечения доступа в целевое положение. Момент достижения цели показано на рисунке 3.5.

Несмотря на кажущуюся простоту функционирования приведенной адаптивной системы планирования стратегий, она дает определенное представление о процессе выработки решения в условиях изменений окружающей среды при выполнении действий исполнительной части работоспособность технической системы. Кроме того, каждую ячейку мира робота тоже можно толковать более широко, рассматривая не только ее координаты, но и присвоив отдельное событие мира робота (независимую от состояния робота или, наоборот, обусловленную действием робота).

Для обозначения свободных и занятых участков рабочего пространства используется логический массив `bp` [8] [8], размер которого определяется размером пространства и в части вариантов программы равна 17×17 . Занятость участка и его постепенное освобождение генерируются двумя таймерами и реализуются стандартным для MS Windows обработчиком `OnTimer ()`, третий таймер отвечает за разработку плана перемещения мобильного робота.

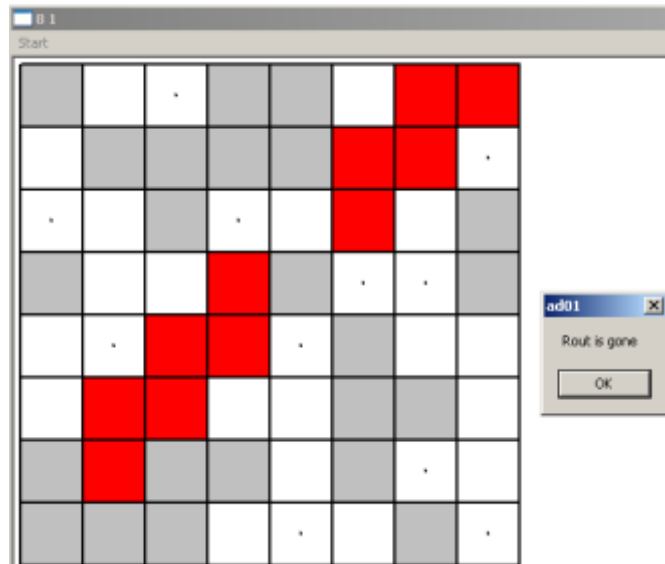


Рисунок 3.6 – Достижения роботом целевой ячейки

Собственно, построение плана перемещения обеспечивается нажатием правой клавиши мышки – *OnRButtonDown()*:

```
void CMainWin::OnRButtonDown(UINT,CPoint loc)
{ if(setpoint)
    { MessageBox("EndPoint is set ", "Rout
setting", MB_ICONEXCLAMATION);
    ep=FindCell(loc); // пошук комірки відповідної цільовій точці
    if(ep==CPoint(0,0))MessageBox("EndPoint isn't set", "Rout
setting", MB_ICONSTOP);
    else { cell *ac2=new cell(curPoint,NULL);
        pl=path(ac2); // побудова плану відносно поточної
комірки
        r_pl=revers(pl); // обернення початкового плану
        while(pl){ FillCell(pl->curpos.x,pl->curpos.y,2);pl=pl->next; }
```



```

        if(!bp[r_pl->next->curpos.x][r_pl->next->curpos.y]) // якщо
наступна точка
        {
            r_pl=r_pl->next;not_subrout=true; // не зайнята
- перехід
            prevPoint=curPoint;
        }
        else {cell *ac2=new cell(CPoint(i,j),NULL); // якщо точка
зайнята
            not_subrout=false; // присутній
повторний шлях
            pl=path(ac2); // генерація плану відносно
ПОТОЧНОЇ ТОЧКИ
            r_pl=revers(pl); // обернення розробленого
плану
        }
        else {KillTimer(3);MessageBox("Rout is gone");}}
    }

```

Текущая точка плану r_pl помечается цветом и продолжается проверка следующей точки $r_pl->next$. Если последняя не является занятой, осуществляется переход в следующую точку плана, если она занята, происходит генерация плана обхода препятствия. Непосредственно разработка планов определяется функцией *Path()*. Эта функция состоит из нескольких проверок существования точки маршрута в соседних ячейках,

```

cell *CMainWin::path(cell *c_path)
{
    int i=curPoint.x; int j=curPoint.y;

```

```

int i0=ep.x; int j0=ep.y;

if(curPoint==ep) return c_path; // якщо поточна точка є кінцем траєкторії
– повернення
.....

else { CPoint cp2=curPoint;

        curPoint=GetNextStep(curPoint,ep); // пошук наступної
точки маршруту

        prevPoint=cp2;

        cell *ac2=new cell(curPoint,c_path);

        return path(ac2);

}}

```

Если целевая точка не находится ли в соседних ячейках, генерируется поиск следующей точки траектории при помощи функции GetNextStep (), что является одной из наиболее громоздких в программе.

```

CPoint CMainWin::GetNextStep(CPoint cp, CPoint tp)

{
    int i=cp.x,j=cp.y;

    int w=(int)(bp[i-1][j]+vp[i-1][j]*not_subrout); // західна сусідня
комірка

    int e=(int)(bp[i+1][j]+vp[i+1][j]*not_subrout); // східна сусідня
комірка

    int n=(int)(bp[i][j-1]+vp[i][j-1]*not_subrout); // північна сусідня
комірка

    int s=(int)(bp[i][j+1]+vp[i][j+1]*not_subrout); // південна
сусідня комірка

```

```

if(curPoint!=prevPoint)

{   if(prevPoint==CPoint(i-1,j))w++;           // якщо комірки є у
    списку попередніх

        if(prevPoint==CPoint(i+1,j))e++;       // їх рівень збільшується

        if(prevPoint==CPoint(i,j-1))n++;

        if(prevPoint==CPoint(i,j+1))s++;

    }

if(w && e && n && s)return cp;           // випадок тупика

if(w && e && n)return CPoint(i,j+1);     // вихід у комірку s

if(w && e && s)return CPoint(i,j-1);     // вихід у комірку
w

if(s && n && w)return CPoint(i+1,j);     // вихід у комірку
e

if(s && n && e)return CPoint(i-1,j);     // вихід у комірку w

// обрахунок відстані від сусідніх комірок до точки цілі

double ds=dist(CPoint(i,j+1),ep); double dn=dist(CPoint(i,j-1),ep);

double de=dist(CPoint(i+1,j),ep); double dw=dist(CPoint(i-1,j),ep);

// зайняті північна південна сусідні комірки

if(s && n)

{ if(de<=dw)return CPoint(i+1,j);       // вибір східної сусідньої
комірки

else return CPoint(i-1,j);             // вибір західної сусідньої комірки

```

```
    }  
  
    .....  
  
    return cp;  
  
}
```

Функция `GetNextStep ()` обеспечивает поиск ячеек рабочего пространства работа, которые являются свободными для перемещения. Для этого проверяются соседние (восточная, западная, северная и юго) ячейки. Предыдущие посещения роботом ячеек запоминаются. В случае, когда все соседние ячейки были заняты, робот остается в состоянии учукувания. Если одна или более соседних ячеек освобождаются, избирается та из них, которая имеет меньшее расстояние до целевой точки.

Таким образом разработана программа демонстрирует общий подход к адаптивного планирования стратегий по задачи поиска маршрута мобильного робота в дискретном двумерном пространстве.

4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ РОБОТА

Во время работы любой системы управления возможно появление различного рода возмущений, которые негативно влияют на работу. Для корректировки работы человеку требуется много времени, что может сказаться на работе производства. Возникает необходимость в адаптации такой системы управления.

Визуальная система управления, изменяющая закон управления роботом, при возникающих возмущениях в системе, посредством наблюдения за поведением объектов в рабочей зоне, называется адаптивной визуальной системой управления.

Для создания модели адаптивного визуального (зрительного) управления, необходимо создать ряд моделей:

- модель рабочего пространства робота;
- модель распознавания и идентификации объектов рабочей зоны робота;
- модель блока адаптивного управления.

Каждая из этих моделей описывает отдельный блок, входящий в состав модели адаптивного управления роботом. Далее рассмотрим разработку перечисленных моделей.

Рассмотрим моделирование рабочего пространства мобильного робота, функционирующего в составе гибкой производственной системы (ГПС)

Пусть существует рабочее пространство P робота Rb , которое обладает такими определенными свойствами: геометрические размеры, объекты рабочей зоны, климатические условия, временные параметры.

$$P(D(x, y, z), Obj, Clm, T) \quad (4.1)$$

В рабочем пространстве существуют определенные объекты: станки (St), инструмент (Ins), оснастка (Osn), человек (Hum), робот (Rb):

$$\begin{aligned} \exists St \in P; \exists Ins \in P; \exists Osn \in P; \\ \exists Hum \in P; \exists Rb \in P; \end{aligned} \quad (4.2)$$

Объекты также обладают определенным набором свойств. Эти свойства обладают определенными значениями и входят в множества имен и значений свойств. В таблице 4.1 приведены основные характеристики объектов в символьном представлении.

Пусть наблюдение за рабочей зоной робота осуществляется с помощью системы компьютерного зрения Z_{Rb} , являющейся подсистемой робота.

$$Z_{Rb} \subset Rb \quad (4.3)$$

Z_{Rb} обладает такими свойствами: диаметр объектива; фокусное расстояние; разрешающая способность; геометрические параметры наблюдаемой зоны, ограниченные рабочим пространством:

Между объектами (предметами) и их свойствами существуют отношения принадлежности, то есть определенному объекту принадлежат определенные свойства (объект обладает определенными свойствами). Пример свойств предметов приведен в таблице 4.1.

Рассмотрим взаимодействия предметов друг с другом. Пример таких взаимодействий представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.1 - Перечень свойств предметов

Предмет	Свойства предмета	Обозначение имени свойства
Станки	Вид станка	s_{1j}
	Геометрические параметры	s_{2j}
	Методы обработки	s_{3j}
	Особые условия	s_{4j}
Инструмент	Метод обработки	s_{3j}
	Геометрические параметры	s_{2j}
	Вид инструмента	s_{5j}
Оснастка	Вид оснастки	s_{6j}
	Геометрические параметры	s_{3j}
Человек	Геометрические параметры	s_{3j}
	Параметры передвижения в рабочей зоне	s_{7j}
	Принадлежность к персоналу	
	Опыт	
	Возраст	s_{8j}
	Квалификация	s_{9j}
Робот	Геометрические параметры	s_{3j}
	Параметры передвижения в рабочей зоне	s_{7j}
	Скорость передвижения	
	Текущее местоположение	s_{11j}
		s_{12j}

Таблица 4.2 – Отношения предметов

Предметы	
Станок	Инструмент
	Оснастка
	Человек
	Робот
Человек	Станки
	Инструмент
	Оснастка
	Робот
Робот	Станки
	Инструмент
	Оснастка
	Человек

Данные предметы взаимодействуют между собой отношениями принадлежности $Pt(x)$, следования $Rt_1(x, y)$, совместимости $Rt_2(x, y)$, отношениями предопределения $Rt_3(x, y)$, отношениями ограничения $Rt_4(x, y)$, отношениями совместности $Rt_5(x, y)$, отношениями ограничения по доступу одних объектов пространства к другим $Rt_6(x, y)$.

Наличие отношений позволяет ввести определения.

Определение 4.1. Каждый объект рабочей зоны робота обладает хотя бы одним свойством.

$$\forall x(x \in Obj) \exists s(s \in S)[x(s)] \quad (4.4)$$

где \forall – квантор общности, \exists – квантор существования, Obj – множество объектов рабочей зоны, S – множество свойств.

Множество Obj предметов пространства включает в себя следующие подмножества: St – станок роботизированного пространства, Ins – инструмент, Osn – оснастка, Hum – человек, Rb – робот. Таким образом данное выражение можно записать в виде:

$$Obj = St \cup Ins \cup Osn \cup Hum \cup Rb \quad (4.5)$$

Множество S свойств предметов включает в себя такие параметры как: S_{St} – множество свойств станков, S_{Ins} – множество свойств инструментов, S_{Osn} – множество свойств оснастки, S_{Hum} – множества свойств людей, S_{Rb} – множество свойств роботов. Отсюда следует, что

$$S = S_{St} \cup S_{Ins} \cup S_{Osn} \cup S_{Hum} \cup S_{Rb} \quad (4.6)$$

Из этих определений следует, что

$$\forall x \exists S [S_{St}(x)] \quad (4.7)$$

$$\forall x \exists S [S_{Ins}(x)] \quad (4.8)$$

$$\forall x \exists S [S_{Osn}(x)] \quad (4.9)$$

$$\forall x \exists S [S_{Hum}(x)] \quad (4.10)$$

$$\forall x \exists S [S_{Rb}(x)] \quad (4.11)$$

Определение 4.2. Каждый предмет пространства связан каким-либо отношением Rt с другим предметом:

$$\forall x \exists y (x R t y) \quad (4.12)$$

Определение является истинным, так как каждый из предметов создан для взаимодействия с другими предметами.

Определение 4.3. Все объекты рабочего пространства являются упорядоченными по отношению к другим:

$$\forall x \exists y [R t_1(x, y)] \quad (4.13)$$

Определение 4.4. Для каждого предмета рабочей зоны найдется другой предмет, который совместен с первым в процессе работы:

$$\forall x \exists y [R t_2(x, y)] \quad (4.14)$$

Оно является истинным, так как каждый из предметов роботизированного участка существует с целью участвовать в техпроцессе.

Определение 4.5. Существуют такие предметы, которые предопределяют друг друга в технологическом процессе.

$$\exists x \exists y [R t_3(x, y)] \quad (4.15)$$

Это отношение является частным случаем выражения из определения 4, поэтому оно существует между теми же объектами.

Определение 6. Существуют одни и те же предметы.

$$\exists x \exists y [Q t_2(x, y)] \quad (4.16)$$

Где $Q t_2$ – отношение равенства, используемое для сравнения значений свойств. Для каждого значения $[s_i]$ свойства найдется равное ему. В символическом виде это выражение можно записать так:

$$\forall s_i \exists s_j ([s_i] = [s_j]) \quad (4.17)$$

Определение 4.7. Для каждого числового значения свойства (кроме максимального на конечном множестве значений N) можно найти значение больше рассматриваемого.

$$\forall s_i \exists s_j ([s_i] < [s_j], s_i \in N, s_j \in N) \quad (4.18)$$

Проведем анализ технологических определений, содержащих цели проектирования ТП: переходов (движение), операций, маршрута.

Если $s_{12}^1, \dots, s_{12}^n$ – конкретные свойства изменения маршрута робота, то описание переходов робота в рабочем пространстве будет таким:

$$s_{12}^1(Rb) \wedge s_{12}^2(Rb) \wedge \dots \wedge s_{12}^n(Rb) \quad (4.19)$$

Тогда из этого определения следует, что описание технологических операций будет таким, что свойства робота будут взаимодействовать со свойствами инструмента, оснастки, человека и станка.

$$s_i(Rb) \wedge s_i(Ins) \wedge s_i(Osn) \wedge s_i(Hum) \wedge s_i(St) \quad (4.20)$$

Маршрут робота M будет состоять из операций Op и переходов Tr . Таким образом, описание маршрута может быть представлено в следующем виде:

$$M = Op_1 \wedge Tr_1 \wedge Op_2 \wedge Tr_2 \wedge \dots \wedge Op_n \wedge Tr_n \quad (4.21)$$

где

$$Op_i = \{s_i(Rb) \wedge s_i(Ins) \wedge s_i(Osn) \wedge s_i(Hum) \wedge s_i(St)\}$$

$$Tr_i = s_{12}^i(Rb) \wedge \dots \wedge s_{12}^n(Rb) \quad (4.22)$$

После определения рабочего пространства робота и его составляющих (предметов, объектов и т.д.) необходимо выделить их, то есть

идентифицировать и распознать каждый из объектов. Это необходимо для ориентации робота относительно других предметов в его рабочей зоне.

При проектировании адаптивного визуального управления возможно решение двух основных задач прямой и обратной.

Прямая задача. При помощи визуальной системы управления задается передвижение (в зависимости от наличия препятствий задавать мощность двигателей, скорость передвижения и поворотов) робота из начальной точки Sp с координатами (x, y, z) . Необходимо достичь целевой точки Ep , координаты которой (x_n, y_n, z_n) неизвестны заранее.

Весь маршрут M будет состоять из множества точек перемещения $(x, y, z) \dots (x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})$, по которым движется робот.

Каждое перемещение Mv будет задаваться определенным действием Ac , состоящим из наборов параметров $(Ac_1, Ac_2, \dots, Ac_n)$, которое будет определяться сигналом управления Cs $(Cs_1, Cs_2, \dots, Cs_n)$.

$$Mv = \{(Ac_1, Cs_1), (Ac_2, Cs_2), \dots, (Ac_n, Cs_n)\}$$

Тогда маршрут будет выглядеть следующим образом:

$$M = (Mv_1, Mv_2, \dots, Mv_n)$$

Обратная задача адаптивного визуального управления заключается в следующем. Задана целевая точка Ep , координаты которой (x_n, y_n, z_n) известны.

Маршрут к целевой точке будет выглядеть следующим образом:

$$Ep^R = F(Sp, Ac, Cs);$$

$$(Ep^R - Ep^C) \leq \Theta,$$

где Θ – ошибка перемещения, Ep^R – реальная точка, куда должен переместиться робот, Ep^C – текущая точка, куда переместился робот.

Необходимо задать перемещение (маршрут) M робота с помощью визуальной информации.

Целевая точка должна быть достигнута за $t < t_{преб}$ с точностью

$$R < \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}.$$

Наглядно адаптивное визуальное управление заключается в следующем:

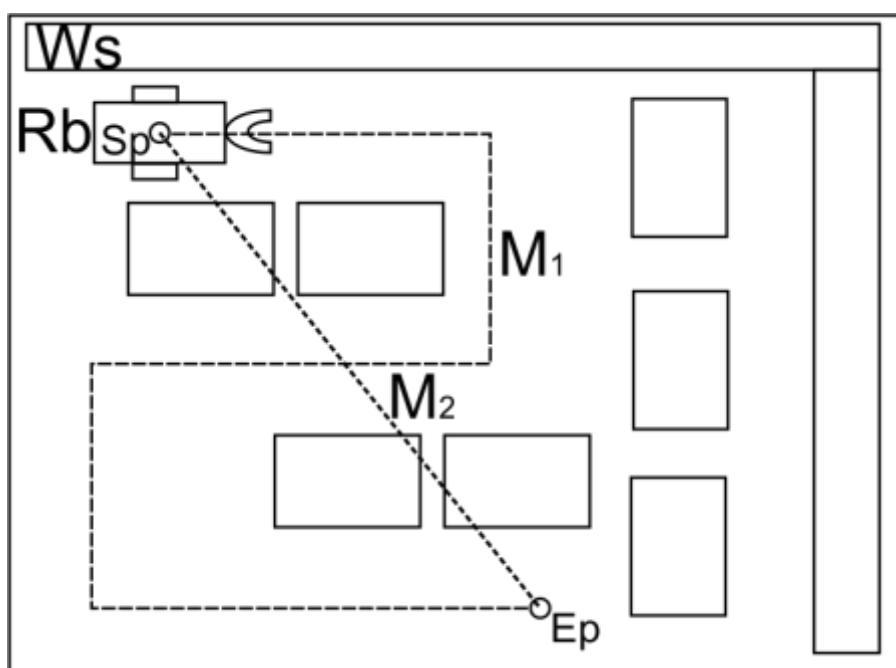


Рисунок 4.1 – Пример адаптивного визуального управления

Где Ws – рабочее пространство, Sp – начальная точка передвижения, Ep – конечная точка передвижения, Rb – робот, $M1$ – адаптивный маршрут движения робота, $M2$ – прямой маршрут к целевой точке.

