

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Вы держите в руках сборник, в который вошли лучшие статьи участников Научно-образовательного соревнования молодых исследователей «Шаг в будущее, Москва», проходившего 16-20 марта 2015 года в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Статьи подготовлены школьниками в рамках конкурса проектных работ и публикуются в авторской редакции.

Основной задачей научно-образовательного соревнования «Шаг в будущее, Москва» является выявление и вовлечение в научно-исследовательскую работу, в сферу инженерного творчества учащихся образовательных учреждений, организация сотрудничества исследователей и ученых разных поколений, создание специальных условий в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана для воспитания профессионально-ориентированной, склонной к научной работе молодежи, осуществление комплексного подхода к оценке интеллектуального и творческого потенциала будущего студента. «Шаг в будущее, Москва» является уникальным методом профессиональной подготовки, которая осуществляется круглогодично в научно-исследовательских лабораториях школьников, созданных на базе кафедр Университета и ведущих предприятий Москвы, и индивидуально с преподавателями МГТУ им. Н.Э. Баумана, которые выступают в качестве научных руководителей в течение одного, двух и более лет.

Результатом такой подготовки становится научно-исследовательская работа, оформленная в соответствии с требованиями, соизмеримыми с требованиями на курсовые работы и отчеты по НИР, и представляемая для публичной защиты на научных секциях конференции, которые проводятся на кафедрах МГТУ им. Н.Э. Баумана при участии ведущих преподавателей, ученых и специалистов. Научными направлениями конференции являются: Машиностроительные технологии; Информатика и системы управления; Радио-опто-электроника; Биомедицинская техника; Специальное машиностроение, Энергетика и экология, Автоматизация, робототехника и механика; Инженерный бизнес и менеджмент; Фундаментальные науки; Образовательно-реабилитационные технологии.

В рамках ежегодного научно-образовательного соревнования проводится: Выставка-конкурс программных разработок, которая за многие годы своего существования стала традиционным смотром достижений школьников, увлеченных захватывающим процессом создания компьютерных программ, и доказала свою состоятельность оригинальностью и новизной программных продуктов, участвовавших в Выставке и использовавшихся в дальнейшем в научных работах, учебном процессе, коммерческой реализации. Также проводились региональные и окружные научные

конференции, экскурсии на ведущие предприятия Москвы и в музей МГТУ им. Н.Э. Баумана, научно-методические совещания и семинары для профессиональных работников, другие интеллектуальные и творческие мероприятия.

Благодаря научно-образовательной и профессионально-ориентированной подготовке на базе научно-исследовательской работы молодежи в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана, наша страна получает целеустремленных и энергичных молодых специалистов, способных создавать высокие технологии, новую технику, проводить фундаментальные научные разработки.

Научно-образовательное соревнование «Шаг в будущее, Москва» носит не только научный, образовательный и социальный характер, но представляет собой соревнование, на котором выбираются победители в различных номинациях. Всем участникам вручаются свидетельства участника научно-образовательного соревнования. Победители на торжественном закрытии награждаются дипломами и ценными подарками от МГТУ им. Н.Э. Баумана, промышленных предприятий и спонсоров.

Такая система непрерывных профессиональных образовательных технологий «школа-вуз» направлена на решение проблем, стоящих перед системой образования:

- устойчивая мотивация к приобретению профессиональных знаний в выбранной области, основанная на практической деятельности под руководством преподавателей вузов;
- ранняя активная и осознанная профессиональная ориентация;
- развитие сопровождающей научно-исследовательской и профессиональной подготовки в общеобразовательных учреждениях;
- разработка новых методик и новых обучающих технологий для развития современного образования.

В рамках мероприятий Центра довузовской подготовки проводится цикл научно-методических семинаров «Инженер – профессия творческая» для учителей, профессиональных работников, преподавателей, заместителей директоров образовательных учреждений по научной работе, представителей органов управления образованием и других заинтересованных лиц, занимающихся организацией научно-исследовательской деятельности молодежи.

Организаторы программы и составители данного сборника надеются, что такая форма работы заинтересует учителей и преподавателей учебных заведений Москвы и Московской области и поможет успешному развитию творческих возможностей довузовской молодежи в сфере научно-технической деятельности.

СОДЕРЖАНИЕ:

СЕКЦИЯ I. Образовательно-реабилитационные технологии.....	8
<i>Фролова В.О., Иванов Д.П.</i>	
Программа шифрования текстовых файлов.....	8
СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии.....	37
<i>Макаренко В.А., Москвин В.К.</i>	
Исследование возможностей применения гидравлического привода в металлорежущих станках и промышленных роботах.....	37
<i>Бринк А.С., Бородкин П.А.</i>	
Профилирование стружечной канавки сверла методами компьютерного моделирования	72
<i>Королев Д.А., Игнатов А.В.</i>	
Исследование и проектирование энергоэффективных адгезивных технологий сборки высокопрочных металлополимерных соединений при условии сдвига деформированной поверхности образцов.....	104
<i>Лебедев А.М., Игнатов А.В.</i>	
Исследование и проектирование энергоэффективных адгезивных технологий сборки высокопрочных металлополимерных соединений при нормальной нагрузке.....	130
<i>Колесниченко М.В., Волков С.С.</i>	
Ультразвуковая сварка многоэлементных изделий из жестких пластмасс.....	150
<i>Пальченков В.А., Шевченко С.Ю.</i>	
Исследование скорости звуковых волн в твердых телах с различными дефектами...	180
<i>Шевченко В.А., Степанов С.А.</i>	
Исследования комбинированного пневматического привода.....	205
<i>Рожков С.Г., Малов И.Е.</i>	
Исследование процессов послойного синтеза трехмерных объектов методом лазерной стереолитографии.....	244
СЕКЦИЯ III. Информатика и системы управления.....	268
<i>Ясенков Я.Г., Жигулёвцев Ю.Н.</i>	
Применение речевого диалога при управлении техническими средствами.....	273
<i>Сухоцкий Д.В., Селиванова Л.М.</i>	

Конвертоплан. Разработка интегрированной винтомоторной группы и амортизационной платформы для модуля управления	291
<i>Левен Д.О., Минченко М.М.</i> Построение паттернов саморазвивающихся многоагентных систем.....	317
<i>Огольцов П.А., Власов А.И.</i> Разработка системы управления колесной машиной.....	336
<i>Высококов М.В.</i> Моделирование нештатных ситуаций на МКС.....	419
<i>Вишневская Ю.А., Понишайтис Р.А.</i> Электронная обучающая система по спортивно-бальным танцам.....	440
<i>Кабенков А.С., Рудаков И.В.</i> Программа-тренажер для обучения школьников приемам решения задач с параметрами.....	482
<i>Юшкевич А.С., Алешин В.А.</i> Основные возможности IDS Snort по обнаружению сетевых атак.....	515
<i>Полещук В.А., Медведев Н.В.</i> Пилотируемый летательный аппарат подавления связи.....	548
СЕКЦИЯ IV. Системы безопасности.....	570
<i>Слободчикова Я.О., Астрахов А.В.</i> Сигнатурные алгоритмы поиска компьютерных вирусов.....	570
<i>Сухорукова Н.А., Козлачков С.Б.</i> Методы измерения активного электрического сопротивления.....	585
СЕКЦИЯ V. . Радио-опто-электроника.....	602
<i>Гержик А.А., Ахияров В.В.</i> Расчет диаграмм направленности линзовых антенн	602
<i>Аникеева А.А., Одинокоев С.Б.</i> Анализ спектрально-угловых характеристик цветных трехмерных голограмм с учетом усадки фоточувствительной регистрирующей среды.....	639
<i>Чикмарева А.А., Мешков С.А.</i> Применение рентгенофлуоресцентной спектроскопии в технологиях приборостроения.....	685
СЕКЦИЯ VI. Биомедицинская техника.....	710
<i>Солнцева А.Д., Башлай А.П.</i>	

Разработка роботизированного устройства выдачи и контроля приема лекарственных средств пациентами в стационарах.....	710
---	-----

СЕКЦИЯ I. Образовательно-реабилитационные технологии

Программа шифрования текстовых файлов

ФРОЛОВА Вера Олеговна,

г. Москва, ГБОУ СКОШ №22, 9 класс

Научный руководитель:

Иванов Дмитрий Павлович,

учитель информатики

ГБОУ СКОШ №22

Введение. Тайнопись в России впервые начала применяться в XIII веке. Первая система шифрования называлась «тарабарской грамотой». Во второй половине XVII века появился тайный шрифт, или шрифт «уголки». В эпоху Петра I начала использоваться для секретной переписки «цифирная азбука». Задания со шпионским сюжетом вызывают у меня интерес. Коды и шифры используются в настоящее время, но для изучения этой темы необходимы прочные знания по математике.