В качестве среды разработки программного обеспечения была выбрана среда программирования Visual Studio 2008.

Указание задач перемещения мобильного робота осуществляется с помощью визуального управления. Для этого пользователь с помощью манипулятора «мышь» может указать начальную и конечную точку маршрута мобильного робота. При этом робот передвигается в дискретном рабочем пространстве, информацию о котором получает с помощью глобальной системы технического зрения (рисунок 4.2). Анализ информации о состоянии рабочего пространства осуществляется с помощью методов Кенни и анализа контуров, положение робота определяется с помощью разработанного классификатора Хаара.



Рисунок 4.2 – Пример функционирования СТЗ мобильного робота

Файлы, отвечающие за инициализацию робота и всех его систем являются библиотечными. Для написания кода, отвечающего за адаптивное визуальное управление были написаны файлы: App.h, App.cpp, OpenCV.h, OpenCV.cpp, создан классификатор Хаара `nrobot`.

Файлы App.h и App.cpp отвечают за приложение в целом. Они состоят из конструктора главного окна CMainWin, функция инициализации приложения BOOL CApp::InitInstance(void).

Файл OpenCV.cpp является файлом исходного кода, который предназначен для выполнения основных функций с СТЗ.

Задаются переменные:

CvCapture *capture; – переменная класса, отвечающая за устройство захвата изображения;

IplImage

*img,*img2,*dst=0,*dst1=0,*dst2=0,*dst3=0,*dst4=0,*dst5=0,*dst6=0,*color_dst=0; – переменные структуры IplImage – матрица, которая будет интерпретироваться как изображение;

– CvFont im_font; – переменная класса шрифтов;

– CvRect selection; – переменная класса прямоугольников для выделения;

– CvMoments moments; – необходимо для сравнения суммарных характеристик контуров (моментов). Момент — это суммарная характеристика контура, рассчитанная интегрированием (суммированием) всех пикселей контура.

– CvSeq *sel_contour=0; – объявление последовательности , необходимо для хранения динамических объектов.

Далее происходит загрузка классификатора Хаара nrobot.xml – этот файл позволяет выделять признаки Хаара (признаки цифрового изображения, используемые в распознавании образов). Вейвлеты Хаара использовались в первом детекторе лиц. Аналогично этому детектору лиц был создан классификатор для нахождения мобильного робота Lego NXT MindStorms.

Для создания Создание образцов – собрать два вида образцов: положительные и отрицательные. Отрицательные образцы набираются из произвольных изображений. Эти изображения не должны содержать

изображений целевого объекта. Отрицательные образцы передаются функции через файл описания заднего фона, который содержит названия файлов изображений. Положительные образцы – создаются при помощи утилиты `createsamples`. Набор положительных образцов может быть создан как из одного изображения предмета, так и из серии изображений на которых отмечены окна содержащие целевой объект.

Одиночное изображение, например может содержать изображение робота. Из этого единственного изображения, путем случайных преобразований (вращение, изменение цвета, помещение на разный фон и т.д.) получается большой набор образцов для обучения. Параметры случайного изменения параметров задаются в командной строке.

Положительные образцы могут быть созданы и из серии изображений на которых отмечены окна содержащие целевой объект.

Далее происходит обучение с использованием утилиты `haartraining`.

Полученные каскады используются функцией `cvHaarDetectObjects()`.

Главной функцией программы является функция `void CMainWin::OnCamera()`.

Эта функция содержит следующее:

`CvMemStorage *storage=cvCreateMemStorage(0);` – создание ячейки памяти для хранения какой-либо информации;

`dst=cvCreateImage(cvGetSize(img),IPL_DEPTH_32F,3);` – создание пустого изображения с полученным размером `cvGetSize(img)`, глубиной `IPL_DEPTH_32F`.

Создается последовательность точек функцией `cvCreateSeq`.

Функцией `cvFlip(img,img);` осуществляется поворот изображения.

`cvCvtColor(img,dst2,CV_RGB2GRAY);` – преобразование цветов из палитры RGB в серые тона. Это необходимо для работы пороговой функции, функции Кенни и контуров.

`cvThreshold(dst2,dst3,1,255,CV_THRESH_BINARY_INV|CV_THRESH_OTSU);` – пороговая функция, работающая по методам

CV_THRESH_BINARY_INV и CV_THRESH_OTSU. Где dst2 – входное изображение, dst3 – выходное, 1 и 255 – пороги функции.

cvCanny(dst3,dst3,1,255); – функция, определяющая края изображения.

cvHoughLines2 – это метод для поиска линий, кругов и других простых форм на изображении. В данном случае осуществляется поиск линий.

cvFindContours и cvDrawContours – функции поиска и прорисовки контуров изображения.

Для указания начальной и конечной точки перемещения робота (контрольные точки маршрута), разработана функция void on_mouse(int ev, int x, int y, int flags, void* param).

В ней присутствует оператор switch-case. Рассматривается 2 случая выбора: CV_EVENT_LBUTTONDOWN – для обработки нажатия левой кнопки мыши и CV_EVENT_RBUTTONDOWN – для обработки нажатия правой кнопки мыши.

Левой кнопкой мыши указывается начальная точка маршрута $sp=FindCellCv(CPoint(x,y))$, преобразуются координаты из видеопрограммы в координаты управлением роботом $InitPoint.x=sp.y/20.0*1.27$; $InitPoint.y=(1.0-(sp.x)/26.0)*1.57$.

При помощи правой кнопки мыши задается финишная контрольная точка маршрута. $ep=FindCellCv(CPoint(x,y))$.

При запуске на выполнение программного обеспечения, необходимо учитывать некоторые влияния.

Во-первых, одним из таких эффектов является освещение. Изменение освещения приводит к изменению качества детектирования робота в рабочем пространстве и зависит от яркости положительного изображения.

Во-вторых, угол камеры при детектировании, когда положительные изображения имеют другой угол относительно камеры и имеется возможность обнаружить робот при различных положениях внутри рабочего пространства. Если все положительные изображения имеют одинаковый угол

при обнаружении, тогда возникает зависимость от расположения камеры при детектировании робота.

Таблицы показывают вероятность нахождения робота в рабочем пространстве при различных углах камеры, различными поворотами робота и различными световыми эффектами.

Для проведения эксперимента была найдена центральная точка рабочего пространства. Положение робота относительно этой точки в реальных условиях и схематически показано на рисунке 4.2 и 4.4.

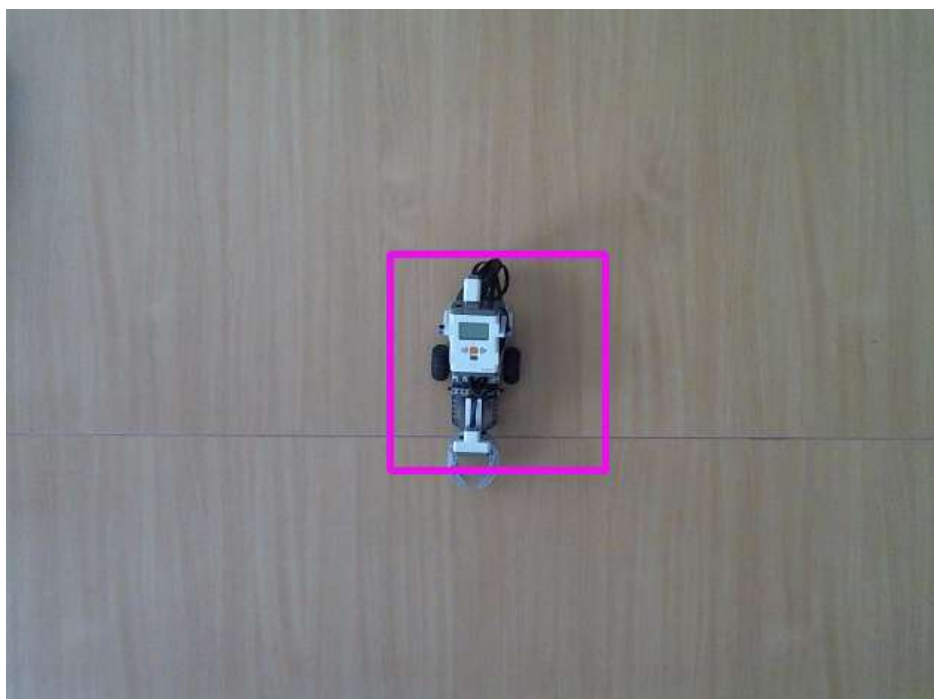


Рисунок 4.3 – Положение робота относительно центральной точки РП

продолжение таблицы 4.3

	Уровень освещения			
	Высокий	Высокий	Высокий	
Положение робота относительно камеры, (0,0)	+	+	+	Угол поворота робота, град = 0
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
	+	+	+	
Качество распознавания	100%	100%	100%	

Можно сделать вывод, что при начальных условиях качество распознавания равно 100%.

5. РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ НА ОСНОВАНИИ ПРЯМОГО ПЬЕЗОЭФФЕКТА

5.1 Конструкция и принцип работы макета пьезопреобразователя

Предлагаемое устройство преобразования механической энергии в электрическую может использоваться прежде в электро- и гибридных автомобилях для улучшения их технических характеристик за счет использования части энергии, затрачиваемой на деформацию элементов конструкции колеса силой тяжести и груза подвижного объекта. Электрические и гибридные автомобили наиболее удобный объект использования потому, что в настоящее время ведутся интенсивные поиски электрических источников питания для них и еще не стандартизированы их конструктивно-технологические решения.

В дальнейшем такая утилизация энергии, затрачиваемая при движении транспорта, может использоваться и в других видах подвижных объектов.

Показаниями для этого могут быть как технико-экономические, так и экологические факторы сохранения окружающей среды.

Аналогами предлагаемого устройства преобразования механической энергии в электрическую могут быть многочисленные пьезоэлектрические преобразователи на основе прямого пьезоэффекта.

Предлагаемая конструкция, является устройством для утилизации части механической энергии, которая теряется за счет деформации элементов колеса силой тяжести и груза подвижного объекта, путем введения в конструкцию колеса керамической вставки с пьезоэлектрическими элементами, для повышения надежности неподвижно закрепленных в нем и превращают их периодическую механическую деформацию под действием силы тяжести и груза подвижного объекта в электрический заряд, выпрямляется и передается для накопления в аккумулятор и дальнейшего

использования на объекте. За счет жесткого крепления пьезоэлементов в колесе повышаются допустимые нагрузки на пьезоэлементы и генерируемый электрический заряд соответственно, повышается надежность преобразователя.

Эта задача решается следующим образом. В преобразователе механической энергии в электрическую с помощью пьезоэлементов, которые циклически деформируются (сжимаются или сгибаются), согласно изобретению, циклическое сжатие (или сгибание) происходит за счет действия веса и груза подвижного объекта в фазе движения колеса, когда пьезоэлемент / пьезоэлементы находятся ниже оси колеса.

На рисунке 5.1 приведена структура пьезопреобразователя для циклического преобразования деформации пьезоэлементов в колесе в электрический заряд.

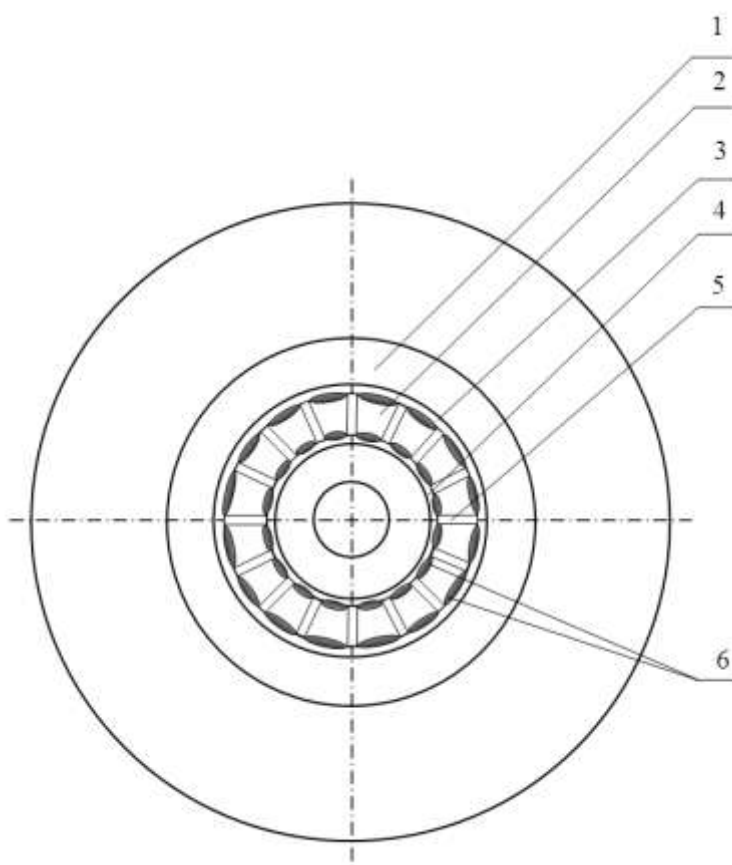


Рисунок 5.1 - Структура пьезопреобразователя

Преобразователь состоит из: 1 - диска колеса; 2 - пьезоэлементов, расположенных по кругу с постоянным угловым шагом; 3, 4 - концентрических колец из конструкционной керамики (обода и ступицы вставки); 5 - упругих изоляционных элементов; 6 - электродов пьезоэлементов, которые выведены на обод и ступицу.

Устройство работает следующим образом. Согласно действию прямого пьезоэффекта механическая работа силы тяжести и груза подвижного объекта преобразуется в электрический заряд за счет последовательной циклической деформации пьезоэлементов многоэлементного преобразователя, которая имеет место при положении элементов ниже оси колеса. Отдельные пьезоэлементы преобразователя являются спицами колеса 2 и закреплены с постоянным угловым шагом между двумя концентрическими кольцами из конструкционной керамики (например, ВК-94-1), каждое из которых неподвижно соединено с металлическими кольцами, которые образуют ступицу 4 и обод 3 колеса. Сила тяжести колеса и груза подвижного объекта действует на ось колеса, затем передается ступице 4 колеса, спицам-пьезоэлемент 2, расположенных ниже оси колеса. Эти спицы-пьезоэлементы деформируются в соответствии с распределением общей силы по спицам, находящихся под разными углами к вертикали и пьезоэлементы генерируют на их противоположных в радиальном направлении плоскостях электродах 6 электрические заряды, пропорциональные напряжениям в спицах-пьезоэлементах. Самый заряд производится спицей-пьезоэлементом, что находится в самом низком положении в колесе. Таким образом, работа сил веса колеса и груза преобразуется в электрический заряд, который накапливается в аккумуляторе после выпрямления соответствующей схеме.

Во время движения колесо вращается и все спицы-пьезоэлементы последовательно переходят в нижнее положение в колесе и генерируют свой заряд, который добавляется к заряду, который был накоплен ранее. Поскольку заряд, создаваемый на электродах пьезоэлементов, сразу же через

щеточные коллекторы (на рисунке не указаны) передается на выпрямитель, то после уменьшения силы тяжести, действующей на пьезоэлемент, он производит заряд противоположной полярности и после выпрямления также пополняет заряд аккумулятора. Фазы положения всех спиц-пьезоэлементов в колесе циклически повторяются, непрерывно производя заряды для передачи в накопитель.

Каждый элемент Пьезопреобразователя выполнено в виде многослойного пакета в форме сектора круга (или трапеций, цилиндров, колец, параллелепипедов) с осевой (согласно положению в колесе) поляризацией. Применение пьезопакетив позволяет уменьшить напряжение преобразователей, но пропорционально повысить величину тока (заряда).

Все элементы пьезопреобразователи жестко закреплены в конструкции колеса, что представляет преимуществ по сравнению с прототипом с подвижными электродами.

Отсутствуют также потери механической энергии на преодоление момента кручения, который создается давлением пружин на пьезоэлементы, перемещаемых относительно них.

Подобные устройства могут включаться в каждое колесо транспортного средства.

Таким образом, достигнута поставленная задача. Предложенная конструкция позволяет повысить допустимые нагрузки на пьезоэлементы и надежность устройства, повысить КПД преобразования механической энергии в электрическую.

5.2 Обоснование выбора материала пьезоэлектрического элемента

Свойства МПК существенно зависят от наличия в них ионов других элементов. МПК может иметь сегнетомягкие (большая валентность) или сегнетожесткие (меньшая валентность ионов элементов) свойства. Параметры ϵ , d_{ij} , K_p , $\text{tg } \delta$, η сегнетомягких МПК примерно в 2,5 – 3 раза больше

соответствующих параметров сегнетожестких материалов, значение E_K (коэрцитивного поля), Q_M , T_K наоборот ниже. Сегнетомягким МПУ характерны низкие значения коэрцитивной напряженности электрического поля, увеличенная подвижность доменных стенок, более легкая переориентация доменов в электрическом поле, повышенная податливость к воздействию электрических и механических напряжений.

В зависимости от основного назначения МПК подразделяют на:

- Сегнетомягкие. Применяются для изготовления высокочувствительных преобразователей, работающих без жестких требований по стабильности параметров к воздействию дестабилизирующих факторов (повышенной температуры, электрических и механических полей). К ним относятся такие материалы, как ЦТС-19, ЦТС-19(цс), ЦТС-36, НЦТС-2.

- Сегнетожесткие. Применяются для изготовления преобразователей, работающих в режиме приема и (или) излучения в условиях воздействия сильных электрических полей и (или) механических напряжений. К ним относятся ЦТС-23, ЦТССт-3(цт) и ЦТБС-7.

- МПК для частотно – селективных устройств. Обладающих повышенной температурной и временной стабильностью частотных характеристик. К ним относятся такие материалы, как ЦТС-38, ЦТС-39, ЦТС-40, ЦТС-35, ЦТС-35У, ЦТС-33.

- Высокотемпературные МПК. Используются для элементов, работающих при температурах не ниже 250°C . К ним относятся материалы ЦТС-21, ЦТС-26, ЦТС-26М, ТНаВ-1, ТНВ-1, ТНаВ-1М.