Под понятиями "защита информации" и "информационная безопасность" понимается совокупность методов, средств и мероприятий, предназначенных для недопущения искажения, уничтожения или несанкционированного использования данных. Постоянно возрастающие объемы данных в информационных системах, расширение круга пользователей, обеспечение

удаленного доступа пользователей к информационным ресурсам делают проблему защиты информации особенно актуальной.

В настоящее время в России происходит становление информационного общества, в котором важную роль играет информационный ресурс. Информация становится ценным товаром, и обеспечение сохранения прав на нее становится актуальной проблемой, особенно в условиях широкого распространения компьютерных сетей, в т. ч. глобальных.

Меня заинтересовали проблемы информационной безопасности, поскольку представить современную жизнь без компьютеров и информационных сетей уже практически невозможно.

Появление шифров.

Точно неизвестно, когда появились первые системы шифрования. Вероятно, они появились одновременно с письменностью. Способы секретной переписки изобретались независимо друг от друга практически во всех древних цивилизациях. Но детальное состояние криптологии в них неизвестно. Первоначально древние тексты шифровались простой заменой. Вместо первой буквы алфавита писалась последняя, вместо второй - предпоследняя и так далее. Этот древний метод шифрования назывался атбаш.

Совершенно другой шифр связан с перестановкой букв сообщения по определенному правилу, известному отправителю и получателю. В древней Спарте обнаружили, что если полосу

пергамента намотать спиралью на палочку и написать на нем вдоль палочки текст сообщения, то, после снятия полоски буквы на ней расположатся хаотично. Это то же самое, если буквы писать не подряд, а через условленное число по кольцу до тех пор, пока весь текст не будет исчерпан. Сообщение КОНФЕРЕНЦИЯ при окружности палочки в 3 буквы даст шифровку КЕЦОРИНЕЯФН.

Для прочтения шифровки надо не только знать способ шифрования, но и обладать ключом в виде палочки принятого диаметра. Зная тип шифра, но не имея ключа, расшифровать сообщение было сложно. Этот шифр именовался скитала по названию стержня, на который наматывались свитки папируса.

Греческий историк Полибий изобрел за два века до нашей эры квадрат размером 5х5, заполненный алфавитом в случайном порядке. Для шифрования на квадрате находили букву текста и вставляли в шифровку нижнюю от нее в том же столбце. Если буква была в нижней строке, то брали верхнюю из того же столбца. Такие квадраты широко употреблялись в последующих криптографических системах.

В Древнем Риме в IV веке до нашей эры, чтобы упростить процедуру шифрования, стали применять шифрующие диски. Каждый из 2 дисков, помещенных на общую ось, содержал на ободе алфавит в случайной последовательности. Найдя на одном диске букву текста, с другого диска считывали соответствующую ей букву шифра. Такие приборы, порождающие шифр простой замены использовались несколько веков, вплоть до эпохи Возрождения.

Для связи греки и римляне использовали код на основе полибианского квадрата с естественным заполнением алфавитом. Буква кодировалась номером строки и столбца, соответствующим ей в квадрате.

Становление науки криптологии.

В ручных шифрах того времени часто используются таблицы, которые дают простые шифрующие процедуры перестановки букв в сообщении. Ключом в них служат размер таблицы, фраза, задающая перестановку, или специальная особенность таблиц. Простая перестановка без ключа - один из самых простых методов шифрования, родственник шифру скитала. Например, сообщение НИКТО НЕ ЗНАЕТ БУДУЩЕГО записывается в таблицу по столбцам. Для таблицы из 4 строк и 5 столбцов это выглядит так:

Н О Н Б Щ

И Н А У Е

К Е Е Д Г

Т З Т У О

После того как открытый текст записан колонками, для образования шифровки он считывается по строкам. Если его записывать группами по 5 букв, то получится: НОНБЩ ИНАУЕ КЕЕДГ ТЗТУО. Для использования этого шифра отправителю и получателю нужно договориться об общем ключе в виде размера таблицы. Объединение букв в группы используется только для удобства записи текста.

Более практический метод шифрования – одиночная перестановка по ключу - похож на предыдущий. Он отличается тем, что колонки таблицы переставляются по ключевому слову, фразе или набору чисел длиной в строку таблицы. Используя в виде ключа слово БУКВА, получим такую таблицу.

Б У К В А
2 5 4 3 1
Н О Н Б Щ
И Н А У Е
К Е Е Д Г
Т З Т У О
до перестановки

А Б В К У
1 2 3 4 5
Щ Н Б Н О
Е И У А Н
Г К У Е Е
О Т У Т З
после перестановки

В верхней строке ее записан ключ, а номера под ключом определены по естественному порядку соответствующих букв ключа в алфавите. Если в ключе встретились бы одинаковые буквы, они бы нумеровались слева направо. После считывания по строкам, получается шифровка: ЩНБНО ЕИУАН ГКУЕЕ ОТУТЗ. Для

дополнительной скрытности можно повторно шифровать сообщение, которое уже было зашифровано. Этот способ известен под названием двойная перестановка. Для этого размер второй таблицы подбирают так, чтобы длины ее строк и столбцов были другие, чем в первой таблице. Лучше всего, если они будут взаимно простыми.

Кроме одиночных перестановок использовались двойные перестановки столбцов и строк таблицы с сообщением. При этом перестановки определялись отдельно для столбцов и отдельно для строк. В таблицу вписывался текст, и переставлялись столбцы, а потом строки. При расшифровке порядок перестановок был обратный. Шифрование методом замены (подстановки) наиболее простой метод шифрования. Символы шифруемого текста заменяются другими символами, взятыми из одного алфавита (одноалфавитная замена) или нескольких алфавитов (многоалфавитная подстановка).

Однако шифры перестановки могут дать несколько вариантов осмысленного прочтения, если не знать точного значения ключа.

Одноалфавитная подстановка.

Простейшая подстановка - прямая замена символов шифруемого сообщения другими буквами того же самого или другого алфавита.

Примеры таблиц замены:

А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э
Ю Я

М Л Д О Т В А Ч К Е Ж Х Щ Ф Ц Э Г Ъ Я Ъ Ш Ы З И Ъ Н Ю У П С
Р Й

А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ъ Э
Ю Я

Q W E R T Y U I O P [] A S D F G H J K L Z X C V B N M < > @ %

Стойкость метода простой замены низкая. Зашифрованный текст имеет те же самые статистические характеристики, что и исходный, поэтому, зная стандартные частоты появления символов в том языке, на котором написано сообщение, и подбирая символы по частотам появления в зашифрованном сообщении, можно восстановить таблицу замены. Многоалфавитная замена повышает стойкость шифра.

Многоалфавитная одноконтурная обыкновенная подстановка.

Для замены символов используются несколько алфавитов, причем смена алфавитов проводится последовательно и циклически: первый символ заменяется на соответствующий символ первого алфавита, второй - из второго алфавита, и т.д. пока не будут исчерпаны все алфавиты. После этого использование алфавитов повторяется.

Рассмотрим шифрование с помощью таблицы Вижинера - квадратной матрицы с n^2 элементами, где n - число символов используемого алфавита. В первой строке матрицы содержится исходный алфавит, каждая следующая строка получается из предыдущей циклическим сдвигом влево на один символ.

Таблица Вижинера для русского алфавита:

А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я

Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А

В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б

Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В

Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г

Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д

Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е

З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж

И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З

Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И

К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й

Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К

МНОПРСТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙ
КЛ

НОПРСТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙК
ЛМ

ОПРСТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛ
МН

ПРСТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМ
НО

РСТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМН
ОП

СТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНО
ПР

ТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНОП
РС

УФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПР
СТ

ФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРС
ТУ

ХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТ
УФ

ЦЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУ
ФХ

ЧШЩЬЫЪЭЮЯАБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФ
ХЦ

Ш Щ Ъ Ы Ъ Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х
Ц Ч

Щ Ъ Ы Ъ Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц
Ч Ш

Ь Ы Ъ Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч
Ш Щ

Ы Ъ Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш
Щ Ъ

Ь Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ
Ь Ы

Э Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ
Ы Ъ

Ю Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы
Ь Э

Я А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ъ
Э Ю

Для шифрования необходимо задать ключ - слово с неповторяющимися символами. Таблицу замены получают следующим образом: строку "Символы шифруемого текста" формируют из первой строки матрицы Вижинера, а строки из раздела "Заменяющие символы" образуются из строк матрицы Вижинера, первые символы которых совпадают с символами ключевого слова.

При шифровании и дешифровании нет необходимости держать в памяти всю матрицу Вижинера, поскольку используя

свойства циклического сдвига, можно вычислить любую строку матрицы по ее номеру и первой строке.

При шифровании символы из первой строки заменяются символами остальных строк по правилу

$$a(1,i) \rightarrow a(k,i),$$

где k - номер используемой для шифрования строки.