- Электрооптические МПК. Используются для изготовления активных элементов светомодулирующих, в том числе и защитных, устройств и цифровых индикаторов. В эту группу входят ЦТСЛ-А, ЦТСЛ-Б, ЦТСЛ-В.

Материал для пьезопреобразователя должен удовлетворять следующим требованиям:

- высокий КПД преобразования механической энергии в электрическую;

- высокая механическая прочность при сжатии;
- стойкость к воздействию внешних факторов.

Если принять вес автотранспорта (грузовика) равным 30000 Н, распределенный равномерно на 4 колеса шириной 0,305 м, то предел механической прочности при сжатии должен быть не менее $\sim 10^6$ Па.

В таблице 5.1 приведены основные параметры материалов, удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям.

Таблица 5.1 – Параметры пьезокерамических материалов

Марка	Основные компоненты	$t_{\min}, ^\circ\text{C}$	$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	$T_k, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{сж}}, 10^6 \text{Па}$	$U_{31}, 10^{11} \text{Па}$	$d_{33}, 10^{-12} \text{Кл/Н}$
ЦТС–19	Цирконат - титанат свинца	-60	+200	+300	294	0,7	330
ЦТС–19 (цт)	Цирконат - титанат свинца	-60	+200	+300	294	0,7	430
ЦТС–24	Цирконат - титанат свинца	-60	+150	+270	343	0,75	200
ЦТССт–3	Цирконат - титанат свинца - стронция	-60	+85	+260	350	0,8	275
ЦТСтБС-1	Цирконат - титанат стронция, бария, свинца	-60	+150	+240	345	0,7	558
PZT – 5Н	Цирконат - титанат свинца	-60	+90	193	515	0,6	593

В пьезоэлектрических источниках для преобразования механической энергии в электрическую могут быть использованы различные виды деформаций, в том числе и деформация изгиба. Однако при изгибах

пьезоматериал испытывает усталость и не допускает перегрузки. В таком случае надежность элемента может быть существенно выше, если использовать деформацию сжатия.

При центральном (вдоль оси элемента) сжатии/растягивании возникают нормальные напряжения.

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (5.1)$$

где F – приложенная сила, Н;

S – площадь поперечного сечения, м^2 .

При этом относительное удлинение находится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{Y_{31}}, \quad (5.2)$$

где Y_{31} – модуль Юнга, Н/м^2 .

Абсолютное удлинение

$$\Delta h = \varepsilon * h, \quad (5.3)$$

где h – высота пьезоэлектрического элемента, м.

Заряд, получаемый на гранях в результате приложения силы F

$$q = F * d_{33}, \quad (5.4)$$

где d_{33} – пьезоэлектрический модуль, Кл/Н.

Максимальное напряжение, полученное в результате сжатия пьезоэлемента

$$U_{\max} = \frac{\Delta h}{d_{33}}, \quad (5.5)$$

Сила тока за время t находится по формуле

$$I = \frac{q}{t}, \quad (5.6)$$

Мощность определяется как

$$P = I \cdot U. \quad (5.7)$$

В таблице 5.2 приведены результаты расчетов для пьезоматериалов, произведенные по формулам (5.1) – (5.7). На рисунке 5.2 приведена

зависимость вырабатываемой мощности от материала (размеры элемента 5x5x10 мм, F=500 Н).

Таблица 5.2 – Результаты расчетов

Параметры	Материал					
	ЦТС– 19 (цт)	ЦТС– 19	PZT–5Н	ЦТС–24	ЦТССт - 3	ЦТСтБС –1
σ , Н/м ²	$2 \cdot 10^7$					
Δh , 10 ⁻⁶ м	2,857	2,857	3,333	2,667	2,5	2,857
q, 10 ⁻⁷ Кл	2,15	1,65	2,965	1	1,375	2,79
U, В	6645	8658	5621	13330	9091	5120
I, 10 ⁻⁷ А	2,15	1,65	2,965	1	1,375	2,79
P, 10 ⁻³ Вт	1,429	1,429	1,667	1,333	1,25	1,429

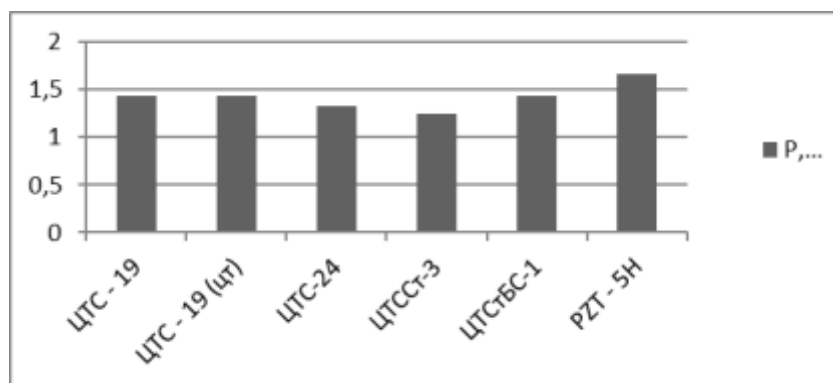


Рисунок 5.1 – Зависимость вырабатываемой мощности от материала пьезоэлемента

На основании проведенного анализа для изготовления пьезоэлектрического источника энергии выбран материал PZT – 5Н.

5.3 Конструкция опытного образца пьезопреобразователя

Конструкция опытного образца пьезопреобразователя, реализованная в виде колеса, приведена на рисунке 5.2

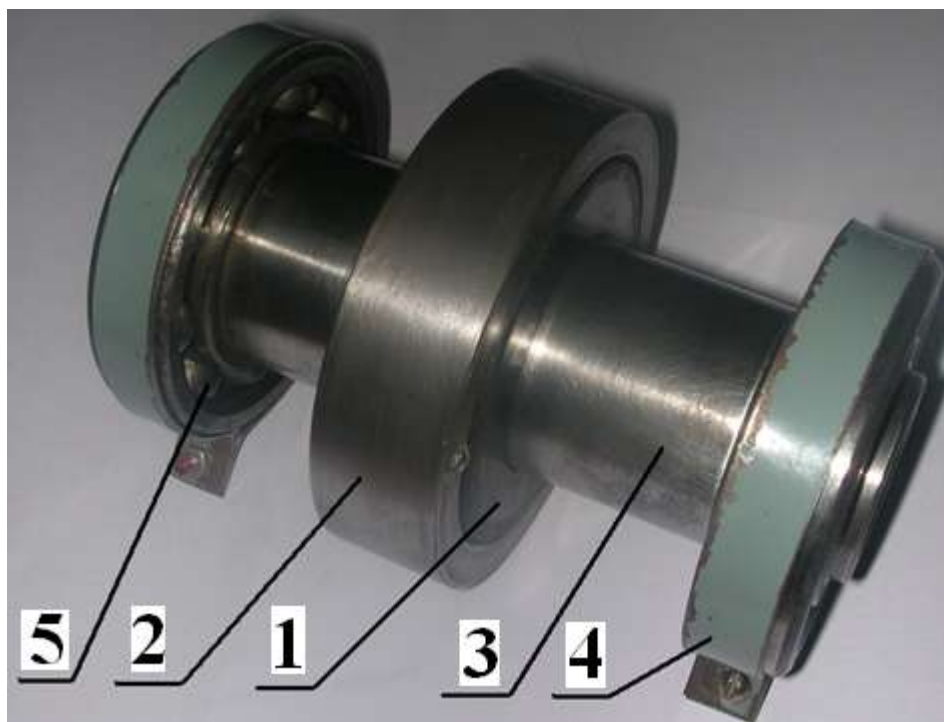


Рисунок 5.2 - Конструкция опытного образца пьезопреобразователя

Пьезоэлектрические элементы установлены радиально попарно в резиновом демпфирующем кольце 1 и располагаются перпендикулярно направлению движения колеса. Габаритные параметры кольца: внутренний диаметр 46 мм., внешний диаметр 76 мм., толщина 26 мм. Жесткость демпфирующем кольца была выбрана с учетом необходимой деформации пьезоэлектрических элементов и ограничения их деформации для избегания разрушения.

На демпфирующее кольцо одевается стальной обод 2 (внутренний диаметр 76 мм., внешний диаметр 95мм.) и в свою очередь, одевается на стальной вал 3 с внешним диаметром 46мм. Таким образом установленные в демпфирующем колесе пьезоэлектрические элементы контактируют своими обкладками с кольцом и валом. Обод и вал необходимы для передачи механических усилий при движении оптного образца пьезопреобразователя и в то же время служат для съема заряда с обкладок пьезоэлектрических элементов.

Опытной образец перемещается по направляющему желобу. Для создания различной нагрузки на пьезоэлектрические элементы к макету подвешивается груз с изменяемой массой. Подвес груза осуществляется на хомуты 4, для снижения трения закрепленные на подшипниках качения 5 208 А.

Сигнал выходного напряжения выпрямляется при помощи выпрямителя напряжения D8S104G и фиксируется при помощи осциллографа.

5.4 Экспериментальные исследования зависимости количества генерируемой энергии от значения и типа нагрузки на опытный образец пьезопреобразователя

Условия эксперимента: в пьезогенераторе используется один пьезоэлектрический элемент, нагрузка – 5 кг. Измеряется напряжение с помощью мультиметра на конденсаторе емкостью 1000 пФ в состоянии покоя ($U_{ст}$) и при качении устройства ($U_{пр}$).

Полученные данные и результаты расчетов сведены в таблицу 5.3. На рисунке 5.2 представлено распределение напряжения $U_{пр}$.

Таблица 5.3 – Результаты эксперимента №1 и расчетов

№	U _{ст} , мВ	U _{пр} ,мВ	№	U _{ст} , мВ	U _{пр} ,мВ	№	U _{ст} , мВ	U _{пр} ,мВ
1	6	144	18	8	56	35	5	431
2	4	27	19	3	377	36	6	217
3	2	736	20	5	88	37	3	118
4	8	398	21	10	253	38	6	196
5	6	1053	22	11	773	39	6	243
6	6	33	23	10	1033	40	6	353
7	8	65	24	5	1328	41	4	73
8	5	1110	25	7	1354	42	6	39
9	5	186	26	5	1004	43	2	445
10	5	1101	27	5	330	44	12	223
11	5	1979	28	5	922	45	6	676
12	0	353	29	6	30	46	7	106
13	0	1312	30	7	1745	47	8	287
14	0	1787	31	0	507	48	7	319
15	0	1489	32	6	53	49	8	90
16	5	78	33	8	92	50	8	251
17	5	89	34	8	155			

Математическое ожидание составило:

$$M[U_{ст}] = 5,58 \text{ (мВ)};$$

$$M[U_{пр}] = 522,14 \text{ мВ.}$$

СКО:

$$\sigma[U_{ст}] = 2,721;$$

$$\sigma[U_{пр}] = 531,049.$$

На рисунке 5.3 представлен вид сигнала при качении макета.

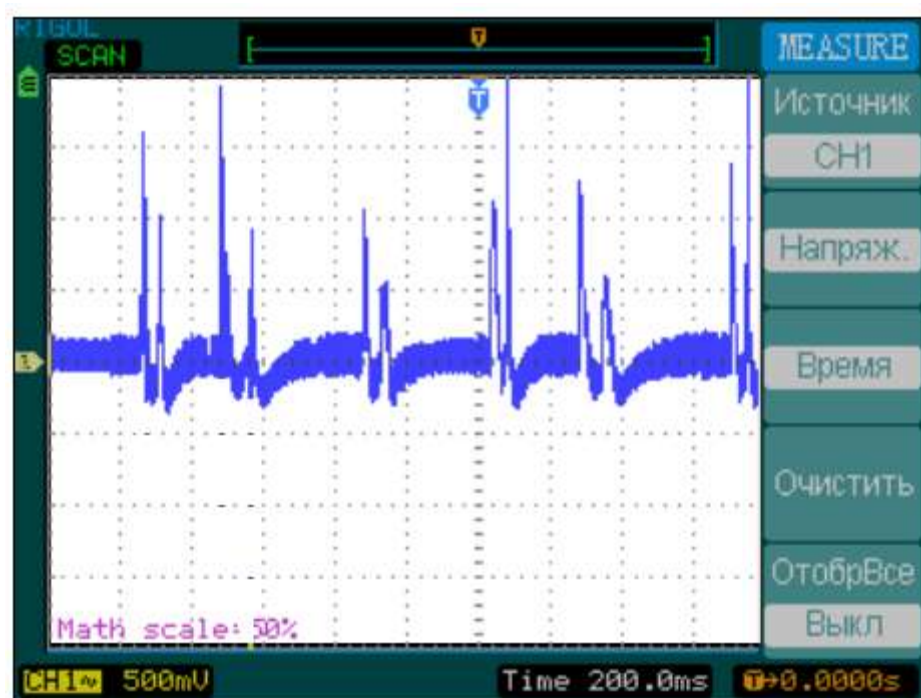


Рисунок 5.3 – Вид сигнала при качении макета (емкость конденсатора 10000 пФ)

Вырабатываемый пьезогенератором заряд определяется по формуле

$$Q = C \cdot U, \quad (5.10)$$

где C - емкость конденсатора, пФ;

U - напряжение, вырабатываемое пьезогенератором, В.

В таблице 5.4 сведены результаты эксперимента и расчетов.

Математическое ожидание составило:

$$M[U_{ст}] = 5,58 \text{ (мВ)};$$

$$M[U_{пр}] = 522,14 \text{ мВ.}$$

СКО:

$$\sigma[U_{ст}] = 2,721;$$

$$\sigma[U_{пр}] = 531,049.$$

Таблица 5.4 – Результаты эксперимента №2 и расчетов

№	U, В	Q, мкКл	№	U, В	Q, мкКл
1	1,9	0,019	16	1,45	0,0145
2	1	0,01	17	0,9	0,009
3	2	0,02	18	0,8	0,008
4	1	0,01	19	1,3	0,013
5	2	0,02	20	1,6	0,016
6	1,1	0,011	21	2	0,02
7	1,9	0,019	22	2	0,02
8	2	0,02	23	1,2	0,012
9	0,7	0,007	24	2	0,02
10	2	0,02	25	1,5	0,015
11	2	0,02	26	1,3	0,013
12	1,5	0,015	27	2	0,02
13	0,85	0,0085	28	2	0,02
14	1,1	0,011	29	2	0,02
15	0,9	0,009	30	2	0,02
M(x)	1,5333	σ	0,4677		

Среднее значение полученного заряда $Mq = 0,0153$ мкКл.

В общем случае вид сигнала, вырабатываемого при прокатывании колеса с одним пьезоэлементом, изображен на рисунке 5.9.

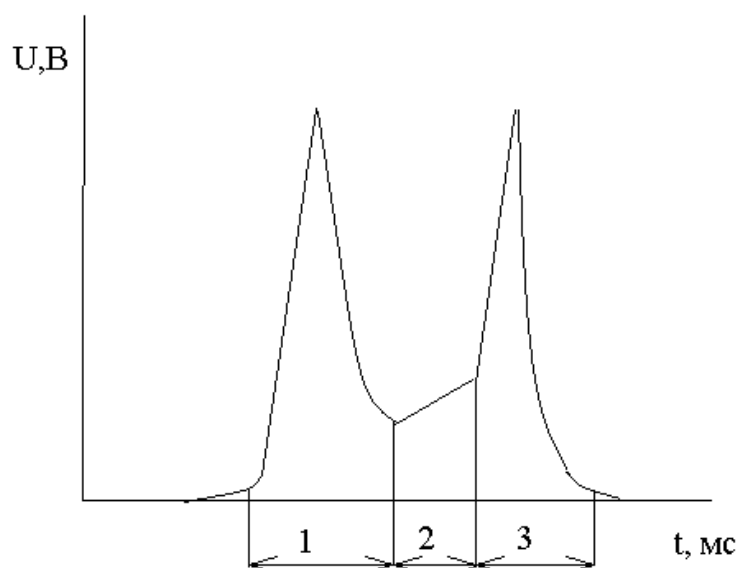


Рисунок 5.9 – Схематическое изображение формы сигнала, полученного при качении макета

Форма сигнала обусловлена формой пьезоэлектрического элемента. Участок 1 – первичный фронт. Вся нагрузка приходится на выступающий край элемента. Участок 2 – линейная зависимость. Нагрузка на элемент увеличивается постепенно. Участок 3 – Задний фронт. Вся нагрузка приходится на другой край элемента.

Для того чтобы получить более плавное изменение сигнала, принято решение об использовании пьезоэлемента с закругленными краями. Также достигнуть цели можно увеличив радиус колеса.

Измерение напряжения, вырабатываемого пьезоэлектрическим источником энергии при размещении пьезоэлемента под углом.

Условия эксперимента: качение макета по поверхности с варьируемым углом наклона пьезоэлектрического элемента (α). В устройстве используется один пьезоэлектрический элемент, нагрузка – 5 кг. Результаты эксперимента и расчеты сведены в таблицу 5.5. На рисунках 5.10 – 5.13 предоставлены показания осциллографа.