Используя свойства циклического сдвига влево элементы k -ой строки можно выразить через элементы первой строки:

$$a(1,i+k-1), \text{ если } i \leq n-k+1$$

$$a(k,i) =$$

$$a(1,i-n+k-1), \text{ если } i > n-k+1$$

При дешифровании производится обратная замена:

$$a(k,i) \rightarrow a(1,i).$$

Поэтому необходимо решить следующую задачу: пусть очередной дешифруемый символ в тексте - $a(1,j)$ и для дешифрования используется k -я строка матрицы Вижинера. Необходимо найти в k -ой строке номер элемента, равного $a(1,j)$. Очевидно,

$$a(k,j-k+1), \text{ если } j \geq k$$

$$a(1,j) =$$

$$a(k,n-k+j+1), \text{ если } j < k$$

Таким образом, при дешифровании по k -ой строке матрицы Вижинера символа из зашифрованного текста, значение которого равно $a(1,j)$, проводится обратная подстановка

$$a(1,j-k+1), \text{ если } j \geq k$$

$$a(1,j) \rightarrow$$

$$a(1, n-k+j+1), \text{ если } j < k$$

Стойкость метода равна стойкости метода подстановки, умноженной на количество используемых при шифровании алфавитов, т.е. на длину ключевого слова, и равна $20 \cdot L$, где L - длина ключевого слова.

С целью повышения стойкости шифрования предлагаются следующие усовершенствования таблицы Вижинера:

- во всех, кроме первой, строках таблицы буквы располагаются в произвольном порядке;
- в качестве ключа используются случайные последовательности чисел, которые задают номера используемых строк матрицы Вижинера для шифрования.

**Многоалфавитная одноконтурная монофоническая
подстановка.**

В монофонической подстановке количество и состав алфавитов выбирается таким образом, чтобы частоты появления всех символов в зашифрованном тексте были одинаковыми. При таком положении затрудняется криптоанализ зашифрованного текста с помощью его статистической обработки. Выравнивание частот появления символов достигается за счет того, что для часто встречающихся символов исходного текста предусматривается большее число заменяющих символов, чем для редко встречающихся.

Пример таблицы монофонической замены:

А Б В Г Д Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э
Ю Я _

Ф Н (Щ И Г Е Р А Д Ы ~ @ S Л Я Ж ^ С Ш М Б Q П Т Х Ю Ъ Р } \ _ #

* Н У Щ D + E R = Д Ц Й Ч [В Ь) О & { М Б Q П Т Х Ю Ъ Р } \ _ <
Л Н (Щ И] E R % Д Ы ~ @ G / Я Э З " Ш М Б Q П Т Х Ю Ъ Р } \ _
W

Ф Н У Щ D K E R A Д Ц Й Ч S + Ь Ж ^ С { М Б Q П Т Х Ю Ъ Р } \ _
V

Шифрование проводится также, как и при простой подстановке, с той лишь разницей, что после шифрования каждого символа соответствующий ему столбец алфавитов циклически сдвигается вверх на одну позицию. Таким образом, столбцы алфавитов как бы образуют независимые друг от друга кольца, поворачиваемые вверх на один знак каждый раз после шифрования соответствующего знака исходного текста.

Многоалфавитная многоконтурная подстановка.

Многоконтурная подстановка заключается в том, что для шифрования используются несколько наборов (контуров) алфавитов, используемых циклически, причем каждый контур в общем случае имеет свой индивидуальный период применения. Частным случаем многоконтурной полиалфавитной подстановки является замена по таблице Вижинера, если для шифрования используется несколько ключей, каждый из которых имеет свой период применения.

Общая модель шифрования подстановкой может быть представлена в следующем виде:

$$t_{ш} = t_o + w \bmod (k-1),$$

где $t_{ш}$ - символ зашифрованного текста,

t_o - символ исходного текста w - целое число в диапазоне $0 - (k-1)$,

k - число символов используемого алфавита.

Если w фиксировано, то формула описывает одноалфавитную подстановку, если w выбирается из последовательности $w_1, w_2, \dots, w_n$, то получается многоалфавитная подстановка с периодом n .

Если в многоалфавитной подстановке $n > m$ (где m - число знаков шифруемого текста) и любая последовательность $w_i, i=1,2,\dots,n$ используется только один раз, то такой шифр является теоретически нераскрываемым. Такой шифр получил название шифра Вермэна.

Стойкость простой многоалфавитной подстановки оценивается величиной $20 \cdot n$, где n - число различных алфавитов, используемых для замены. Усложнение многоалфавитной подстановки существенно повышает ее стойкость. Монофоническая подстановка может быть весьма стойкой, и даже теоретически нераскрываемой, однако строго монофоническую подстановку реализовать на практике трудно, а любые отклонения от монофоничности снижают реальную стойкость шифра.

Шифрование методом перестановки.

При шифровании перестановкой символы шифруемого текста переставляются по определенным правилам внутри шифруемого блока этого текста.

Простая перестановка.

Выбирается размер блока шифрования в n столбцов и m строк и ключевая последовательность, которая формируется из натурального ряда чисел $1, 2, \dots, n$ случайной перестановкой.

Шифрование проводится в следующем порядке: шифруемый текст записывается последовательными строками под числами ключевой последовательности, образуя блок шифрования размером $n \times m$. Зашифрованный текст выписывается колонками в порядке возрастания номеров колонок, задаваемых ключевой последовательностью. Заполняется новый блок и т.д. Например, зашифруем текст ГРУЗИТЕ_АПЕЛЬСИНЫ_БОЧКАХ блоком размером 8×3 и ключом 5-8-1-3-7-4-6-2.

Таблица простой перестановки будет иметь вид:

Ключ							
5	8	3	7	4	6	2	
Г	Р	У	З	И	Т	Е	_
А	П	Е	Л	Ь	С	И	Н
Ы	_	Б	О	Ч	К	А	Х

Зашифрованное сообщение:

УЕБ_НХЗЛОЕСЛГАЫЕИАИЬЧРП_

Расшифрование выполняется в следующем порядке:

1. Из зашифрованного текста выделяется блок символов размером $n \times m$.
2. Этот блок разбивается на n групп по m символов.

3. Символы записываются в те столбцы таблицы перестановки, номера которых совпадают с номерами групп в блоке.
4. Расшифрованный текст читается по строкам таблицы перестановки.
5. Выделяется новый блок символов и т.д.

Перестановка, усложненная по таблице.

При усложнении перестановки по таблицам для повышения стойкости шифра в таблицу перестановки вводятся неиспользуемые клетки таблицы. Количество и расположение неиспользуемых элементов являются дополнительным ключом шифрования. При шифровании текста в неиспользуемые элементы не заносятся символы текста и в зашифрованный текст из них не записываются никакие символы, т.е. они просто пропускаются. При расшифровке символы зашифрованного текста также не заносятся в неиспользуемые элементы.

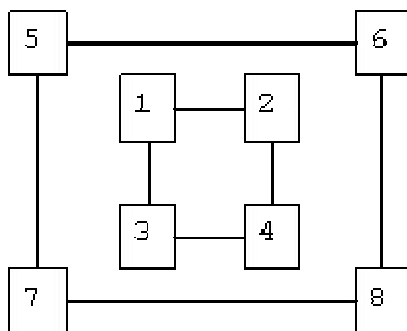
Для дальнейшего увеличения криптостойкости шифра можно в процессе шифрования менять ключи, размеры таблицы перестановки, количество и расположение неиспользуемых элементов по некоторому алгоритму, причем этот алгоритм становится дополнительным ключом шифра.

Перестановка, усложненная по маршрутам.

Высокую стойкость шифрования можно обеспечить усложнением перестановок по маршрутам типа гамильтоновских. При этом для записи символов шифруемого текста используются вершины некоторого гиперкуба, а знаки зашифрованного текста

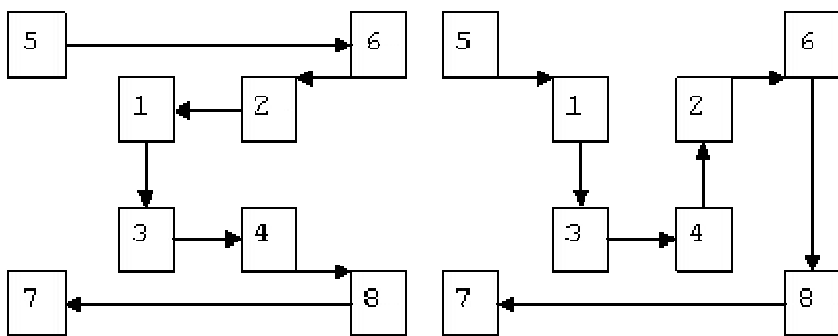
считываются по маршрутам Гамильтона, причем используются несколько различных маршрутов. Для примера рассмотрим шифрование по маршрутам Гамильтона при $n=3$.

Структура трехмерного гиперкуба:



Номера вершин куба определяют последовательность его заполнения символами шифруемого текста при формировании блока. В общем случае n -мерный гиперкуб имеет 2^n вершин.

Маршруты Гамильтона имеют вид:



Последовательность перестановок символов в шифруемом блоке для первой схемы 5-6-2-1-3-4-8-7, а для второй 5-1-3-4-2-6-8-7.

Аналогично можно получить последовательность перестановок для

других маршрутов: 5-7-3-1-2-6-8-4, 5-6-8-7-3-1-2-4, 5-1-2-4-3-7-8-6 и т.д.

Размерность гиперкуба, количество и вид выбираемых маршрутов Гамильтона составляют секретный ключ метода. Стойкость простой перестановки однозначно определяется размерами используемой матрицы перестановки. Например, при использовании матрицы 16×16 число возможных перестановок достигает $1.4E26$. Такое число вариантов невозможно перебрать даже с использованием ЭВМ. Стойкость усложненных перестановок еще выше. Однако следует иметь в виду, что при шифровании перестановкой полностью сохраняются вероятностные характеристики исходного текста, что облегчает криптоанализ.

Шифрование методом гаммирования.

Суть метода состоит в том, что символы шифруемого текста последовательно складываются с символами некоторой специальной последовательности, называемой гаммой. Иногда такой метод представляют как наложение гаммы на исходный текст, поэтому он получил название "гаммирование".

Наложение гаммы можно осуществить несколькими способами, например по формуле

$$tш = to \text{ XOR } tr ,$$

где $tш$, to , tr - ASCII коды соответственно зашифрованного символа, исходного символа и гаммы,

XOR - побитовая операция "исключающее или".

Расшифрование текста проводится по той же формуле:

$$to = \text{tr XOR tr}.$$

Последовательность гаммы удобно формировать с помощью датчика псевдослучайных чисел. Стойкость гаммирования однозначно определяется длиной периода гаммы.

Шифрование с помощью аналитических преобразований

Достаточно надежное закрытие информации может обеспечить использование при шифровании некоторых аналитических преобразований. Например, можно использовать методы алгебры матриц, в частности, умножение матрицы на вектор.

В качестве ключа задается квадратная матрица $||a||$ размера $n \times n$. Исходный текст разбивается на блоки длиной n символов. Каждый блок рассматривается как n -мерный вектор. А процесс шифрования блока заключается в получении нового n -мерного вектора (зашифрованного блока) как результата умножения матрицы $||a||$ на исходный вектор.

Расшифровка текста происходит с помощью такого же преобразования, только с помощью матрицы, обратной $||a||$.

Комбинированные методы шифрования.

Достаточно эффективным средством повышения стойкости шифрования является комбинированное использование нескольких различных способов шифрования, т.е. последовательное шифрование исходного текста с помощью двух или более методов. Стойкость комбинированного шифрования S не ниже произведения стойкостей используемых способов

$$S \geq S_1 * S_2 * \dots * S_k$$

Если какой-либо способ шифрования при независимом применении может обеспечить стойкость не ниже S , то комбинировать его с другими способами целесообразно лишь при выполнении условия

$$R > R_1 + R_2 + \dots + R_k,$$

где R_i - трудоемкость i -го способа, используемого при комбинированном шифровании, R - трудоемкость того способа, который обеспечивает стойкость не ниже S .

Шифр Цезаря.

Рассмотрим один из самых древних способов шифрования данных. Номер каждого символа при шифровании увеличивался на 3: А на D, В на Е и т.д. Такой шифр называют шифром однозначной замены. Криптоалгоритм будет реализован на ASCII-таблице. Для корректной реализации шифра потребуется нормализация, проводимая для того, чтобы множества совпадали и, естественно, размеры множеств открытого и шифротекста были равны (т.н. гомоморфизм). Для этого делается следующее: если сумма текущего номера и тройки выходит за пределы алфавита (размера множества разрешенных символов), то отсчет букв начинается сначала.

Программный код для шифрования текстовых сообщений по принципу «шифра Цезаря» на языке программирования Visual Basic.

Пусть $kk = 3$. Будем использовать латинские буквы со стандартным следованием букв в алфавите. Результаты шифрования показаны в таблице 1.

Таблица 1. Результаты шифрования.

l	2	3	4
i	9	12	l
	0	3	c
R	18	21	U
e	5	8	h
m	13	16	p
e	5	8	h
m	13	16	p
b	2	5	e
e	5	8	h
r	18	21	u
	0	3	c
t	20	23	w
h	8	11	k
a	1	4	d
t	20	23	w
	0	3	c
s	19	22	v
e	5	8	h
p	16	19	s
t	20	23	w
e	5	8	h
m	13	16	p
b	2	5	e

е	5	8	h
г	18	21	u

Пояснения к таблице:

1-я строка – фраза для шифрования;

2-я строка – номера букв фразы для шифрования в латинском алфавите;

3-я строка – номера букв фразы для шифрования, увеличенные на 3;

4-я строка – зашифрованная фраза.

Заключение.

Моя тема актуальна, потому что нас постоянно окружают различные знаки и символика. Исследование темы помогло мне познакомиться с применением математики для решения задач кодирования и декодирования. В настоящее время шифр Цезаря широко применяется на практике для обучения основам криптографии и получения навыков шифрования и дешифрования небольших текстов.

В ходе выполнения работы были получены навыки по шифрованию и дешифрованию методом Цезаря. Данный шифр, является сдвиговым шифром с фиксированным ключом, который всегда равен трем.

Ниже приведен листинг программы.

Листинг программы.

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Dim a(27) As String * 1
```

```
Dim s$, t$, r$
```

Dim kk, m, l, i, j As Integer

kk = Text1.Text

s\$ = Text2.Text

m = Len(s\$)

kk = kk Mod 27

a(0) = " " : a(1) = "a" : a(2) = "b" : a(3) = "c" : a(4) = "d" : a(5) = "e" :

a(6) = "f" : a(7) = "g"

a(8) = "h" : a(9) = "i" : a(10) = "j" : a(11) = "k" : a(12) = "l" : a(13) =

"m" : a(14) = "n"

a(15) = "o" : a(16) = "p" : a(17) = "q" : a(18) = "r" : a(19) = "s" : a(20) =

"t" : a(21) = "u"

a(22) = "v" : a(23) = "w" : a(24) = "x" : a(25) = "y" : a(26) = "z" : a(27) =

" "

Rem Кодирование фразы

If Check1.Value = 1 Then

Check1.Caption = "Кодирование"

For i = 1 To m

t\$ = Mid(s\$, i, 1)

For j = 1 To 27

If (t\$ = a(j)) Then l = j

Next j

l = l + kk

l = l Mod 27

r\$ = r\$ & a(l)

Next i

Text3.Text = r\$

End If

Rem Декодирование шифровки

If Check1.Value = 0 Then

Check1.Caption = "Декодирование"

For i = 1 To m

t\$ = Mid(s\$, i, 1)

For j = 1 To 27

If (t\$ = a(j)) Then l = j

Next j

l = l - kk

If l <= 0 Then l = l + 27

r\$ = r\$ & a(l)

Next i

Text3.Text = r\$

End If

End Sub

Private Sub Command2_Click()

End

End Sub

Набор проводим строчными буквами, работа с прописными буквами в программе пока не предусмотрена. В дальнейшем можно увеличить сложность этой программы путем замены ключа,

выбираемого пользователем, ключом, определяемым программой (генератором псевдослучайных чисел), что усложнит работу аналитика, а также дополнить программу для работы с русским алфавитом.

Листинг 2

Option Explicit

Private Sub cmdDeCode Click()

Const coding = "1Q 1W 1E 1R 1T 1Y 1U 1I 1O 1P 1A 1S 1D 1F 1G 1H
1J 1K 1L 1Z 1X 1C 1V 1B 1N 1M MZ NZ BZ VZ CZ XZ ZZ AZ SZ
DZ FZ GZ HZ JZ KZ LZ QZ WZ EZ RZ TZ YZ UZ IZ OZ PZ MA NA
BA VA CA XA ZA AA SA DA FA GA HA JA KA LA QA WA AE AR
AT AY UA IA OA PA 2M 2N 2B 2V 2C 2X 2Z 2A 2S 2D 2F 2G 2H 2J
2K 2L 2Q 2W 2E 2R 2T 2Y 2U 2I 2O 2P MD ND BD VD CD XD ZD
AD SD DD FD GD HD JD KD LD QD WD ED RD TD YD UD ID OD
PD SM SN SB SV SC SX G5 DS SS 4D SF SG SH SJ SK SL SQ SW
SE MS TS YS US IS OS PS VM VN VB VV VC VX ZH AV VS 0D
VF VG VH VJ VK VL VQ VW VE VR VT VY VU VI VO VP M7 N7
7B 7V 7C 7X 7Z 7A 7S 7D 7F 7G 7H 7J 7K 7L Q7 W7 E7 R7 T7 Y7
U7 7I O7 P7 RM RN RB RV RC RX QI RA RS R9 RF RG RH RJ RK
RL RQ RW RE RR RT RY RU RI RO RP 9M 9N 9B 9V 9C 9X 9Z 9A
9S 9D 9F 9G 9H 9J 9K 9L 9Q 9W 9E 9R 5T"