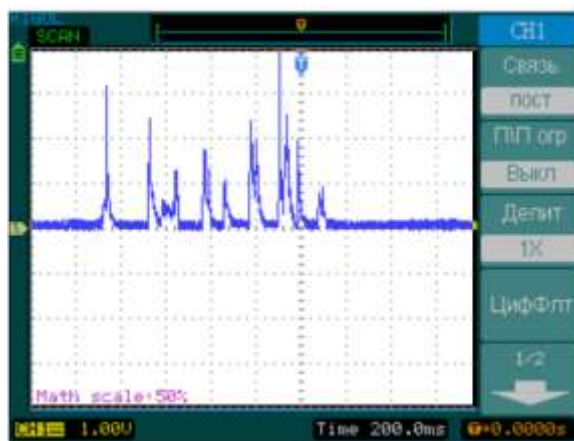


Рисунок 5.10 – Вид сигнала (угол 5°)

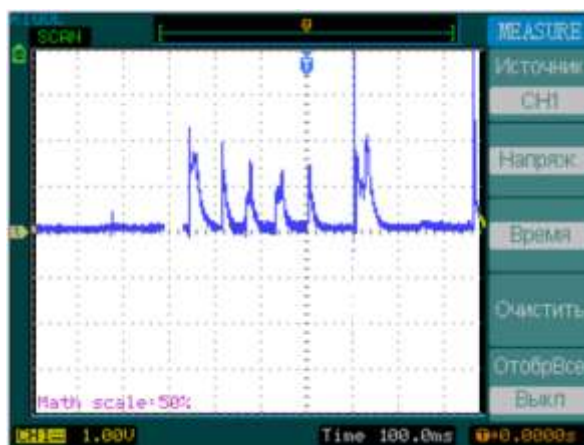


Рисунок 5.11 – Вид сигнала (угол 10°)

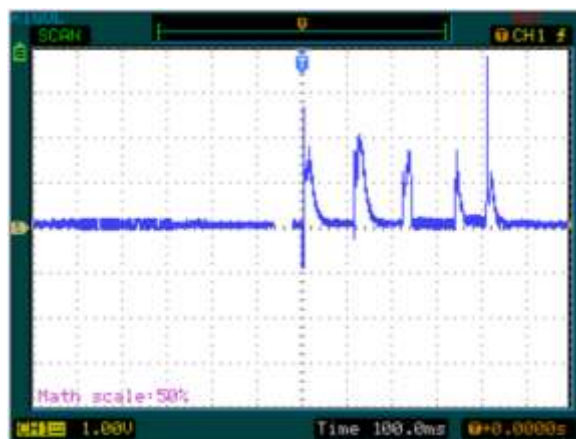


Рисунок 5.12 – Вид сигнала (угол 14°)

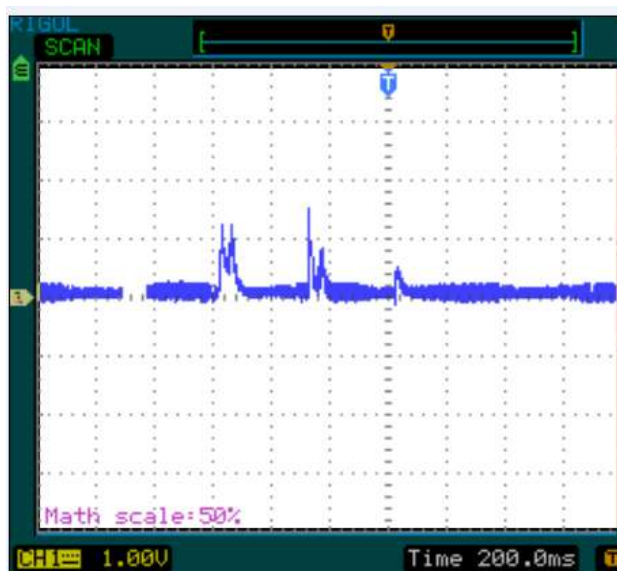
Рисунок 5.13 – Вид сигнала (угол 18°)

Таблица 5.5 – Результаты эксперимента №3 и расчетов

№	$\alpha, ^\circ$	U, В	Q, мкКл	№	$\alpha, ^\circ$	U, В	Q, мкКл
1	5	2,8	0,028	21	14	1,7	0,017
2	5	2,5	0,025	22	14	2	0,02
3	5	1,4	0,014	23	14	2,2	0,022
4	5	2,1	0,021	24	14	2	0,02
5	5	1,8	0,018	25	14	1,4	0,014
6	5	2,8	0,028	26	14	3	0,03
7	5	2	0,02	27	14	2	0,02
8	5	3	0,03	28	14	2	0,02
9	5	2,2	0,022	29	14	2,2	0,022
10	5	1,8	0,018	30	14	1,8	0,018
11	10	1,5	0,015	31	18	1,6	0,016
12	10	2,1	0,021	32	18	2	0,02
13	10	2,3	0,023	33	18	1,6	0,016
14	10	1,75	0,0175	34	18	1,2	0,012
15	10	1,8	0,018	35	18	1	0,01

продолжение таблицы 5.5

№	$\alpha, ^\circ$	U, В	Q, мкКл	№	$\alpha, ^\circ$	U, В	Q, мкКл
16	10	2	0,02	36	18	1,2	0,012
17	10	2,2	0,022	37	18	1,8	0,018
18	10	2	0,02	38	18	1,4	0,014
19	10	2,3	0,023	39	18	2	0,02
20	10	1,8	0,018	40	18	2	0,02

$$M(U) = 1,956 (В);$$

$$\sigma = 0,451.$$

Среднее значение полученного заряда $Mq = 0,0196$ мкКл.

Условия эксперимента: качение макета по поверхности с варьируемым углом наклона элемента (α). В устройстве используется один пьезоэлектрический элемент, нагрузка – 50 Н. Результаты эксперимента и расчеты сведены в таблицу 5.6. На рисунках 5.14 – 5.17 предоставлены показания осциллографа.

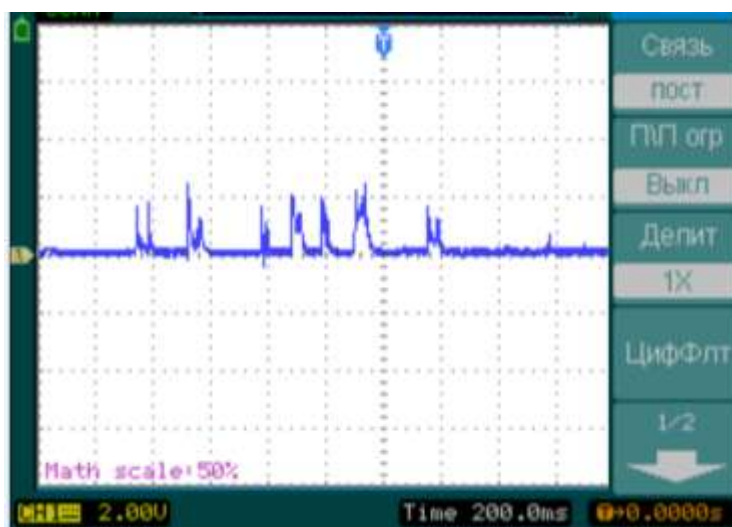


Рисунок 5.14 – Вид сигнала (размещение элемента под углом - 5°)

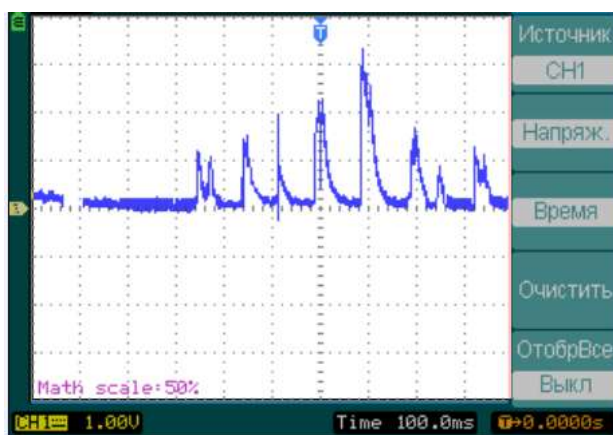
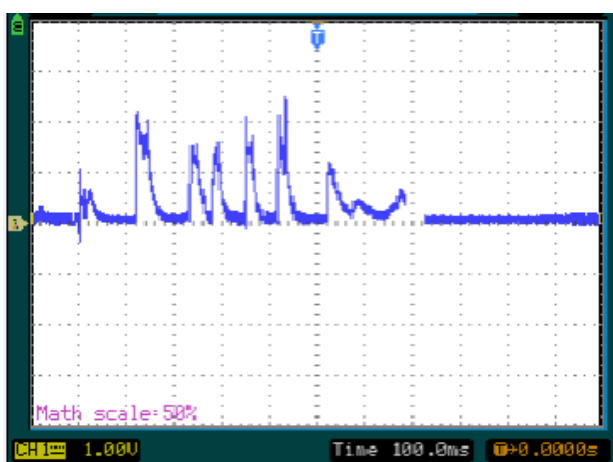
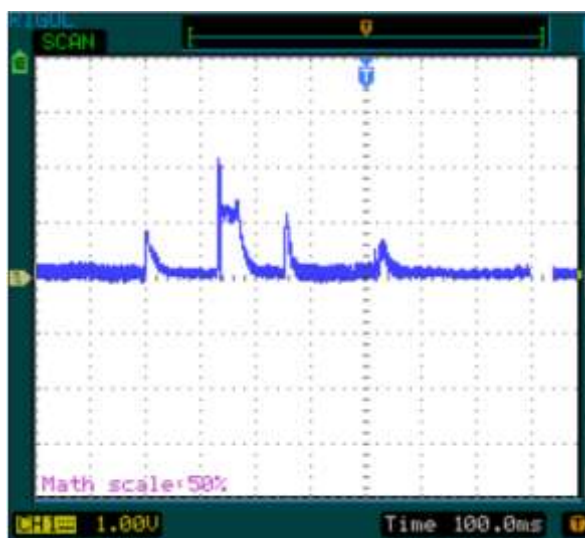
Рисунок 5.15 – Вид сигнала (угол - 10°)Рисунок 5.16 – Вид сигнала (угол - 14°)Рисунок 5.17 – Вид сигнала (угол - 18°)

Таблица 5.6 – Результаты эксперимента №4 и расчетов

№	$\alpha, ^\circ$	U, В	Q, мкКл	№	$\alpha, ^\circ$	U, В	Q, мкКл
1	5	2	0,02	21	14	1,6	0,016
2	5	2,6	0,026	22	14	1,6	0,016
3	5	2,4	0,024	23	14	1,4	0,014
4	5	1,6	0,016	24	14	2	0,02
5	5	2	0,02	25	14	1,6	0,016
6	5	2	0,02	26	14	2	0,02
7	5	2,4	0,024	27	14	2	0,02
8	5	2,1	0,021	28	14	2,3	0,023
9	5	1,6	0,016	29	14	2	0,02
10	5	2,2	0,022	30	14	1,6	0,016
11	10	1,6	0,016	31	18	1	0,01
12	10	1	0,01	32	18	1,8	0,018
13	10	1,4	0,014	33	18	1,4	0,014
14	10	1,2	0,012	34	18	1,8	0,018
15	10	1,2	0,012	35	18	2,2	0,022
16	10	1,6	0,016	36	18	2,6	0,026
17	10	1,8	0,018	37	18	1,6	0,016
18	10	1	0,01	38	18	1,2	0,012
19	10	1,7	0,017	39	18	1,4	0,014
20	10	1,4	0,014	40	18	1,4	0,014

$$M(U) = 1,733 \text{ (В)};$$

$$\sigma = 0,421.$$

Среднее значение полученного заряда $Mq = 0,0173$ мкКл.

Измерение напряжения, вырабатываемого пьезоэлектрическим источником энергии при ударных нагрузках

Измерение напряжения для конденсатора с емкостью $C=1000$ пФ

Для исследования выходной характеристики устройства при неровностях дороги было принято решение о проведении экспериментов для ударных нагрузок.

Условия эксперимента: свободное падение груза массой $m=1$ кг с высоты $H=1$ см на пьезоэлемент. Полученные результаты и расчеты сведены в таблицы 5.7 и 5.8. На рисунке 5.18 изображен вид полученной зависимости.

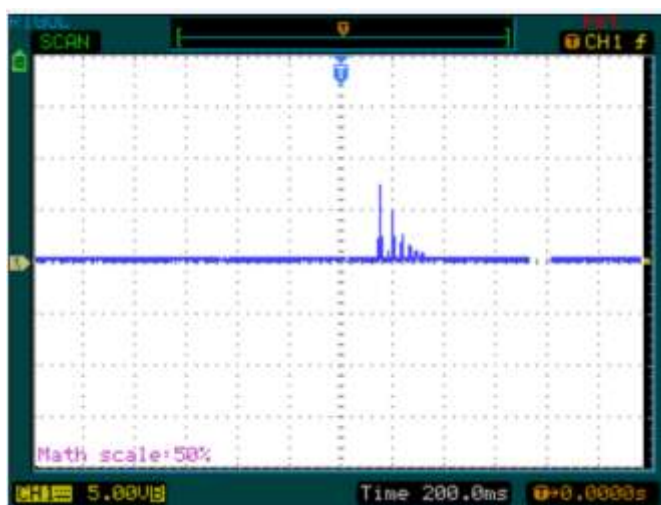


Рисунок 5.18 – Вид сигнала

Таблица 5.7 – Результаты эксперимента №5 и расчетов (при $C=1000$ пФ)

№	U, В	№	U, В	№	U, В	№	U, В
1	7	16	16,5	31	8	46	16
2	6	17	10	32	14,2	47	6
3	9,5	18	12	33	15,5	48	20
4	6	19	20	34	5,2	49	16,2
5	20	20	12,2	35	8,5	50	7,5
6	10	21	4,5	36	14	51	16,5
7	10	22	4,5	37	7	52	15

продолжение таблицы 5.7

№	U, В	№	U, В	№	U, В	№	U, В
8	7,5	23	6,5	38	6,5	53	4,5
9	8,5	24	7,5	39	17	54	13
10	8,2	25	8,2	40	5,5	55	17,2
11	6	26	8	41	9	56	8,8
12	3	27	8	42	12	57	12,2
13	15	28	9,5	43	12	58	20
14	6	29	5	44	14,8	59	17
15	6,5	30	16,5	45	9,8	60	18

$$M(U) = 10,75 \text{ (В)};$$

$$\sigma = 4,71945.$$

Таблица 5.8 – Результаты расчетов вырабатываемого заряда (эксперимент №5)

№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл
1	0,007	16	0,0165	31	0,008	46	0,016
2	0,006	17	0,01	32	0,0142	47	0,006
3	0,0095	18	0,012	33	0,0155	48	0,02
4	0,006	19	0,02	34	0,0052	49	0,0162
5	0,02	20	0,0122	35	0,0085	50	0,0075
6	0,01	21	0,0045	36	0,014	51	0,0165
7	0,01	22	0,0045	37	0,007	52	0,015
8	0,0075	23	0,0065	38	0,0065	53	0,0045
9	0,0085	24	0,0075	39	0,017	54	0,013

продолжение таблицы 5.8

№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл
10	0,0082	25	0,0082	40	0,0055	55	0,0172
11	0,006	26	0,008	41	0,009	56	0,0088
12	0,003	27	0,008	42	0,012	57	0,0122
13	0,015	28	0,0095	43	0,012	58	0,02
14	0,006	29	0,005	44	0,0148	59	0,017
15	0,0065	30	0,0165	45	0,0098	60	0,018

Среднее значение сгенерированного заряда $Mq = 0,0011$ мкКл.

Измерение напряжения для конденсатора с емкостью $C=10000$ пФ

Условия эксперимента: свободное падение груза массой $m=1$ кг с высоты $H=1$ см на пьезоэлемент. Полученные результаты и расчеты сведены в таблицы 5.9 и 5.10.

Таблица 5.9 – Результаты эксперимента №6 и расчетов (при $C=10000$ пФ)

№	U, В	№	U, В	№	U, В	№	U, В
1	3,6	16	8	31	8	46	8
2	3,6	17	3,6	32	7,6	47	8
3	3,2	18	5,8	33	8	48	8
4	3,8	19	5,4	34	8	49	8
5	4	20	6,6	35	8	50	6
6	4,4	21	8	36	8	51	8
7	4,6	22	6,1	37	4	52	8
8	6,4	23	8	38	4,6	53	5,4

продолжение таблицы 5.9

№	U, В	№	U, В	№	U, В	№	U, В
9	6,2	24	4,6	39	4,4	54	6,5
10	4	25	8	40	4	55	7,4
11	5,2	26	8	41	5,8	56	7,4
12	4,4	27	7	42	8	57	6,7
13	5,2	28	6	43	7	58	7,7
14	5	29	8	44	8	59	8
15	5,6	30	5	45	8	60	6,2
M(x)	6,3	σ	1,6077				

Таблица 5.10 – Результаты расчетов вырабатываемого заряда (эксперимент №6)

№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл
1	0,036	16	0,08	31	0,08	46	0,08
2	0,036	17	0,036	32	0,076	47	0,08
3	0,032	18	0,058	33	0,08	48	0,08
4	0,038	19	0,054	34	0,08	49	0,08
5	0,04	20	0,066	35	0,08	50	0,06
6	0,044	21	0,08	36	0,08	51	0,08
7	0,046	22	0,061	37	0,04	52	0,08
8	0,064	23	0,08	38	0,046	53	0,054
9	0,062	24	0,046	39	0,044	54	0,065
10	0,04	25	0,08	40	0,04	55	0,074
11	0,052	26	0,08	41	0,058	56	0,074
12	0,044	27	0,07	42	0,08	57	0,067
13	0,052	28	0,06	43	0,07	58	0,077

продолжение таблицы 5.10

№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл
14	0,05	29	0,08	44	0,08	59	0,08
15	0,056	30	0,05	45	0,08	60	0,062

Среднее значение сгенерированного заряда $Mq = 0,063$ мкКл.

На рисунке 5.19 изображен вид полученной зависимости. Разброс параметров в экспериментах №5 и 6 существенно ниже, чем в эксперименте №1. Это вызвано тем, что:

- измерения проводились осциллографом, а не мультиметром;
- усовершенствован макет (уменьшено влияние человеческого фактора).

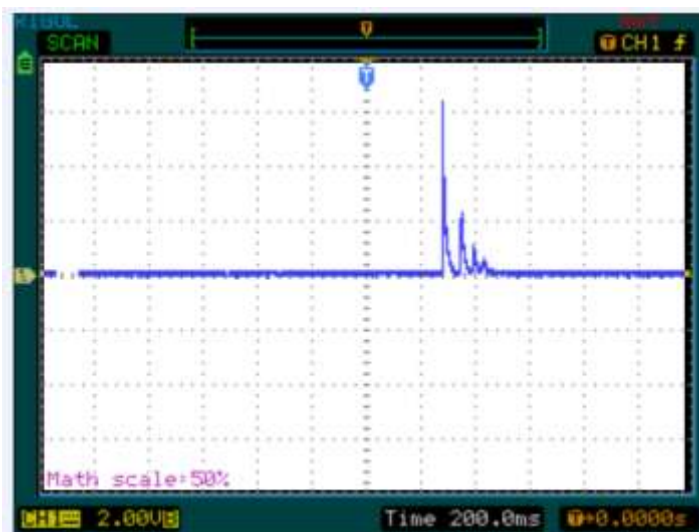


Рисунок 5.19 – Вид сигнала

При замене в макете пьезоэлементов на новые (недеформированные) изменяются вид сигнала (рисунок 5.19) и пиковые значения вырабатываемого напряжения (таблицы 5.11 и 5.12). Сравнивая зависимости, представленные на рисунках 5.18, 5.19 и 5.20, можно сделать вывод: при

использовании изношенных пьезоэлементов за счет трещин и внутренних деформаций генерируются дополнительные импульсы.