```
Dim DlinaTxt As Long, num As Long, x As Long, Index As Long,  
CodID_C As Long, CodId_A As Long  
Dim ASCIICod() As String, Hex(94 To 764) As String * 2, HexMod(1  
To 255) As String * 2, CodID_B As Long  
Index = 32
```

```
For CodID_B = 94 To 764 Step 3  
Hex(CodID_B) = Mid(coding, CodID_B, 2)  
Next
```

```
For CodID_C = 94 To 764 Step 3  
HexMod(Index) = Hex(CodID_C)  
Index = Index + 1  
Next
```

```
DlinaTxt = Len(TxtCod.Text)  
ReDim ASCIICod(DlinaTxt)  
For CodId_A = 1 To DlinaTxt Step 3  
ASCIICod(CodId_A) = Mid(TxtCod.Text, CodId_A, 2)  
For x = 32 To 255  
If HexMod(x) = ASCIICod(CodId_A) Then  
num = x  
TxtText.Text = TxtText.Text & Chr(num)
```


RL RQ RW RE RR RT RY RU RI RO RP 9M 9N 9B 9V 9C 9X 9Z 9A
9S 9D 9F 9G 9H 9J 9K 9L 9Q 9W 9E 9R 5T"

Dim DlinaTxt As Long, num As Long, x As Long, Index As Long,
CodID_C As Long, CodId_A As Long

Dim ASCIICod() As String, Hex(94 To 764) As String * 2, HexMod(1
To 255) As String * 2, CodID_B As Long

Index = 32

For CodID_B = 94 To 764 Step 3

Hex(CodID_B) = Mid(coding, CodID_B, 2)

Next

For CodID_C = 94 To 764 Step 3

HexMod(Index) = Hex(CodID_C)

Index = Index + 1

Next

DlinaTxt = Len(TxtText.Text)

ReDim ASCIICod(DlinaTxt)

For CodId_A = 1 To DlinaTxt

ASCIICod(CodId_A) = Asc(Mid(TxtText.Text, CodId_A, 1))

TxtCod.Text = TxtCod.Text & HexMod(ASCIICod(CodId_A)) & " "

Next

End Sub

Данная программа позволяет кодировать и декодировать многострочные тексты, меняя ASCII коды введенных символов.

Литература:

1. Герасименко В.А., Размахнин М.К. "Криптографические методы в автоматизированных системах" Зарубежная радиоэлектроника, 1982, N8
2. Сяо Д., Керр Д., С.Мэдник "Защита ЭВМ", М., Мир, 1982.
3. Хоффман Л. Дж. Современные методы защиты информации. М., Сов. радио, 1980 –
4. Учебник по программированию «Visual basic 6.0», изд. «Эком», 2002 г.
5. Н. Г. Волчёнков программирование на «Visual basic 6.0», изд. Инфра-М, 2002 г.

СЕКЦИЯ II. Машиностроительные технологии

Исследование возможностей применения гидравлического привода в металлорежущих станках и промышленных роботах

*МАКАРЕНКО Владислав Алексеевич
Московская область, г. Балашиха,
МБОУ СОШ № 19, 11 класс*

*Научный руководитель:
Москвин Валерий Константинович,
к.т.н., доцент кафедры
«Металлорежущие станки»
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Металлорежущий станок - это технологическая машина, предназначенная для размерной обработки заготовок главным образом снятием стружки режущим инструментом. Используют и другие методы обработки - электрофизические, электрохимические, лазерным лучом, пластическим деформированием, и операции, связанные с измерением или контролем обрабатываемых деталей. Термин "металлорежущий" является достаточно условным, так как материалом обрабатываемых деталей помимо металлов и сплавов также являются пластмассовые, керамические, спеченные, углеграфитовые материалы, применяемые для деталей машин. Станок является основным компонентом технологической системы, предназначенной для механической обработки, в которую входят режущий инструмент, заготовка, исполнитель (оператор) и другие

составляющие, в совокупности обеспечивающие заданный технологический процесс обработки. Широкое применение в металлорежущих станках имеет гидравлический привод, который имеет как свои достоинства, так и недостатки.

1. Характеристики и основные функции гидропривода в станках с числовым программным управлением

Под гидравлическим приводом понимают совокупность агрегатов и устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин за счёт энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением. В состав этих устройств входят насосная станция, управляющая и передаточно-преобразующая аппаратура, а также один или несколько двигателей.

Гидропривод обладает рядом положительных качеств, которые определяют его функции в станках и роботах:

- максимальное отношение развиваемой силы или момента на исполнительном двигателе к массе или моменту инерции подвижных звеньев гидропривода, обеспечивающее высокие динамические характеристики при работе на переходных режимах при разгоне и торможении. Такие характеристики имеют большое значение при контурной обработке на станках с ЧПУ, а также в промышленных роботах при больших массах манипулируемых изделий;
- высокая компактность исполнительных двигателей, что особенно актуально в многооперационных станках;

- возможность получения на исполнительных двигателях неограниченных сил и моментов, что особенно актуально при работе на крупногабаритных и тяжелонагруженных станках;
- высокая жёсткость исполнительного двигателя, позволяющая перемещать рабочие органы станка при больших нагрузках с высокой точностью позиционирования;
- высокое быстродействие и, как следствие, высокая точность позиционирования, а также возможность частых включений и реверсирований, что имеет большое значение для контурной обработки;
- точность позиционирования и стабильность скорости выходного звена при изменении нагрузки в широком диапазоне;
- бесступенчатое регулирование скорости исполнительного двигателя в широком диапазоне, что особенно важно при обработке изделий сложного фасонного профиля;
- способность к самосмазыванию, позволяющая сократить расходы на обслуживание агрегатов и элементов привода.

Несмотря на большое количество положительных качеств, гидропривод имеет ограниченное применение в силу некоторых недостатков:

- необходимость дополнительных затрат на фильтрацию рабочей жидкости, поскольку наличие инородных элементов приводит как к внезапным, так и к постепенным отказам гидросистемы;
- наличие утечек и необходимость их устранения в результате применения уплотнительных элементов;
- пониженный коэффициент полезного действия, так как в гидросистемах приходится учитывать кроме механического, гидравлический и объемный коэффициенты полезного действия.

Таким образом, несмотря на то, что гидропривод в состоянии обеспечить все требования, предъявляемые к приводам современных металлообрабатывающих станков, интенсивное развитие в последнее время электроники и на ее базе различных типов электрических приводов (высокомоментных электродвигателей, тиристорных преобразователей и т. п.), а также наличие упомянутых выше недостатков несколько снизили использование гидропривода в станках новейшей конструкции. Основные аргументы в пользу замены гидравлического привода электрическим следующие:

- экономия рабочих площадей вследствие устранения насосных станций; экономия средств на проектирование и эксплуатацию уплотнительных и фильтрующих устройств, а также устройств стабилизации температуры рабочей жидкости;

- отказ от операций, связанных с необходимостью замены рабочей жидкости и ее доливкой;
- улучшение условий работы обслуживающего персонала в результате уменьшения уровня шума и др.

Между тем, учитывая наличие положительных специфических качеств у гидропривода, за ним сохраняются некоторые рациональные сферы применения в металлообрабатывающих станках. Причем эти сферы имеют отношение как к приводу формообразующих органов станков, так и к приводу вспомогательных органов. Если речь идет о применении гидропривода в качестве привода формообразующих движений, то можно привести пример использования следящего гидропривода в качестве привода главного движения многоцелевых станков. Это объясняется тем, что при большом количестве инструментов (до 150 шт.) имеется необходимость точной настройки частоты инструментального шпинделя в широком диапазоне.

Гидропривод, обладая возможностью бесступенчатого регулирования частоты вращения двигателя в заданном диапазоне при сохранении требуемого крутящего момента, с легкостью решает эту задачу.

При использовании гидропривода в качестве привода подачи следует отметить применение их в тяжелонагруженных станках, таких как протяжные, строгальные, накатные тяжелых серий для обработки крупногабаритных заготовок из труднообрабатываемых материалов. Большие силы резания, имеющие место при обработке

на этих станках, легко преодолеваются благодаря возможности создания больших усилий на исполнительных механизмах.

Для обеспечения высокой точности при контурной обработке заготовок тел вращения и корпусных деталей оправдано применение следящего гидропривода ввиду возможности бесступенчатого регулирования подачи в широком диапазоне при высоком быстродействии.

В ряде случаев оправдано применение гидропривода с исполнительным двигателем в виде гидроцилиндра (линейное исполнение), поскольку он позволяет резко упростить конструкцию путем упразднения таких сложных и дорогостоящих механизмов, как безлюфтовые редукторы и ШВП. При этом значительно снижается стоимость гидропривода в целом, а также повышается точность обработки, улучшаются динамические характеристики за счет уменьшения погрешностей промежуточных передающих звеньев и снижения суммарной массы элементов гидропривода. Создание для этих же целей отечественных промышленных образцов линейного электропривода пока не увенчались успехом.

В многоцелевых станках актуальным является применение исполнительных двигателей малых габаритных размеров и массы, поскольку специфика работы этих станков ставит на первое место вопросы компактности при получении больших сил. Возможность использования высоких давлений легко решает эти задачи. Благодаря этому гидропривод обладает малогабаритными

компактными исполнительными механизмами, обеспечивающими большие нагрузки.

Гидропривод находит широкое применение в механизмах вспомогательных функций. Учитывая, что эти механизмы обеспечивают холостые ходы, от их привода требуются высокие скорости при больших ускорениях разгона и торможения. При этом возникают большие инерционные нагрузки. Все это предъявляет повышенные требования к динамическим свойствам привода. Актуальными остаются также вопросы компактности, простоты конструкции и надежности работы механизмов.

В качестве устройств, в которых используется гидропривод, можно отметить следующие механизмы: смены инструмента, транспортирования заготовок, фиксации положений рабочих органов станков, переключения диапазонов режимов работы, разгрузки неуравновешенных масс, цикловой автоматики.

Особого внимания заслуживает применение гидропривода для перемещения захватов промышленных роботов. Промышленный робот выполняет транспортные функции при загрузке заготовок и выгрузке обработанных деталей в станках с ЧПУ, образуя в паре со станком роботизированный технологический комплекс. Учитывая вспомогательный характер этих функций, гидропривод должен обеспечивать высокие скорости перемещения захвата с заготовкой при высоких ускорениях в процессе разгона и торможения, а также высокую точность позиционирования для надежного срабатывания механизма зажима

станка. Гидропривод, обладая высокой энергоемкостью, соответствует этим требованиям. Поэтому в роботах при загрузке-выгрузке изделий массой более 15 кг применяют преимущественно следящий гидропривод.

Наконец, можно выделить область специального применения гидропривода в станках с ЧПУ. Это гидростатические направляющие в тяжелонагруженных станках, гидростатические и гидродинамические опоры высокооборотных шпинделей, гидравлические зажимные устройства.

Кроме того, гидропривод обеспечивает температурную стабилизацию узлов станка для уменьшения влияния температурных деформаций на точность обработки (особенно это важно в многоцелевых станках повышенной точности).

Учитывая вышесказанное, можно констатировать, что гидропривод благодаря наличию определенных специфических свойств имеет определенную сферу применения и является перспективным средством автоматизации станков с ЧПУ.

2. Классификация следящих гидроприводов

Существующие следящие гидроприводы можно разделить на несколько групп. По типу программносителя, на котором записана управляющая программа, следящие гидроприводы бывают с копировальным управлением и с ЧПУ.

В гидроприводе с копировальным управлением программносителем является копир, выполненный в соответствии с профилем детали, тогда как в приводах с ЧПУ программа

записывается в числовом виде на перфолентах, магнитных лентах и т. п.

В зависимости от вида управляющего воздействия гидроприводы бывают непрерывного, или аналогового, управления, и дискретного, или шагового, управления. В следящих гидроприводах с аналоговой системой управляющая информация задается в виде электрического сигнала, непрерывно изменяющегося во времени, которому соответствует непрерывное изменение выходного параметра (подачи, перемещения и т. д.). В гидроприводах с дискретной системой управления программа задана в виде единичных импульсов, причем варьировать можно как частоту следования импульсов, так и их количество. При этом каждому импульсу соответствует перемещение рабочего органа на определенную величину (дискрету), а частота определяет подачу.

По наличию в гидроприводе контура внешней обратной связи их подразделяют на разомкнутые (при отсутствии контура) и замкнутые.

В зависимости от количества контуров внешней обратной связи существуют одноконтурные (с обратной связью по одному параметру) и многоконтурные гидроприводы.

По способу регулирования подачи исполнительных рабочих органов следящие гидроприводы бывают объемного и дроссельного регулирования. В гидроприводах объемного регулирования изменение скорости исполнительных органов осуществляется путем изменения рабочих объемов насоса или гидродвигателя. В

гидроприводах дроссельного регулирования процесс управления скоростью происходит в результате дросселирования потока жидкости в рабочих щелях распределителей.

По количеству каскадов усиления следящие гидроприводы подразделяют на однокаскадные и многокаскадные. В зависимости от конструктивного исполнения исполнительного органа следящие гидроприводы бывают линейные (в случае использования гидроцилиндра) и роторные (если на выходе используется гидромотор).

3. Следящий гидропривод подачи с аналоговой системой управления

В следящем гидроприводе с аналоговой системой управления управляющее воздействие подается на его вход в виде непрерывного электрического сигнала, закон изменения которого во времени соответствует закону изменения выходного параметра гидропривода (например, подачи). Для преобразования электрического сигнала управления в механическое перемещение ведомого звена, к которому подсоединяются управляющие элементы гидрораспределителей, применяют электромеханические преобразователи. Принцип действия таких преобразователей основан на взаимодействии магнитных потоков с якорем, который соединен с управляющим элементом, например, заслонкой, взаимодействующей с гидравлическими соплами. Отклонение заслонки будет пропорционально напряжению, подаваемому на обмотки преобразователя.

Схему и принцип действия такого гидропривода рассмотрим на примере типового привода типа «сопло — заслонка» (рис. 1). Основным достоинством схемы является простота изготовления и регулировки. Гидропривод состоит из следящего золотника 9, исполнительного гидроцилиндра 12, электромеханического преобразователя 1 с заслонкой 15 и двух сопел 2 и 14. Масло от насоса подводится к центральной расточке золотника 9 и одновременно через два нерегулируемых дросселя 7 и 8 магистрали управления 5 и 13 к торцевым полостям золотника 9 и соплам 2 и 14.