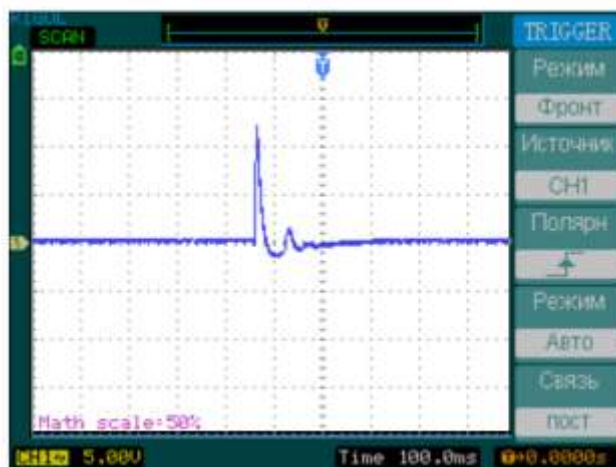


Рисунок 5.20 – Вид сигнала (использование новых пьезоэлементов)

Таблица 5.11 – Результаты эксперимента № 7 и расчетов (при $C=10000$ пФ)

№	U, В	№	U, В	№	U, В	№	U, В
1	8	16	5	31	17,5	46	20
2	6,4	17	15	32	13	47	12
3	8	18	12	33	13	48	12,5
4	8	19	12	34	13,5	49	10,5
5	8	20	12	35	16	50	14,5
6	13,5	21	6	36	19	51	12
7	15	22	7,2	37	14	52	9
8	8,5	23	6,5	38	11	53	14,5
9	14,5	24	9,5	39	20	54	13
10	11,5	25	14	40	16,5	55	14,5
11	16	26	10	41	20	56	12
12	10	27	12	42	15	57	7
13	13,5	28	14,5	43	14,5	58	16
14	8,5	29	10,5	44	6	59	13
15	8,5	30	15	45	9	60	16

$$M(U) = 12,223 \text{ (В)};$$

$$\sigma = 3,684.$$

Таблица 5.12 – Результаты расчетов вырабатываемого заряда
(эксперимент №7)

№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл	№	Q, мкКл
1	0,08	16	0,05	31	0,175	46	0,2
2	0,064	17	0,15	32	0,13	47	0,12
3	0,08	18	0,12	33	0,13	48	0,125
4	0,08	19	0,12	34	0,135	49	0,105
5	0,08	20	0,12	35	0,16	50	0,145
6	0,135	21	0,06	36	0,19	51	0,12
7	0,15	22	0,072	37	0,14	52	0,09
8	0,085	23	0,065	38	0,11	53	0,145
9	0,145	24	0,095	39	0,2	54	0,13
10	0,115	25	0,14	40	0,165	55	0,145
11	0,16	26	0,1	41	0,2	56	0,12
12	0,1	27	0,12	42	0,15	57	0,07
13	0,135	28	0,145	43	0,145	58	0,16
14	0,085	29	0,105	44	0,06	59	0,13
15	0,085	30	0,15	45	0,09	60	0,16

Среднее значение полученного заряда $Mq = 0,123$ мкКл.

5.5 Выводы к пятому разделу

В ходе работы разработан и изготовлен макет источника энергии на основании прямого пьезоэффекта. Проведен ряд экспериментов для исследования выходной характеристики пьезопреобразователя в зависимости от типа нагрузки (удар, качение). Получены следующие результаты. Среднее значение сгенерированного заряда при качении $Мq = 0,0153$ мкКл. Среднее значение сгенерированного заряда при качении (пьезоэлектрические элементы размещены под углом относительно оси колеса) $Мq = 0,0196$ мкКл. Среднее значение сгенерированного заряда при ударных нагрузках $Мq = 0,123$ мкКл.

6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Главной задачей является разработка алгоритма и реализация прямолинейного движения шестиногого робота. Для создания мобильной конструкции небольшого веса и с невысокой потребляемой мощностью было принято решение установить на роботе 18 сервоприводов (по 3 на каждую ногу). Соответственно, создаваемый робот при передвижении будет иметь 18 степеней свободы, что показано на кинематической схеме на рисунке 6.1.

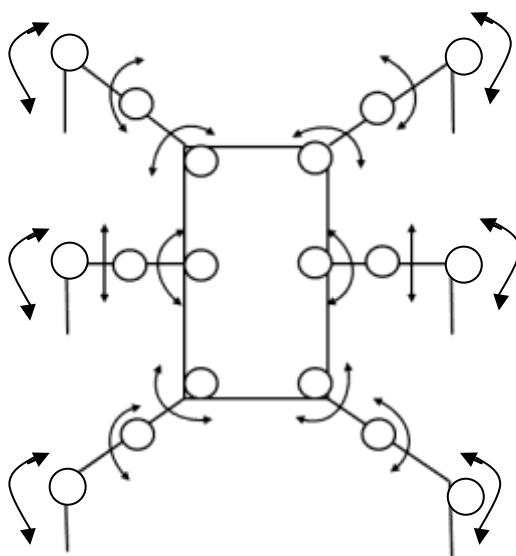


Рисунок 6.1 – Кинематическая схема робота Нехарод 1.0

Внешний вид робота Нехарод 1.0 представлен на рисунке 6.2.

Основу элементной базы робота составляют устройство управления – аппаратно-вычислительная платформа Arduino ATmega 2560 и исполнительные устройства – серводвигатели HexTronik HX12K.



Рисунок 6.2 – Внешний вид робота Нехарод 1.0

Контроллер. В качестве устройства управления была выбрана аппаратно-вычислительная платформа Arduino Mega, построенная на микроконтроллере ATmega2560. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или подать питание при помощи адаптера AC/DC, или аккумуляторной батареей. Arduino Mega 2560 совместима со всеми платами расширения, разработанными для платформ Uno или Duemilanove.

Краткие характеристики устройства управления представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технические характеристики УУ

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12В
Входное напряжение (предельное)	6-20В
Цифровые Входы/Выходы	54 (14 из которых могут работат также как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16
Постоянный ток через вход/выход	40 mA
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 mA
Флеш-память	256 кВ (из которых 8 кВ используются для загрузчика)
Энергонезависимая память	4 кВ
Тактовая частота	16 MHz

Arduino Mega может получать питание как через подключение по USB, так и от внешнего источника питания. Источник питания выбирается автоматически.

Внешнее питание (не USB) может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с положительным полюсом на центральном контакте. Провода от батареи подключаются к выводам Gnd и Vin разъема питания (POWER).

Платформа может работать при внешнем питании от 6 В до 20 В. При напряжении питания ниже 7 В, вывод 5V может выдавать менее 5 В, при

этом платформа может работать нестабильно. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Рекомендуемый диапазон от 7 В до 12 В.

Плата Mega2560, в отличие от предыдущих версий плат, не использует FTDI USB микроконтроллер. Для обмена данными по USB используется микроконтроллер Atmega8U2, запрограммированный как конвертер USB-to-serial.

Ниже описаны присутствующие выводы питания.

VIN - вход используется для подачи питания от внешнего источника (в отсутствие 5 В от разъема USB или другого регулируемого источника питания). Подача напряжения питания происходит через данный вывод. Если питание подается на разъем 2.1mm, то на этот вход можно запитаться.

5V - регулируемый источник напряжения, используемый для питания микроконтроллера и компонентов на плате. Питание может подаваться от вывода VIN через регулятор напряжения, или от разъема USB, или другого регулируемого источника напряжения 5 В.

3V3 - Напряжение на выводе 3.3 В генерируемое микросхемой FTDI на платформе. Максимальное потребление тока 50 мА.

GND - Выводы заземления.

Сервоприводы. Существует огромное число различных пневмо-, гидро- и сервоприводов, которые можно использовать для перемещения ног робота. Однако пневматические и гидроприводы довольно дороги. Наиболее приемлемым решением является использование компактных сервоприводов. Очень хорошо известны надежные сервоприводы фирмы Dynamixel, созданные специально для применения в робототехнике. Но их стоимость довольно велика и в рамках данного проекта решено использовать недорогие, но не сильно уступающие по показателям надежности сервоприводам Dynamixel, сервоприводы HexTronik HX12K (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 - Сервопривод HextTronik HX12K.

Данные сервоприводы обладают следующими характеристиками:

- напряжение: 5-7 В;
- рабочий ход: $\pm 60-65^\circ$;
- скорость: 0,16 сек/60°(4,8 В);
- крутящий момент: 10 кг*см;
- размер (ДхШхВ): 40,7 x 19,7 x 42,9 мм;
- вес: 63 гр;
- материал шестеренок: Металл;
- кабель: 15 см.

Выбрав необходимые компоненты робота, учитывая их размеры, вес и другие характеристики перейдем к созданию конструкции корпуса робота.

Для установки серводвигателя в определенное положение, контроллер посылает на него управляющий сигнал. Он может формироваться на контроллере автономно, по заданному алгоритму. Так же есть возможность управлять положением каждого серводвигателя через последовательный интерфейс управляющего устройства. Протокол управления положением серводвигателем выглядит следующим образом: через последовательный интерфейс принимается пакет данных вида:

#xxPuuyuTzz1310

где # - признак начала пакета

xx – номер вывода, к которому подключен серводвигатель;
P – разделитель между номером вывода и длительностью импульса;
уууу – длительность импульса в микросекундах (от 550 до 2400);
T – разделитель между длительностью импульса и временем задержки;
zz – время, за которое двигатель должен установиться в заданное положение в миллисекунд.

1310 – признак конца пакета, переход на новую строку и возврат каретки.

Для установки в заданное положение более одного двигателя используется такая же конструкция, но с указанием всех номеров выводов и длительностей импульса к ним. В общем виде подобная конструкция представлена ниже.

```
#xxPууууTzz#xxPуууTzz1310
```

Для того, чтобы установить серводвигатель, подключенный к первому выводу в положение, соответствующее 1500 мс, нужно на последовательный интерфейс отправить пакет вида:

```
#1P1500T0
```

Корпус робота и все его детали были разработаны в САПР Solid Works, а затем вырезаны на промышленном оборудовании по трехмерным моделям. На рисунке 6.4 изображена трехмерная модель робота.



Рисунок 6.4 – Модель робота Нехарод 1.0

Корпус собран из двух прямоугольных пластин, с выносами для закрепления между ними шести серводвигателей. Между пластинами в собранном устройстве находятся устройство управления, с подходящими к нему проводами и устройство питания.

Алгоритмы походки имеют набор функций, описывающих производимые роботом действия. Также существуют условия реализации алгоритма, накладывающие требования и ограничения на аппаратную часть. Все эти аспекты отражены в виде критериев для определения базового алгоритма.

Критерии, определенные для алгоритмов походки шестиногих роботов:

- движение «вперед»;
- движение «вбок»;
- движение «разворот»;
- устойчивость при перемещении (количество конечностей опирающихся на поверхность во время выполнения действий);
- количество действий, приходящихся на одно полное движение;

- минимальное количество сервоприводов на одну конечность (влияет на массу и стоимость робота, зависит от требований алгоритма);
- трудоемкость реализации алгоритма.

Таблица 6.2 - Характеристики конструкции робота

Параметр	Значение
Тип корпуса	продолговатый (прямоугольный с выносами для крепления сервоприводов)
Тип конечностей	Трехзвенные, с тремя вращательными кинематическими парами
Число конечностей	6
Число степеней свободы	128
Материал корпуса	Пластик
Материал конечностей	Пластик
Габариты (ШхВхГ), см	Корпус: 25х13х13 Максимальные (включая конечности): 38х19х13

Основными критериями выбора алгоритма в представленной таблице являются оценка сложности его реализации, требуемое минимальное количество сервоприводов на конечность и устойчивость при походке. По данным критериям был выбран алгоритм «3+3» инсектоподобный. Основным недостатком данного алгоритма - невозможность реализации движения вбок, однако для робота продолговатой конструкции нет необходимости реализовывать этот тип движения.

Таким образом, основным алгоритмом передвижения робота выбран алгоритм «3+3 инсектоподобный».

Алгоритм «3+3 инсектоподобный» – один из наиболее распространенных алгоритмов передвижения среди насекомых. Именно по такому алгоритму передвигается рыжий таракан - «прусак». Из-за простоты реализации и большой скорости передвижения данный алгоритм получил широкое распространение и в шагающих машинах.

Передвижение робота продолговатой формы в данном алгоритме можно представить виде циклограммы (рис 6.5). На представленной диаграмме по оси X откладывается время, а по оси Y откладываются положения шести конечностей робота с условными обозначениями ЛП (левая передняя), ЛС (левая средняя), ЛЗ (левая задняя), ПП (правая передняя), ПС (правая средняя), ПЗ (правая задняя). Конечности условно могут иметь два положения: высокое («нога поднята») и низкое («нога опущена»)

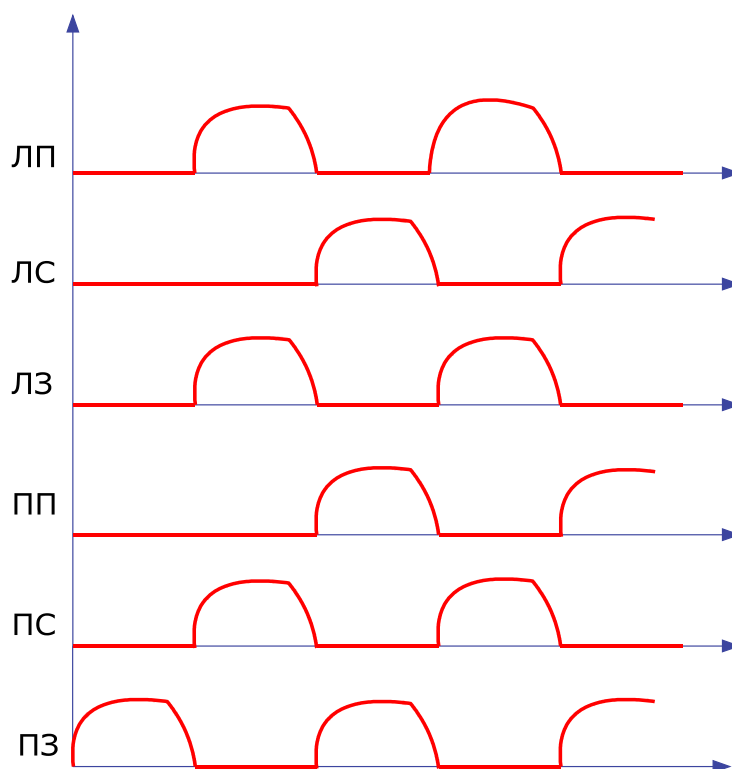


Рисунок 6.5 - Циклограмма алгоритма «3+3 инсектоподобный»

В основе адаптивного передвижения робота положено три основных принципа: принцип стабилизации, принцип останова и принцип нащупывания поверхности.

Принцип стабилизации. Принцип стабилизации основан на выравнивании робота относительно горизонтальной поверхности по показаниям акселерометра. Если показания свидетельствуют, что робот наклонен вправо, то три правые ноги опускаются на минимальную величину коррекции, а три левые ноги поднимаются на минимальную величину коррекции. После завершения первого этапа стабилизации опять происходит считывание показаний акселерометра и, если акселерометр свидетельствует о наклонном положении робота, вновь происходит стабилизации на минимальную величину коррекции. Стабилизация будет продолжаться до тех пор, пока робот полностью не выровняется или три (правые, если робот наклонен влево и наоборот), ноги не будут опущены до конца.

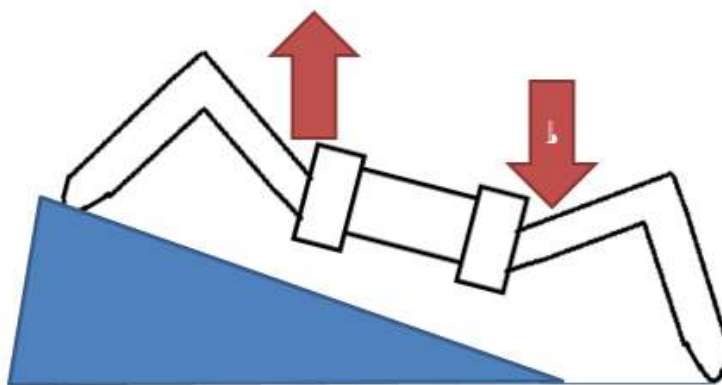


Рисунок 6.6 - Условное изображение принципа стабилизации

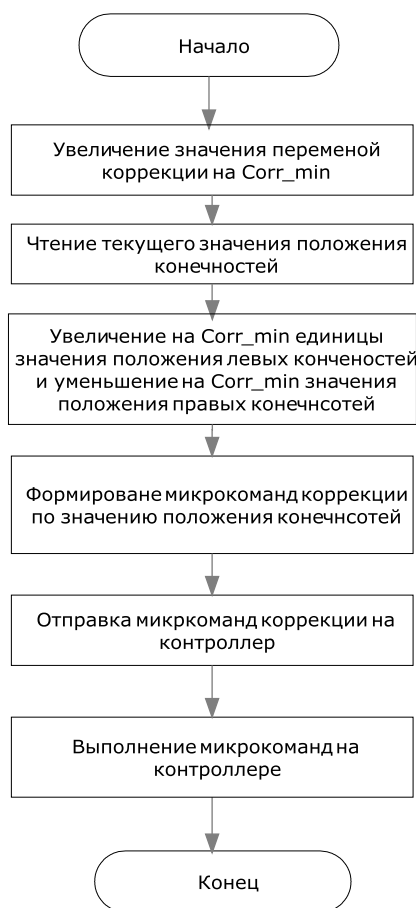


Рисунок 6.7 - Блок-схема алгоритма стабилизации

Принцип останова. Принцип останова лежит в основе адаптивного опускания ног робота. Принцип останова заключается в том, что робот будет опускать ноги до тех пор пока они не достигнут поверхности или не опустятся в крайнее нижнее положение. В алгоритме данного метода робот на каждом шаге опускает ноги на минимальную величину коррекции и затем считывает показание датчиков касания. Если нога не достигла поверхности, опускание ноги происходит заново. В случае, если поверхность достигнута или нога опущена в крайнее нижнее положение, опускание прекращается.

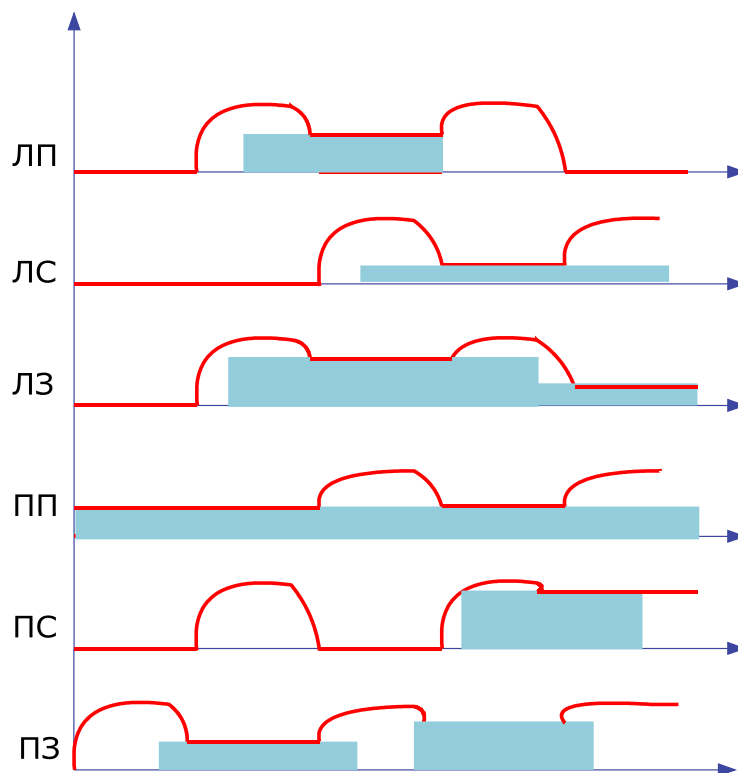


Рисунок 6.8 - Циклограмма алгоритма походки 3+3 с принципом останова

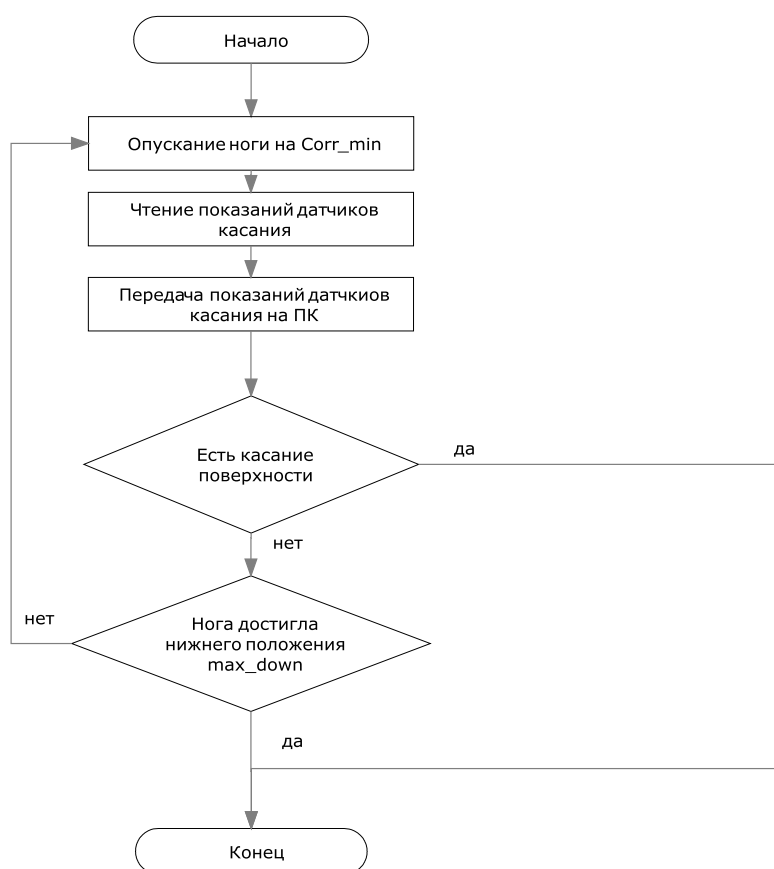


Рисунок 6.9 - Блок-схема алгоритма принципа останова

Принцип нащупывания поверхности. Принцип нащупывания поверхности заключается в том, что при отсутствии касания поверхности при опускании ноги по принципу останова (нога опущена в крайнее нижнее положение, но касания поверхности нет) происходит поиск («нащупывание») поверхности по горизонтали сначала спереди, а затем сзади. По принципу нащупывания нога, не достигшая поверхности, поднимается вверх и поворачивается на величину горизонтальной коррекции вперед. Затем по принципу останова происходит опускание ноги. Если нога вновь не коснулась поверхности, то она поднимается и перемещается по горизонтали на двойную величину горизонтальной коррекции назад, затем вновь производится опускание ноги по принципу останова.

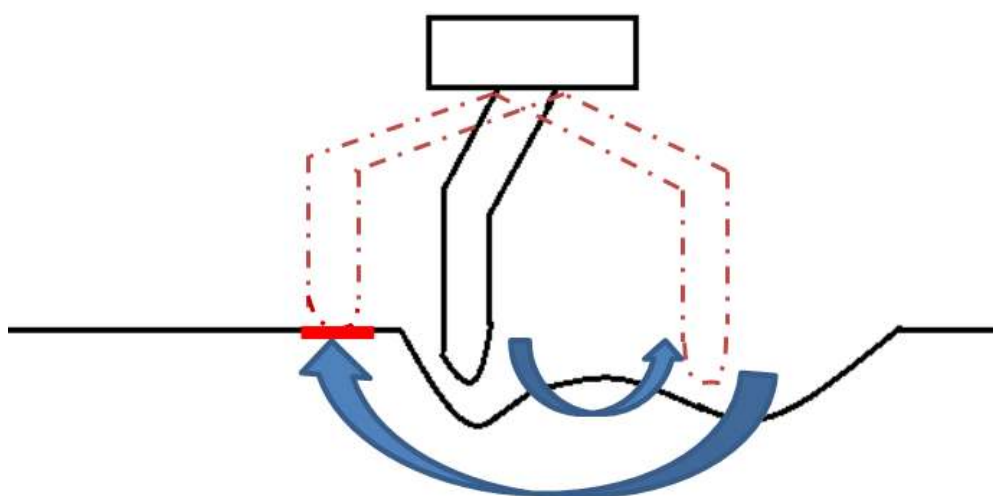


Рисунок 6.10 -Условное изображение принципа нащупывания

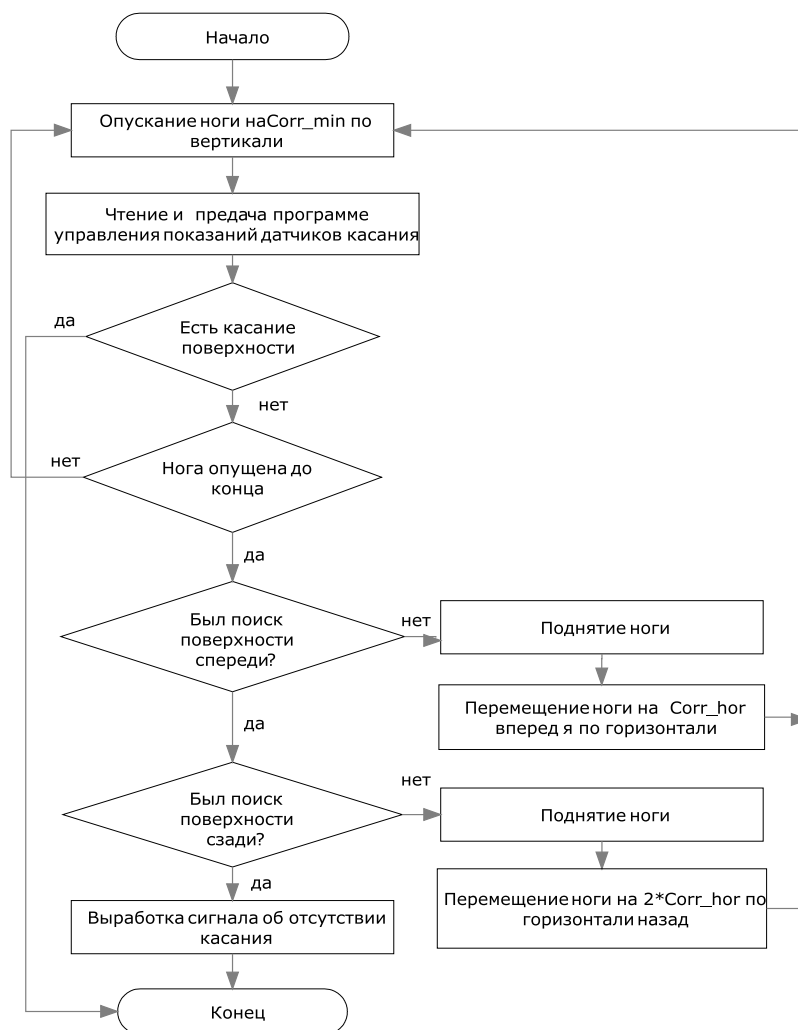


Рисунок 6.11 - Блок-схема алгоритма принципа нащупывания поверхности

Предусмотрено четыре основных алгоритма передвижения: неадаптивное передвижение, неадаптивное передвижение с выравниванием положения по акселерометру, адаптивное передвижение, адаптивное передвижение с выравниванием положения по акселерометру.

Неадаптивное движение (движение с заранее заданными положениями) - самый просто тип передвижения робота. Программа управления роботом последовательно считывает из файла макрокоманды с записанными положениями конечностей по вертикали и горизонтали, преобразует их в

микрокоманды в соответствии с протоколом программы и отправляет их на выполнение на контролер.

Блок-схема алгоритма неадаптивного передвижения:

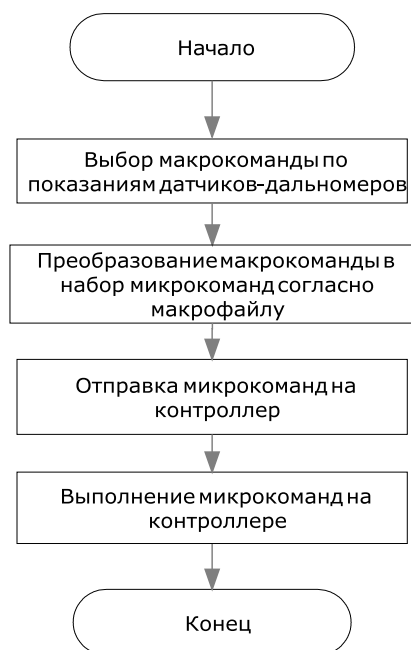


Рисунок 6.12 - Блок-схема алгоритма неадаптивного передвижения

Неадаптивное движение со стабилизацией. Процесс передвижения осуществляется также как и в неадаптивном алгоритме передвижения, по заранее записанным в файле макрокомандам. Однако для устойчивого движения требуется выравнивание корпуса робота (принцип стабилизации). Крен корпуса означает изменение нагрузки на конечности и способствует заваливанию на один край. Стабилизация положения на месте происходит перед началом каждого следующего движения. При этом значения вертикального положения конечностей запоминаются, определяются разности между этими значениями и значениями, описанными в макрокомандах и затем эти разности (корректирующие значения) запоминаются и прибавляются к значению вертикального положения

конечностей при каждом элементарном движении, входящим в состав текущего макродвижения. Перед каждым следующим макродвижением происходит очередное выравнивание на месте и переопределение корректирующих значений.

Блок-схема данного алгоритма неадаптивного передвижения со стабилизацией приведена на рис. 6.13.

Адаптивное движение. Адаптивный алгоритм передвижения позволяет расширить возможности перемещения робота по поверхностям с неровным рельефом. Каждое движение ноги состоит из 2 этапов: перемещение в горизонтальной плоскости и перемещение в вертикальной плоскости.

Для перемещения ног в горизонтальной плоскости используются заранее заданные положения ног. Точно также как и при неадаптивном движении, в конфигурационных файлах указываются углы поворота сервоприводов для достижения определенного состояния. Перемещение ног по вертикали вверх осуществляется также как и в предыдущем случае, по описанным в конфигурационных файлах значениям.

Перемещение ног по вертикали вниз происходит адаптивно, согласно принципу останова.

При дальнейшем совершенствовании данного алгоритма, в случае если после адаптивного опускания ног по принципу останова ноги не достигла поверхности, был добавлен принцип нащупывания поверхности. Если поверхность после горизонтального поиска (нащупывания поверхности) так и не будет достигнута, происходит выработка сигнала об отсутствии поверхности для данной ноги. Если после окончания передвижения данный сигнал поступил более чем с 3 ног, то движение робота завершается.

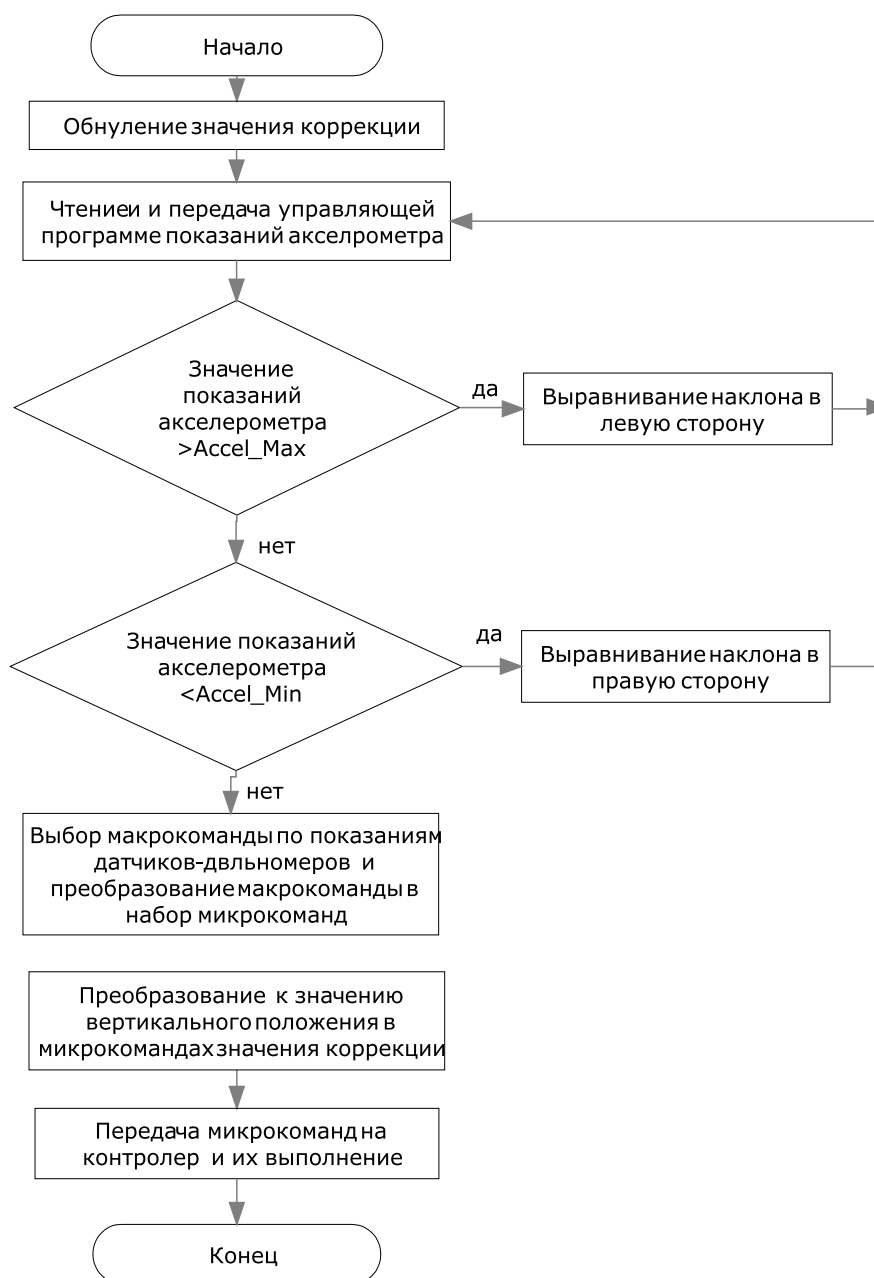


Рисунок 6.13 - Блок-схема алгоритма неадаптивного передвижения со стабилизацией

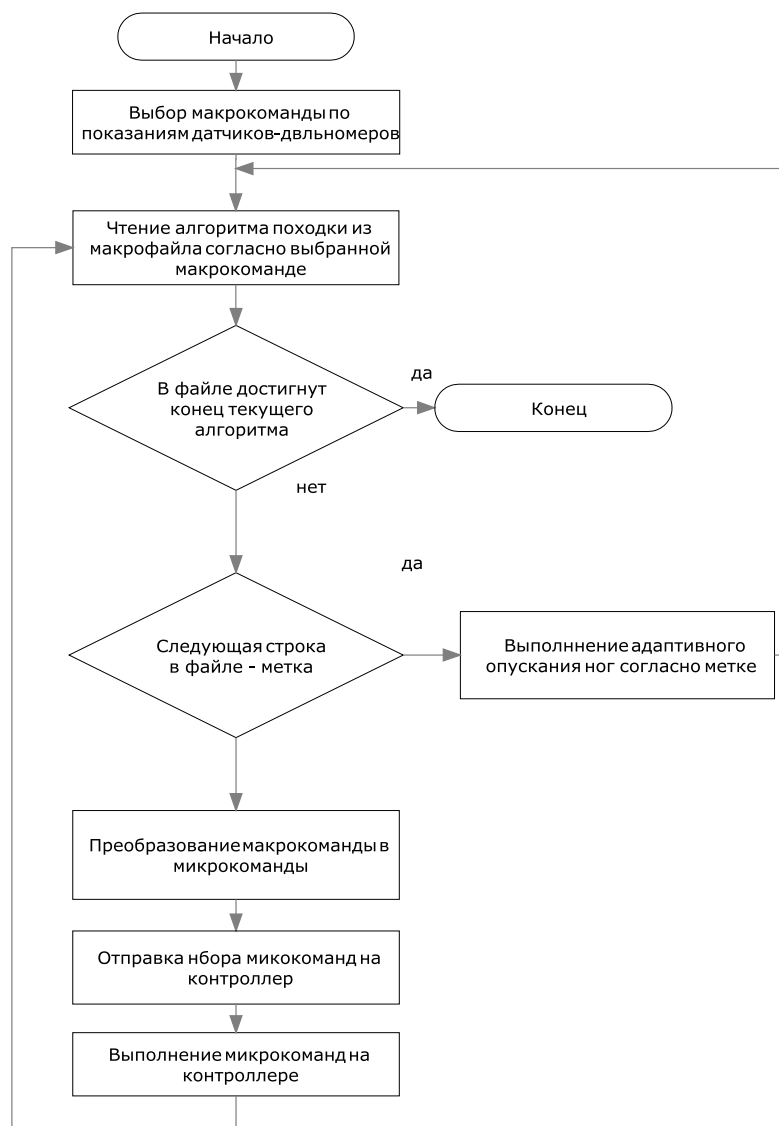


Рисунок 6.14 - Блок-схема адаптивного алгоритма передвижения

Адаптивное движение со стабилизацией положения по акселерометру. Данный алгоритм представляет собой сочетание алгоритмов движения с коррекцией по акселерометру и адаптивного передвижения. В отличие от простого движения с коррекцией, перед каждым движением выполняется коррекция положения на месте, но в виду того, что вертикальное положение определяется по принципу останов, по факту касания поверхности, корректирующие значения не запоминаются и не прибавляются к значениям вертикальных положений конечностей в процессе выполнения макрокоманд.

Исходя из конструкции робота, был выбран наиболее оптимальный базовый алгоритм походки – «3+3 инсектоподобный»

Основываясь на базовом алгоритме походки, был разработан неадаптивный алгоритм передвижения с заранее заданными положениями ног и различные адаптивные алгоритмы, в которых применены три основанные на сенсорике робота принципа адаптивности: принцип стабилизации, принцип останова и принцип нащупывания поверхности.