При отсутствии сигнала управления заслонка 15 находится в нейтральном положении относительно торцев сопел 2 и 14. При этом гидравлические сопротивления дросселей, образованных заслонкой и торцами сопел, будут одинаковыми. Масло через эти дроссели идет на слив с одинаковым расходом. При этом давления p_1 и p_2 в магистралях управления 5 и 13 и, следовательно, в управляющих торцевых полостях золотника 9 будут одинаковыми, вследствие чего плунжер золотника будет занимать нейтральное положение.

Учитывая, что золотник выполнен с «нулевым перекрытием», силовые магистрали 4, 11 и рабочие полости исполнительного цилиндра 12 будут в закрытом состоянии, а поршень цилиндра и рабочий орган 3 — неподвижны.

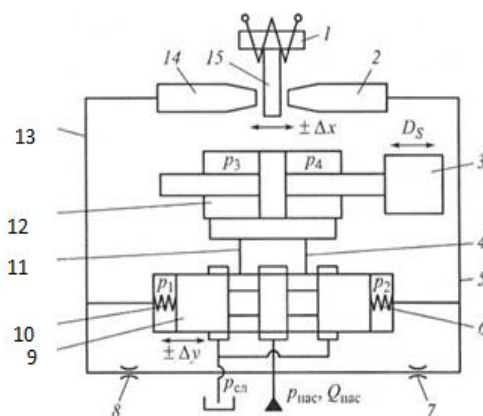


Рис. 1. Схема гидропривода подачи станка с ЧПУ с аналоговой системой управления

При подаче управляющего сигнала на электромеханический преобразователь заслонка, в зависимости от значения и знака напряжения, сместится в соответствующую сторону на величину Δx , пропорциональную напряжению ($\Delta x = f(U)$). При этом в одной магистрали давление уменьшится, а в другой — возрастет. В полостях управления золотника возникнет перепад давлений $\Delta p = p_1 - p_2$, пропорциональный смещению заслонки Δx ($\Delta p = f(\Delta x)$), который заставит сместиться плунжер золотника на Δy в силу того, что на его торцы действуют пружины 6 и 10. При этом на кромках золотника возникнет расход жидкости.

$$Q_{\text{зол}} = \mu F_{\text{зол}} \sqrt{(2/p) \Delta p^3}, \quad (1)$$

где μ — коэффициент расхода; $F_{\text{зол}}$ — площадь проходного

сечения золотника, $F_{30Л} = \pi d_{30Л} \Delta y$; $d_{30Л}$ — диаметр плунжера золотника; Δp_3 — перепад давлений на кромках плунжера.

Если одна из силовых магистралей, например 11, соединена с насосом, а другая, например 4, — со сливом, то на поршне цилиндра образуется рабочий перепад давлений $\Delta p_{Ц} = p_3 - p_4$. Поршень начинает перемещаться с подачей в соответствии с расходом $Q_{30Л} (S - f(\Delta y))$. Таким образом, подача исполнительного органа находится в зависимости от управляющего напряжения: $S = f(U)$.

Достоинством данного гидропривода является высокая точность позиционирования вследствие наличия контура обратной связи, а существенным недостатком — ограничение по скоростным возможностям, так как для повышения скорости требуется увеличение диаметра плунжера, что повлечет за собой рост жесткости пружин и неминуемое снижение чувствительности. Выходом из создавшейся ситуации является введение обратной связи по положению заслонки.

На рисунке 2 подвод управляющего сигнала в виде постоянного напряжения осуществляется через разъем 12 электромеханического преобразователя 11. Заслонка 7 крепится к якорю 10. Нулевое положение заслонки регулируется винтами 9. При подаче управляющего сигнала заслонка 7 поворачивается относительно регулируемых опор 8. Сопла 2, размещенные в

плунжере 3 золотника, образуют с заслонкой 7 два переменных дросселя, к которым жидкость подводится по магистралям 1 и 6, постоянные дроссели 4 и торцевые полости 5 плунжера. При повороте заслонки 7 меняются сопротивления переменных дросселей, что вызывает перепад давлений в управляющих торцевых полостях 5 плунжера 3. При этом плунжер смещается, обеспечивая подачу рабочей жидкости в гидроцилиндр 13, причем перемещение плунжера будет до тех пор, пока не сравняются зазоры между заслонкой 7 и соплами 2. Тем самым обеспечивается обратная связь по положению заслонки.

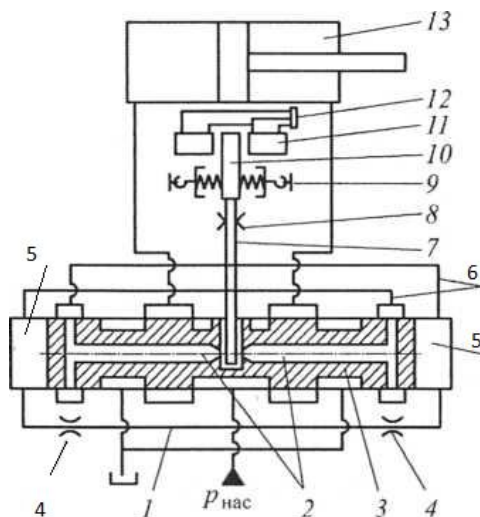


Рис. 2. Схема гидропривода подачи станка с ЧПУ с обратной связью по положению заслонки.

Причем надобность в торцевых пружинах отпадает, что снимает ограничение в размерах плунжера и скоростных возможностях схемы.

Достоинством гидропривода является также высокая устойчивость и надежность работы благодаря симметричности схемы, что позволяет рекомендовать его для работы как в станках с ЧПУ, так и в промышленных роботах.

4. Следящий гидропривод подачи с дискретной системой управления

В гидроприводах с дискретной системой управления управляющая программа задана в виде дискретных электрических импульсов, причем, в зависимости от требуемого закона движения, частота и количество импульсов могут изменяться. В качестве устройства, воспринимающего информацию в дискретном виде, используют не силовые шаговые электродвигатели, которые при подаче одного импульса отрабатывают эту информацию в виде поворота вала на дискретный угловой шаг $\Delta\phi$. Причем от частоты f следования импульсов зависит частота вращения $n_{ЭД}$ вала шагового электродвигателя, а от количества импульсов — суммарный угол поворота вала. Таким образом, можно задавать любой закон движения. Однако, учитывая, что электродвигатель несиловой, мощность на выходе не превышает 200 Вт, что недостаточно для перемещения рабочего органа станка. Поэтому шаговому электродвигателю требуется следящее устройство, которое с требуемой точностью передавало бы все движения его вала на

рабочий орган станка и при этом являлось бы усилителем мощности с требуемым коэффициентом усиления. В качестве такого устройства хорошо зарекомендовал себя гидравлический усилитель, конструкция которого зависит от исполнения гидропривода (линейное или роторное).

В представленной на рисунке 3 схеме масло от насоса подается в центральную расточку следящего золотника 12 и одновременно через постоянные дроссели 11 и 13 в магистрали управления 10 и 15. Через магистрали масло поступает в отверстия 16 и 17 управляющей втулки 18 и далее идет на слив и одновременно через магистрали 9 и 14 — в торцовые полости золотника 12.

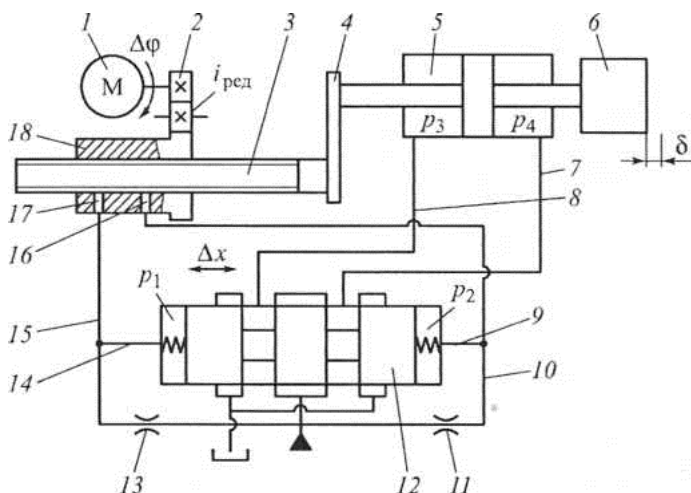


Рис. 3. Схема гидропривода подачи станка с ЧПУ с дискретной системой управления

С помощью силовых магистралей 7 и 8 золотник подает масло в рабочие полости цилиндра 5, шток которого соединен с рабочим органом станка 6.

Вал шагового электродвигателя 1 через редуктор 2 соединен с управляющей втулкой 18. Отверстия 16 и 17 во втулке вместе с прямоугольной резьбой винта 3 образуют два дросселя переменного сечения. Шаговый электродвигатель 1, редуктор 2, управляющая втулка 18 и винт 3 объединены в единый узел, который называется шаговым задатчиком. Кронштейн 4, связывающий шток цилиндра 5 с винтом 3, образует внутреннюю жесткую единичную обратную связь. В исходном состоянии при отсутствии управляющих импульсов вал электродвигателя 1 неподвижен. Отверстия 16 и 17 в управляющей втулке 18 перекрыты кромками резьбы винта 3 ровно наполовину. Это означает, что давления в магистралах 10 и 15, а также в торцовых полостях 9 и 14 золотника 12 равны. Плунжер золотника при этом занимает нейтральное положение, перекрывая подачу масла в полости силового цилиндра 5. Следовательно, шток цилиндра, а вместе с ним и рабочий орган станка 6 неподвижны.

При подаче управляющего импульса на шаговый электродвигатель его вал поворачивается на шаг $\Delta\phi$ и через редуктор 2 с передаточным отношением $i_{ред}$ поворачивает управляющую втулку 18. При этом нарушается равенство проходных сечений отверстий в управляющей втулке, а значит, и давлений p_1 и p_2 на торцах золотника.

Возникает перепад $\Delta p_{\text{зол}} = p_1 - p_2$, который смещает плунжер золотника на Δx . Золотник открывается и пропускает жидкость в силовой цилиндр, соединяя одну из полостей с напорной магистралью, вторую — со сливом. Образовавшийся перепад давлений на поршне цилиндра $\Delta p_{\text{ц}} = p_3 - p_4$ заставляет сместиться поршень вместе с рабочим органом. При этом вступает в действие обратная связь — через кронштейн 4 винт 3 движется вместе с поршнем. Причем его движение направлено в сторону возврата проходных сечений отверстий в управляющей втулке к исходному состоянию. Как только площади проходных сечений отверстий сравняются, перепад давлений на торцах золотника станет равным нулю, и плунжер золотника вернется под действием пружин в нулевое положение. При этом прекратится подача жидкости в полости цилиндра и рабочий орган остановится, пройдя при этом расстояние