Движение гексапода осуществляется за счет серводвигателей, закрепленных в суставах ног. Нога гексапода представляет собой кинематическую цепь, состоящую из трех вращательных звеньев: одно в горизонтальной плоскости и два в вертикальной (рисунок 6.15).

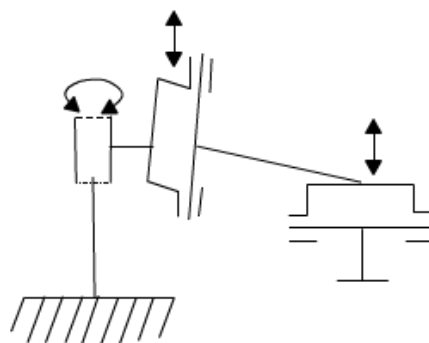


Рисунок 6.15 – Кинематическая схема ноги робота

Для того, чтобы управления положениями ног используются две основные задачи кинематики: прямая и обратная.

Прямая задача кинематики позволяет определить положение конца кинематической цепи, если известны углы между звеньями и длины звеньев. Для организации движения шагающих роботов более актуальна обратная задача. Она состоит в нахождении углов между звеньями, если известны их

длины и координаты конца кинематической цепи. Таким образом мы находим углы, на которые управляющее устройство будет устанавливать серводвигатели, чтобы спозиционировать ногу гексапода в точку с заданными координатами. Для трехзвенной кинематической цепи рациональнее всего решать обратную задачу кинематики геометрически. На рисунке 6.16 геометрически изображена схема ноги робота.

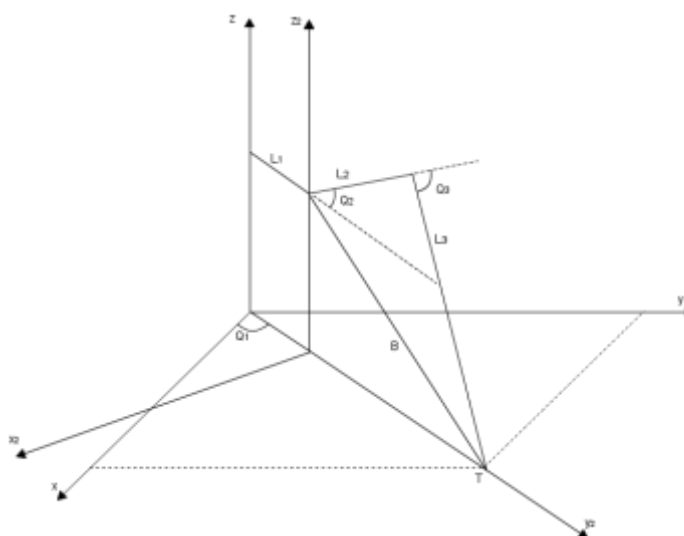


Рисунок 6.16 — Схема кинематической цепи

L_1 , L_2 и L_3 - длины звеньев. T — конец кинематической цепи. Искомые Q_1 , Q_2 , Q_3 — углы поворота серводвигателей.

Угол Q_1 можно найти сразу.

$$Q_1 = \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \quad (6.1)$$

Формула расчета угла Q_1 зависит от четверти, где находится точка T :

Для первой и четвертой четвертей, при $x > 0$ и $y \in \mathbb{R}$.

$$Q_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (6.2)$$

Для второй четверти, при $x < 0$ и $y \geq 0$.

$$Q_1 = \pi - \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (6.3)$$

Для третьей четверти, при $x < 0$ и $y \leq 0$.

$$Q_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right) - \pi \quad (6.4)$$

При $x = 0$

$$Q_1 = \frac{\pi}{2} \quad (6.5)$$

Далее рассчитываются две вспомогательные величины: y_2 - координата у точки Т в системе координат (x_2, y_2, z_2) ; B – расстояние между началом второго звена и окончанием последнего.

$$y_2 = \sqrt{L_2^2 + y_1^2} - L_1 \quad (6.6)$$

$$B = \sqrt{L_2^2 + y_2^2} \quad (6.7)$$

Используя данные величины, по теореме косинусов рассчитываются углы Q_2 и Q_3 :

- если $y_2 > 0$:

$$Q_2 = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{L_2^2 - L_3^2 + B^2}{2BL_2}\right) - \arctg\left(\frac{z_2}{y_2}\right); \quad (6.8)$$

- если $y_2 < 0$:

$$Q_2 = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{L_2^2 - L_3^2 + B^2}{2BL_2}\right) - \left(\pi - \left|\arctg\left(\frac{z_2}{y_2}\right)\right|\right); \quad (6.9)$$

- если $y_2 = 0$:

$$Q_2 = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{L_2^2 - L_3^2 + B^2}{2BL_2}\right) - \frac{\pi}{2}; \quad (6.10)$$

$$Q_3 = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{L_2^2 + L_3^2 - B^2}{2L_2L_3}; \quad (6.11)$$

После нахождения всех углов, необходимо преобразовать их в длительность импульса в микросекундах, прибавить или отнять от нулевого положения серводвигателя и проверить, находится ли найденное значение в допустимом диапазоне.

ВЫВОДЫ

В результате работы по теме разработана конструкция многозондового подключающего устройства. В качестве объекта контроля была выбрана микросхема с 320 шариковыми выводами в корпусе FG-320.

Разработанный вариант топологии проанализирован исходя из требований улучшения электрических и эксплуатационных характеристик прижимающей пластины МПУ. Одной из основных электрических характеристик является переходное сопротивление проводников. Был проведен расчет математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения значений сопротивлений.

В качестве материала гибкого шлейфа выбран полиимид марки ФДИ-А-50. Окончательный вариант топологии разработан исходя из таких исходных параметров: ширина проводников – 70 мкм, зазор между ними – 80 мкм.

Увеличение количества слоев существенно влияет на толщину, жёсткость и гибкость пластины, приводит к значительному росту числа межслойных соединений, в результате чего увеличивается стоимость и время изготовления МПУ. При этом может повыситься переходное сопротивление площадки-зонда с ЭК. Однако качество прижатия можно обеспечить за счет необходимого давления сжатого воздуха в корпусе МПУ. Было определено, что величина давления сжатого воздуха для обеспечения надежного тестирования должна лежать в диапазоне 0,025...0,25 МПа.

Таким образом, при проектировании гибкого шлейфа МПУ необходимо находить компромисс между толщиной используемого полиимидного материала, количеством слоев прижимающей пластины и значениями сопротивлений проводников в каждом слое при обеспечении минимально возможной величины паразитной емкости.

Исследования напряженно-деформированного состояния подключающей пластины многозондового устройства контроля электронных компонентов типа BGA/CSP с применением метода конечных элементов подтверждают возможность использования многозондовых подключающих устройств для контроля МКП и ЭК с целью обеспечения высокой точности контактирования и повышения надежности контроля.

Экспериментально было проверено, что надежный контакт зонда МПУ с выводом контролируемого ЭК обеспечивается при контактном усилии $0,07 \dots 0,3$ Н.

Таким образом, минимально допустимое давление сжатого воздуха в корпусе МПУ, исходя из требований обеспечения необходимого переходного сопротивления в области контакта зонда с шариковым выводом ЭК, при контроле микросхемы в корпусе FG-320 должно составлять $0,056$ МПа.

С помощью компьютерного моделирования построены поперечные сечения оптических волокон четырех разных типов и получены их распределения полей основной моды. Из полученных изображений видно, что структура волокна (размер отверстий в оболочке, расстояние между ними, диаметр сердцевины) влияет на распределение модового поля. Также проведено исследование влияния случайных изменений диаметра включений и расположения центров включений на эксплуатационные параметры микроструктурированного оптического волокна. Полученные результаты показывают, что при любом из рассмотренных видов дефектов модовое поле будет иметь два ярко выраженных максимума, что может привести к изменению полной мощности модового поля.

Разработана информационная модель ТП вытяжки МОВ, с учетом установленных особенностей от ТП вытяжки стандартных волокон. Установлено, что ключевой задачей управления конструктивно-технологическими параметрами МОВ является анализ текущего состояния объекта контроля и выдача соответствующей информации о динамике образования дефектов.

Проанализировав существующие технологии изготовления МОВ и системы управления ими, были выявлены их основные недостатки:

- высокая стоимость технологического процесса, в результате чего, любая ошибка в производстве несет за собой большие финансовые затраты;
- контроль качества МОВ проводится только по внешнему диаметру, что не обеспечивает учет всех параметров МОВ;
- благодаря первым двум недостаткам, невозможна полная автоматизация процесса вытягивания МОВ.

В работе разработано программное обеспечение для компьютерной эмуляции процесса управления вытягиванием микроструктурированных оптических волокон, что позволяет оценить качество управления технологическим процессом и подобрать технологические параметры, не используя при этом реальную установку и материалы.

Также, в процессе разработки программного обеспечения, были найдены и рассчитаны следующие свойства технологического процесса и самого МОВ:

- температура, при которой происходит процесс;
- изменение диаметра волокна во времени;
- зависимость диаметра волокна от его длины;
- зависимость диаметров отверстий от температуры;
- время и температура, при которых начинается захлопывание отверстий.

Разработаны модели и метод принятия решений, которые отражают процесс планирования стратегий в ИСК роботом, который должен учитывать состояние элементов роботизированной системы, их взаимодействие с окружающим пространством, возможность выбора определенных решений в конкретных условиях места и времени. Динамическая модель описывает эволюцию «мира» работа, осуществляемая его активными действиями для достижения указанного роботу целевого состояния. Для реального применения модели, рассматривались конкретные примеры взаимодействия

множества объектов ИСК, внешней среды и множества возможных решений, которые будут дополнять динамическую модель и входить в более детализированные модели других типов. Разработанное программное обеспечение демонстрирует общий подход к адаптивному планированию стратегий и задачи поиска маршрута мобильного робота в дискретном двумерном пространстве.

В работе приведены теоретические и практические результаты, в соответствии с целью исследования и поставленной задачей, является решением актуальной проблемы создания адаптивных систем визуального управления роботом на основе поступающей с системы компьютерного зрения информации, воспринимает изменения среды, в которой функционирует робот и изменяет маршрут робота, в соответствии с изменениями в среде функционирования, т.е. гибко перестраивать (адаптировать) работу в зависимости от изменений в окружающей среде, в состоянии самой робототехнической системы.

Разработан и изготовлен макет источника энергии на основании прямого пьезоэффекта. В ходе проведения экспериментов получены следующие результаты. Среднее значение сгенерированного заряда при качении $Mq = 0,0153$ мкКл. Среднее значение сгенерированного заряда при качении (пьезоэлектрические элементы размещены под углом относительно оси колеса) $Mq = 0,0196$ мкКл. Среднее значение сгенерированного заряда при ударных нагрузках $Mq = 0,123$ мкКл.

+Разработана теоретико-множественная модель рабочего пространства ГИС, которая позволяет представить информацию об объектах рабочего пространства, их свойствах, связях и отношениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев А. М. Электрическое тестирование печатных плат / А. М. Медведев // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – № 2. – С. 79-84.
2. Онже Г. Новая конструкция контактных приспособлений для внутрисхемного контроля / Гари Онже, Алан Элби // Печатный монтаж. – 2007. – №1. – С. 20-22.
3. Невлюдов И. Ш. Анализ особенностей создания электронных компонентов по BGA-технологии / И. Ш. Невлюдов, И. В. Жарикова // Материали за VI Международна научна практична конференция «Основни проблеми на съвременната наука – 2010», Т. 23. Технологии. Физика, 17-25 април 2010 г. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2010. – С. 62-65.
4. Семенец В. В. Технология межсоединений электронной аппаратуры: учеб. для вузов / В. В. Семенец, Джон Кратц, И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин. – Х. : изд. «СМИТ», 2005. – 432 с.
5. Ching-Mai Ko. Надежность тестирования BGA-компонентов / Ching-Mai Ko, Ming-Kun Chen, Yu-Jung Huang, Shen-Li Fu // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – №4. – С. 38-42.
6. Hou Shu-Jung. Reliability and wear-out characterization of BGA production sockets / Hou Shu-Jung, Huang Yu-Jung, Chen Ming-Kun, Fu Shen-Li // Electronic Materials and Packaging (EMAP 2008). International Conference, 22-24 Oct. 2008. – Taipei, 2008. – PP. 251-254.
7. Патент 82405 України. Багатозондовий контактний пристрій / Невлюдов И. Ш., Палагин В. А., Разумов-Фризюк Е. А., Сотник С. В. – Оpubл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
8. Семенец В. В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології / В. В. Семенец, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – Х. : ТОВ «Компанія СМІТ», 2011. – 416 с.

9. Палагин В. А. Многозондовые подключающие устройства для контроля коммутационных плат и электронных компонентов / В. А. Палагин, И. Ш. Невлюдов, Е. А. Разумов-Фризиук, И. В. Жарикова // Материалы VII Международного симпозиума «Фундаментальные и прикладные проблемы науки», Т.1. – М. : РАН, 2012. – С. 186-194

10. Патент № 97538 України. Мікроелектромеханічний багатозондовий контактний пристрій / Борщов В. Н., Коцій Л. Д., Лістратенко О. М., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Проценко М. А., Разумов-Фризиук Є. А., Тертишний С. М., Тимчук І. Т. – Опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.

11. Патент №95190 України. Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій / Борщов В. Н., Жарікова І. В., Коцій Л. Д., Лістратенко О. М., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Проценко М. А., Разумов-Фризиук Є. А., Старченко О. П., Тертишний С. М., Тимчук І. Т. –Опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.

12. Плис Н. И. Технология сборки микросхем на гибком полиимидном носителе / Н. И. Плис, В. Г. Вербицкий, В. Д. Жора, В. Н. Волнистов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2010. – № 5-6. – С. 43-45.

13. Морозов В. В. Контактные соединения бескорпусных компонентов на гибком носителе с ленточными выводами. Часть I // Печатный монтаж. – 2009. – Выпуск 4-5. – С.12-16.

14. Патент № 98539 України. МЕМС-інтерфейс багатоточкових автоматичних контролюючих комплексів / Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризиук Є. А., Жарікова І. В., Костенко З. І. – Опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.

15. Hsu T.-R. Reliability In MEMS Packaging / Tai-Ran Hsu // 44th International Reliability Physics Symposium, March 26-30. – San Jose, CA, 2006. – PP. 398-402.

16. System-on-Chip Test Architectures Nanometer Design for Testability (Systems on Silicon) / Laung-Terng Wang, Charles Stroud, Nur Touba. – 2007. –

896 p.

17. Vincent, P. Impact of transversal defects on confinement loss of an all-solid 2-d photonic-bandgap fiber [Текст] / Vincent P, Mathias Perrin, Marc Douay // *Jornal of lightwave technology*. – 2007. – vol. 25. – pp. 123-131.

18. Photonic crystal fibers [Текст] / R.Hull, R.M. Osgood, Jr. J. Parisi, H.Warlimont // Published by Springer, 2007. – 247 p.

19. Jianke, Yang Fundamentals of Photonic crystal fibers [Текст] / Jianke Y, Maksim Skorobogatiy // *Jornal of lightwave technology*. – 2008. – vol. 9. – pp. 127-141.

20. Fangdi Zhang Design of wideband single-polarization single-mode photonic cristal fiber [Текст] / Fangdi Zhang, Min Zhang, Xiaoyi Lui // *Jornal of lightwave technology*. – 2007. – vol. 25. – pp. 263-267. O. E. Naniy, E. G. Pavlova. Photonic crystal fibers // *Lightwave Russian Edition*, 2004, №3, p.47-53.

21. E. G. Pavlova. Mechanisms of losses in photonic crystal fibers // *Lightwave Russian Edition*, 2005, №3, p.54-56.

22. W. Zhi , R. Guobin, L. Shuqin, J. Shuisheng. Supercell lattice method for photonic crystal fibers // *OPTICS EXPRESS*, 5 May 2003, Vol.11, No9, pp.980-991.

23. N. A. Mortensen. Effective area of photonic crystal fibers // *OPTICS EXPRESS*, 8 April 2002, Vol.10, No7, pp.341-348.

24. G.S.Kliros, J. Konstantantinidis, C. Thraskias. Prediction of Macrobending and splice losses for photonic crystal fibers based on the effective index method // *Wseas transactions on communications*, 2006, Vol.5, Issue 8, pp.1314-1321.

25. Филипенко, О.І. Моделювання впливу структури фотонно-кристалічних волокон на розподіл модового поля та втрати оптичного сигналу в їх з'єднаннях [Текст] / О.І. Филипенко, О.В. Сичова // *Радиотехника*. - 2012. - Вып. 171. - С. 327-331.

26. Желтиков, А.М. Оптика микроструктурированных волокон [Текст] / А.М. Желтиков. – М.: Наука – 2004. – 281с.

27. Аксёнов, В.А. Микроструктурированные (дырчатые) кварцевые волоконные световоды, полученные методом капиллярной сборки [Текст] / В. А. Аксёнов, А. А. Замятин, Г. А. Иванов // Радиотехника. – 2004. – № 12. – С. 13-14.

28. Lyytikainen, K.J. Control of complex structural geometry in optical fibre drawing [Текст] : A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy / K.J. LYYTIKAINEN. – Sydney, 2004. – 273 p.

29. Method for controlling fiber diameter during optical fiber drawing process [Текст] : patent US 5,073,179 United States: Patent Application Publication I.Yoshimura, Y. Matsuda, Y. Chigusa. - № 1991/5,073,179 ; Appl. 509,958 ; Pub. date 17.12.91. – 5 p.

30. Process for manufacturing a micro-structured optical fibers [Текст] : patent US 20050072192A1 United States: Patent Application Publication M.Arimondi, G.S. Roba. - № 2005/0072192A1 ; Appl. 10/499,022 ; Pub. date 07.04.05. - 5 p.

31. Филипенко А.И., Пономарева А.В. Современное состояние проблемы контроля конструктивно-геометрических параметров микроструктурированных оптических волокон // Радиотехника: Всеукр.межвед. науч.-техн. Сб. 2008.-№154.- с. 102-107.

32. Филипенко А.И., Пономарева А.В. Выбор метода контроля конструктивно-технологических параметров микроструктурированных волокон// Радиотехника: Всеукр.межвед. науч.-техн. Сб. 2008.-№155.- с.299-305.

33. Филипенко А.И., Пономарева А.В. Управление технологическим процессом вытяжки микроструктурированного оптического волокна// 2-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития» Сборник научных трудов. - Харьков: ХНУРЭ - 2009.-с.166-169.

34. Lamonde, J.P. Robot Motion Planning and Control [Текст] / J.P. Lamonde. – Springer, 1998 – 343 p.

35. Мартыненко, Ю.Г. Управление движением колёсных роботов [Текст] / Ю.Г. Мартыненко // Фундаментальная и прикладная математика. – 2005. – Т. 11, № 8. – С. 29-80.
36. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления [Текст] / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
37. Вукобратович, М. Неадаптивное и адаптивное управление роботами / М. Вукобратович, Д. Стоки, Н. Кирчански. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
38. Техническое зрение роботов [Текст] / Под. ред.. А. Пью. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
39. Бондаренко, С. А. Принятие решений в автономных адаптивных системах управления, основанное на выявлении закономерных последовательностей действий [Электронный ресурс] / С. А. Бондаренко, А. А. Жданов, Б.М. Магомедов.– Режим доступа: http://www.ispras.ru/ru/proceedings/docs/2004/7/isp_7_2004_61.pdf.
40. Жданов, А.А. Метод автономного адаптивного управления [Текст] / А.А. Жданов // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. – 1999. – № 5. – С. 127-134.
41. Siegwart, Roland. Introduction to Autonomous Mobile Robots [Текст] / Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh. – A Bradford Book. The MIT Press. – 2004. – 336 p.
42. Bradski, Gary. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library [Текст] / Gary Bradski, Adrian Kaehler. - O'Reilly Media. - 578 p.
43. Форсайт, Д. Компьютерное зрение: современный подход [Текст] / Д. Форсайт, Ж. Понс – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
44. Симанков, В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография (научное издание) [Текст] / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. - Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та. – Краснодар, 1999. –318 с.

45. Wojciech, G. Real-time Control Teaching Using LEGO MINDSTORMS® NXT Robot [Електронний ресурс] / G. Wojciech, A. Pilat // Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology. pp. 625 – 628. – Режим доступу: <http://proceedings2008.imcsit.org/pliks/196.pdf>.

46. Мирошник, И.В: Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / И- В; Мирошник, В. О. Никифоров, А. Л: Фрадков. СПб.: Наука, 2000.-. -548 с

47. Юревич, Е. И. О проблеме группового управления роботами Текст. / Е. И.Юревич // Мехатроника, автоматизация, управление.- 2004.- №2,- С. 9-13.

48. Е.И.Юревич // Экстремальная робототехника-2003: мат. науч. молодежи, школы.- Таганрог: Изд-во ТРТУ,- 2003.-С. 165-171.

49. Цымбал А.М., Бронников А.И., Литвинова А.Е., Чернышенко О.Е. Технологии программирования и робототехника / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Харьков, 2009, № 3/2 (39), С. 56-60. (38). /21/.

50. Цымбал А.М. Программное моделирование системы управления мобильным роботом / А.М. Цымбал, А.И. Бронников // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Материалы международной научно-технической конференции 6 – 10 сентября 2010 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2010. – С. 224 – 226.

51. Невлюдов І.Ш., Цимбал О.М., Мілютіна С.С., Бронніков А.І. Адаптивні методи та їх використання у робототехніці. / Технологія приборостроєння. Харьков, 2011, № 1 , С. 8 - 12. (41) /24/.

52. Цимбал О.М., Бронніков А.І. Адаптивність у прийнятті рішень роботів / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Харьков, 2011, № 4/4 (52), С. 40 - 43. (42). /26/.

53. Цимбал О.М., Бронніков А.І. Особливості адаптивного візуального керування мобільними роботами // Перша Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми створення електронних засобів

промислових автоматизованих систем»: матеріали конференції. – Сєвєродонецьк: Технол. Ін-т Східноукр. Нац. Ун-ту ім. В. Даля, 2011. – С. 26 – 28

54. Цимбал О.М., Бронніков А.І. Адаптивні процеси у завданнях робототехніки // Системи обробки інформації, Харків. – 2012. – Вип. 3 (101), том 1, С. 68 -73. (43). /27/.

55. Бронников А.И. Моделирование рабочего пространства и сенсорных систем робота // Системи обробки інформації, Харків. – 2012. – Вип. 9 (107), том 1, С. 10 -14.

56. Цымбал А.М., Бронников А.И. Моделирование адаптивного принятия решений в ИСУ роботом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород. – 2013. – №4, С. 173-176. (45). /29/.

57. Цимбал О.М., Бронніков А.І., Куценко О.І., Шеїн Є.С. Концепція інтелектуальних виробничих агентів та особливості її реалізації / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Харьков, 2014, № 1/2 (67), С. 9 - 13. (46). /30/.

58. Tsymbal A. Decision Making in Robotics and Adaptive Tasks / A Tsymbal, A. Bronnikov// Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012). – Kharkov, September 2012.

59. Миленин, П. Н. Об использовании нанотехнологий в производстве изделий пьезотехники. [Текст] /П. Н. Миленин // Компоненты и технологии. – 2009. №4 (2009). – С 164 – 166.

60. Прилипко, Ю. С. Оптимизация получения ЦТС [Текст] / Ю. С. Прилипко // Химическая технология. – 2007. – № 119 (9). – С. 91 – 102.

61. Нагаенко, А. В. Изучение методов исследования пьезокерамических материалов и элементов в процессе их производства [Текст]: уч. пособие / А. В. Нагаенко, М.А. Мараховский. – Ростов - на - Дону, 2008. – 49 с.

62. Свирская, С. Н. Пьезокерамическое материаловедение [Текст]: уч. пособие / С. Н. Свирская. – Ростов - на - Дону, 2009. – 82 с.

63. Екимов, А. И. Особенности технологии изготовления пьезоэлектрических преобразователей [Текст] / А. И. Екимов, Н. А. Амельченко, Ю. А. Филиппов, В. Д. Утенков // Физика и химия обработки материалов. – 2010. – №4. – С. 79 – 83.

64. Рошин, В. М. Технология материалов микро- опто- и наноэлектроники. Ч. 2 [Текст]: уч. пособие / В. М. Рошин, М. В. Силибин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 180 с.

Приложение А

УКРАЇНА



УКРАИНА

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ХАРКІВСЬКИЙ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ»

Україна, 61016, м. Харків-16,
вул. Кривокозівська, 30
р/р 2600804580032 в ПАТ КБ
"Правекс-банк" м. Харкова,
МФО 321983, ЄДРПОУ 14311070
тел./факс: (057) 372-40-50
E-mail: tehmash@ukr.net
www.tehmash.kharkov.ua

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ХАРЬКОВСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

Украина, 61016, г. Харьков-16,
ул. Кривокозевская, 30
р/сч 2600804580032 в ПАО КБ
"Правэкс-банк" г. Харькова,
МФО 321983, ЄДРПОУ 14311070
тел./факс: (057) 372-40-50
E-mail: tehmash@ukr.net
www.tehmash.kharkov.ua

Вих. № 140 від " 11 " 11 2013 року

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Державного підприємства
«Харківський науково-дослідний
інститут технології машинобудування»

к.т.н., доцент



V.V. Kosenko
В.В. Косенко

**Технічний акт
про впровадження у виробництво
результатів науково-дослідної роботи
Цимбала Олександра Михайловича**

Комісія у складі: голова – Мовшович Олександр Якович – вчений секретар ДП «ХНДІТМ», Лауреат Державної премії України, д.т.н., професор; члени комісії: Кобзєв Олександр Сергійович – начальник науково-технічного відділу ДП «ХНДІТМ», к.т.н., старший науковий співробітник; Свиридов Юрій Митрофанович – начальник відділу ДП «ХНДІТМ» склала акт про впровадження у виробництво результатів дисертаційної роботи Цимбала О.М. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Технічний та економічний ефект від впровадження результатів роботи забезпечується:

- математичними та інформаційними моделями процесів прийняття рішень у інтелектуальних роботизованих виробничих системах, що функціонують на основі поставлених перед ними технологічних завдань, автоматично формують план їх

досягнення та забезпечують їх реалізацію, крім того здатні перебудовувати (адаптувати) плани функціонування в разі змін робочого простору, змін змісту локальних або глобальних цілей виробничого призначення;

- математичним, інформаційним та програмним забезпеченням інтелектуальної системи керування мобільним роботом, яке за допомогою глобальної та локальної систем технічного зору, на основі інформації сенсорної системи робота дозволяє аналізувати робочий простір, забезпечувати прийняття рішень щодо переміщення робота та його маніпуляцій з виробничими об'єктами в умовах динамічного робочого простору, здійснювати керування з метою досягнення поставленого перед роботом завдання;

- технологічними інструкціями, що реалізують розроблені автором методи адаптивного прийняття рішень системи керування перспективного транспортно-складального робота.

Дані розробки можуть бути широко використані при проектуванні і виробництві автоматичних штампувальних комплексів по випуску широкого спектру деталей в заготовчому виробництві.

Роботизовані комплекси знайдуть застосування при проведенні технічного контролю в різних галузях промисловості.

Очікуваний економічний ефект складає 50 000,00 гривень.

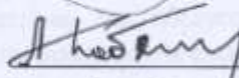
Акт складений для пред'явлення до спеціалізованої вченої ради із захисту дисертацій і не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:



О.Я. Мовшович

Члени комісії:



О.С. Кобзев



Ю.М. Свиридов

ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
Державне науково-виробниче підприємство
«ОБ'ЄДНАННЯ КОМУНАР»

61070, м. Харків, Україна, вул. Григорія Рудика, 8
Факс: +38 (057) 707-01-72
E-mail: kommunar@tvset.com.ua
Код ЄДРПОУ 14308730



ГОСУДАРСТВЕННОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО УКРАИНЫ
Государственное научно-производственное предприятие
«ОБЪЕДИНЕНИЕ КОММУНАР»

61070, г. Харьков, Украина, ул. Григория Рудика, 8
Факс: +38 (057) 707-01-72
E-mail: kommunar@tvset.com.ua
Код ЄДРПОУ 14308730

«___» _____ № _____
На № _____

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер
ДНВП «Об'єднання Комунар»
Р.С. Сергєнюк



ТЕХНІЧНИЙ АКТ

від __ лютого 2014 року

Про впровадження програмно-технічних засобів системи керування
перспективного транспортно-складального робота

Система керування перспективного транспортно-складального робота, запропонована доц. Цимбалом О.М., функціонує згідно розкладу роботи гнучкої інтегрованої виробничої ділянки і локальних завдань робота. На основі інформації сенсорної системи забезпечується прийняття рішень про напрям і характер рухів робота, послідовність виконання ним складальних та допоміжних технологічних операцій на робочому місці, як в умовах наперед визначеного робочого простору, так і в умовах впливу випадкових факторів. Методи прийняття рішень інтелектуальної системи керування ґрунтуються на динамічних, логічних, ймовірнісних та нечітких моделях. Запропонована система керування може функціонувати у автономному режимі або координувати роботу з автоматизованою системою керування гнучкої виробничої ділянки.

Враховуючи особливості програмно-технічних рішень системи керування перспективного транспортно-складального робота, їх відповідність тенденціям розвитку перспективних інтегрованих систем за кордоном, можна відзначити придатність запропонованої системи для обслуговування гнучких інтегрованих виробничих ділянок із виробництва компонентів електронної апаратури.

Очікуваний річний економічний ефект складає 40000 гривень.

Акт складений для пред'явлення до спеціалізованої вченої ради із захисту дисертацій і не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:

Головний технолог

С.І. Захаров

Члени комісії:

Заст. головного інженера

В.А. Кучма

Заст. головного технолога

В.М. Риндін

Провідний інженер

С.А. Гуриченко

Кременчуцький
національний університет
імені Михайла Остроградського



АКТ







Комісія у складі голови: проректора з НПІТ Сергієнка С.А.; членів комісії: завідувача кафедри «Електронних апаратів» доц. Мосьпана В.О., начальника навчально-методичного відділу Руденко В.М., доц. Юрко О.О., доц. Фомовської О.В., начальника відділу охорони праці Сахно А.В. склала цей акт про впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи Жарікової Ірини Володимирівни «Багатозондові підмикальні пристрої для електричного контролю виробів електронної техніки» в навчальному процесі кафедри електронних апаратів, а саме:

- конструктивно-технологічні рішення для пристроїв контролю виробів електронної техніки;
- моделі проектування багатозондових гнучких шлейфів багатозондових підмикальних пристроїв.

Вказані матеріали включені в лекційний матеріал та лабораторний практикум з дисциплін: «Конструювання електронних засобів РЕА», «Конструювання електронної БТМА», «Конструювання та технологія електронної біомедичної апаратури», «Технологія виробництва ЕЗ», «Технологія електронної БТМА» для спеціальностей 7.05090201 – «Радіоелектронні апарати та засоби», 7.05090204 – «Біотехнічні та медичні апарати і системи».

Голова комісії

Члени комісії

	С. А. Сергієнко
	В. О. Мосьпан
	О. О. Юрко
	О. В. Фомовська
	В. М. Руденко
	А. В. Сахно

Запорожский национальный технический университет



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

проф. Прушковский В.Г.

23.05.2013 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы
Жариковой Ирины Владимировны
«Многозондовые подключающие устройства для электрического контроля
изделий электронной техники»

Комиссия в составе: Крищук В.Н., Шило Г.Н., Фарафонов А.Ю. составила акт о внедрении в учебный процесс разработок Жариковой И.В.

Место внедрения – учебные лаборатории.

Состав внедрения:

- лекционные курсы и лабораторные работы по курсам «Основы технологии РЭС», «Физико-теоретические основы конструирования РЭС»;
- методические указания для лабораторных работ.

Комиссия установила соответствие внедряемой разработки требованиям эксплуатации лабораторного оборудования, программам проведения лабораторных занятий по дисциплинам «Основы технологии РЭС» и «Физико-теоретические основы конструирования РЭС».

Председатель комиссии:
зав. каф. ИТЭС, к.т.н.,
профессор

В.Н. Крищук

Члены комиссии:

Г.Н. Шило

А.Ю. Фарафонов



Публічне акціонерне товариство
«Науково-виробниче підприємство «Сатурн»
PUBLIC JOINT STOCK
«SCIENTIFIC-PRODUCTION ENTERPRISE» SATURN»



Вих. № 013/0457
від 21.05 2014 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова правління, Голова
науково-технічної ради
В.М.Чміль
21 травня 2014 р.

Акт впровадження

результатів дисертаційної роботи Єфіменка А.А. за темою
«Методи і моделі синтезу та оптимізації між блочних електричних з'єднань
радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Цей акт складений в тім, що ПАТ «НВП «Сатурн» в розробках високочутливої НВЧ апаратури, а саме:

1. НДР «Створення комп'ютерної радіотомографічної системи для діагностики онкологічних захворювань молочної залози», державна реєстрація №0108U01072 від 23.10.2008 р.,

2. НДР «Проведення наземно-космічних радіоастрономічних досліджень (Забезпечення функціонування приймальних систем РТ-70)», що виконувалася за договором з ДКАУ №1-18/12 від 27.04.2012 р.,

3. ДКР «Модернізація та забезпечення працездатності приймальної системи С-діапазона радіотелескопа РТ-70», що виконувалася згідно наказу ДКАУ від 24.01.2013 р. №19,

4. ДКР «Разработка КД, изготовление и поставка блока приемопередатчика», що виконувалася за контрактом від 16.08.2010 р. № 19/2010 з ВАТ «Равенство» (м. Санкт-Петербург, РФ) -

з використанням основні положення та результати дисертаційної роботи Єфіменка А.А. «Методи і моделі синтезу та оптимізації між блочних електричних з'єднань радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій», в тому числі і монографії «Проектирование межблочных электрических соединений электронных средств в базовых несущих конструкциях», зокрема методики та алгоритми як електричних з'єднань, так і їх захисту від зовнішніх факторів, забезпечення механічної міцності та електромагнітної сумісності, в тому ж одноособовий патент України №86381 «Контактне з'єднання на друкованій платі».

Начальник науково-технічного відділу
ПАТ НВП «Сатурн», к.т.в.

Е.М.Глушченко





тел.: +380 48 719 51 75, факс: +380 48 719 56 67
 веб: www.teletec.com.ua, e-mail: sales@teletec.com.ua
 Юридична адреса: П.ч. Митна, 1, 69000, м.Павлів, Україна
 Поштова адреса: П.ч. Митна, 1а, оф. 305, Іллінінський "Мікронавиг" 69000, м.Славськ, Україна
 Код ІЧДП: 31566662
 ІДП: 11806603332
 ліцензія: № 2179898
 дір: 2600115215, 260011612191
 м.АБ "Павлівський", м.Славськ
 МР40: 318309

Акт
впровадження результатів дисертаційної роботи
Єфіменка А. А.

Сучасні радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій використовують друкований монтаж, а також зберігається достатня частина провідних міжблочних з'єднань. Важливими проблемами тут залишаються питання підвищення технологічності, надійності, забезпечення електромагнітної сумісності та механічної міцності.

Робота Єфіменка А. А. «Методи та моделі синтезу та оптимізації міжблочних електричних з'єднань радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій» спрямована на підвищення ефективності конструкторського проектування електричних з'єднань, в тому числі на друкованих платах та в блоках.

Здобуті результати дозволили на нашому підприємстві в процесі розробки та серійного освоєння друкованих плат, вузлів та блоків підвищити надійність та механічну міцність провідних з'єднань, забезпечити своєчасне врахування впливу роз'ємних контактів як неоднорідностей в лініях зв'язку на роботоздатність виробів. Крім того, використання запровадженого методу оформлення конструкторської документації на друковані плати дозволяє знизити затрати на її розробку на 20 – 30 %.

Акт видано в зв'язку з захистом докторської дисертації і він не є основою для фінансових розрахунків.

Начальник виробництва

Л. В. Богородовська



ТОВ «ЮСТС Україна»
Вул. Мечникова, 36, оф. 20,
м. Одеса, Україна, 65029
тел.: 048-795-60-24
E-mail: ustcukraine@gmail.com

«USTC Ukraine»
Mechnikova, 36, of. 20,
Odessa, Ukraine, 65029
Tel.: 048-795-60-24
E-mail: ustcukraine@gmail.com



УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «ЮСТС Україна»

Павлов А. Л. к.т.н. Павлов А. Л.

« 3 » 03 2014 г.

АКТ

об использовании результатов
диссертационной работы Ефименко А.А.

Комиссия в составе Цевуха И. В., Трофимова В. Е., Княوخа А. Б. составила настоящий акт о том, что теоретические и практические результаты диссертационной работы Ефименко А. А. используются в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах предприятия ООО «ЮСТС Україна», которые направлены на выполнение перспективных разработок аппаратуры многоканальных систем регулирования температуры.

Использование математических моделей, алгоритмов и программных компонентов оптимального проектирования межблочных электрических соединений и выбора стандартных несущих конструкций обеспечивает повышение технологичности, качества и надежности аппаратуры, сокращение сроков и стоимости ее проектирования.

Инженер, к.т.н.

Инженер, к.т.н.

Инженер

Цевуха И. В.
Трофимов В. Е.
Княуха А. Б.

И. В. Цевух

В. Е. Трофимов

А. Б. Княух