$$\delta = (\Delta \phi / 360) i_{\text{ред}} t \quad (2)$$

где t — шаг винта.

Таким образом, суммарное перемещение L будет зависеть от числа n поданных импульсов и дискретности δ :

$$L = n\delta \quad (3)$$

Подача рабочего органа будет зависеть от частоты следования импульсов. Варьируя значения параметров f и n , можно задавать любой закон движения рабочего органа. Схема обладает рядом достоинств.

Во-первых, дискретная система управления не требует

наличия контура внешней обратной связи, что значительно упрощает систему управления и удешевляет привод.

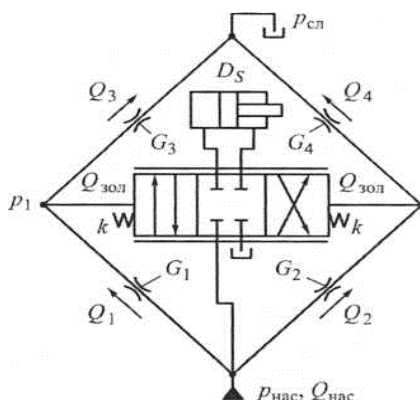


Рис. 4. Расчетная схема гидропривода подачи.

. Во-вторых, при линейном исполнении привода шток цилиндра непосредственно соединяется с рабочим органом без промежуточных кинематических звеньев, что упрощает конструкцию, увеличивает быстродействие гидропривода вследствие минимизации массы подвижных звеньев, повышает точность позиционирования в связи с отсутствием погрешностей промежуточных звеньев. Быстродействие привода повышается также благодаря конструктивному исполнению шагового задатчика, в котором шаговый электродвигатель приводит во вращение не винт, обладающий значительной массой, а шестерни несилового мелко модульного редуктора. Немаловажное значение

имеет симметричное исполнение схемы усилителя, поскольку это повышает надежность работы гидропривода вследствие устранения влияния колебаний давления жидкости на входе.

Исследование характеристик гидропривода удобно вести, преобразовав его принципиальную гидравлическую схему к схеме гидравлического моста.

В качестве примера преобразуем схему электрогидравлического следящего привода подач с аналоговой системой управления к схеме гидравлического моста. На схеме (рис. 4) приняты следующие обозначения: $p_{нас}$, $Q_{нас}$ — давление и расход на входе в гидроусилитель; G_1, G_2 — гидравлические проводимости постоянных дросселей на входе в левую и правую магистрали управления; Q_1, Q_2 — расходы через постоянные дроссели; p_1, p_2 — давления в магистралях управления и на торцах плунжера следящего золотника; $Q_{зол}$ — расход на смещение плунжера золотника; G_3, G_4 — гидравлические проводимости переменных дросселей, образованных заслонкой и торцем сопла; Q_3, Q_4 — расходы через переменные дроссели.

В одну диагональ моста включен источник питания, в другую — нагрузка, роль которой выполняет следящий золотник. При составлении уравнений расходов на базе расчетной схемы примем ряд допущений:

- 1) конструктивные параметры, размеры элементов правой и левой магистралей управления идентичны;
- 2) расход на перемещение плунжера золотника не учитываем;

3) гидравлические сопротивления каналов и трубопроводов не учитываем.

Тогда система уравнений расходов жидкости принимает вид:

$$\begin{cases} Q_1=Q_3, \\ Q_2=Q_4 \end{cases} \quad (4)$$

или

$$\begin{cases} \mu_1 \left(\pi d^2 / 4 \right) \sqrt{(2 / \rho)(p_{\text{нас}} - p_1)} = \mu_3 \pi d_{\text{соп}} (x_0 + \Delta x) \sqrt{(2 / \rho)(p_1 - p_{\text{сл}})}; \\ \mu_2 \left(\pi d^2 / 4 \right) \sqrt{(2 / \rho)(p_{\text{нас}} - p_2)} = \mu_4 \pi d_{\text{соп}} (x_0 - \Delta x) \sqrt{(2 / \rho)(p_2 - p_{\text{сл}})}, \end{cases} \quad (5)$$

где d — диаметр дросселей постоянного сечения; $d_{\text{соп}}$ — диаметр сопла; x_0 — положение заслонки относительно торца сопла при отсутствии сигнала управления.

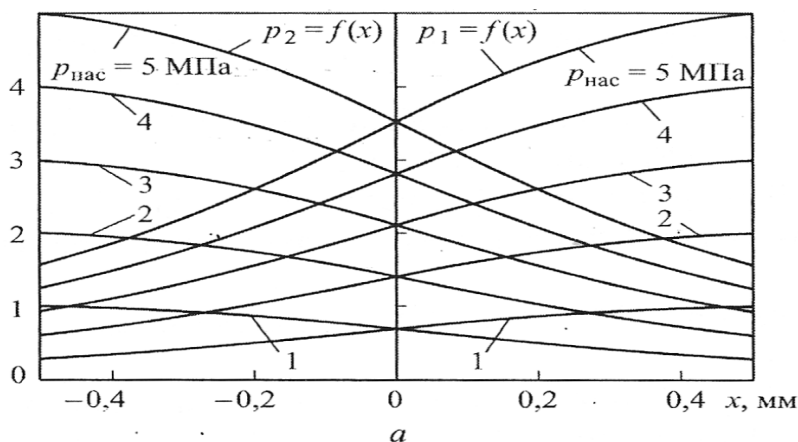
Решая систему уравнений (4) относительно различных параметров, принимаемых за неизвестные величины в функции, например, смещения заслонки x , можно проводить аналитические исследования элементов гидропривода в целях определения его реальных конструктивных параметров, например:

$$\begin{aligned} p_1 &= f(x); \quad Q_3 = f(x); \\ p_2 &= f(x); \quad Q_4 = f(x). \end{aligned}$$

На рисунке 5 показаны кривые, построенные на базе этих уравнений. В процессе их изучения можно получить определенную информацию, которую целесообразно использовать при

проектировании гидропривода. Например, из графиков $p=f(x)$ следует, что максимальная жесткость полученных характеристик, а, следовательно, максимальная чувствительность имеют место при наибольших входных давлениях. Однако при этом, как следует из кривых $Q=f(x)$, увеличивается расход через переменные дроссели, что уменьшает КПД системы. Учитывая это обстоятельство, можно определить оптимальные рабочие давления.

На рисунке 5 видно, что наибольшая крутизна кривых наблюдается в области $x = \pm 0,4$ мм, в то время как в зонах предельных отклонений характеристики близки к насыщению. Это дает возможность определить рабочую зону перемещения заслонки.



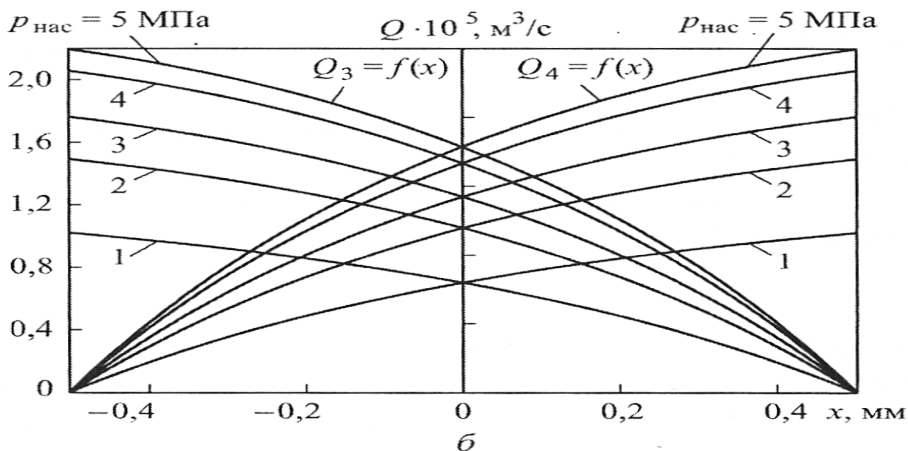


Рис. 5. Зависимости давления управления (а) и расхода (б) от смещения заслонки.

Таким образом, используя этот метод, можно изучать различные характеристики гидропривода для получения полного перечня параметров, необходимых для его проектирования.

5. Особенности требований к приводам промышленных роботов.

Промышленный робот выполняет функцию загрузки заготовок и выгрузки готовых деталей в станках с ЧПУ. В паре со станком он образует роботизированный технологический комплекс. Поскольку робот выполняет в технологическом комплексе автоматизацию движений холостого хода установки — съема изделий, к нему предъявляют требование минимизации времени холостого хода. В соответствии с этим к приводу, перемещающему захват робота, предъявляют определенные требования исходя из специфики его работы.

Захват в рабочей зоне может двигаться по разным законам. Чтобы устранить ударные нагрузки при изменении знака ускорения, наиболее оптимальным является ускоренное движение, далее — движение с установившейся скоростью и торможение. Скорость при этом должна быть максимально возможной. Учитывая, что начальная и конечная скорости равны нулю, следует отметить наличие интенсивных инерционных нагрузок, действующих на исполнительный орган привода на участках разгона и торможения.

Эти нагрузки могут в большей или меньшей степени зависеть от ускорений, массы детали, характера траектории, однако на этих режимах они действуют всегда и именно они определяют специфику работы привода. Отсюда вытекают повышенные требования к динамическим характеристикам привода.

В целях анализа параметры привода можно разбить на входные и выходные. Входные — это параметры, диктуемые приводу конструктивными особенностями станка (компоновка и размеры рабочей зоны, конструкция элементов базирования, механизмов зажима и т. д.), а также требованиями получения максимальной производительности и надежности работы. Выходные — это параметры, которыми должен обладать привод в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями.

К входным параметрам относятся грузоподъемность, определяемая массой изделия; максимальная скорость перемещения захватного органа в рабочей зоне, определяемая

требованием получения максимальной производительности комплекса; ускорения при разгоне и торможении, определяемые, с одной стороны, требованием получения максимальной производительности и ограничиваемые, с другой стороны, пределом прочности конструктивных элементов руки и захватного органа, а также точностью его остановки в позиции загрузки; точность позиционирования Д захвата, определяемая конструктивными особенностями зажимных устройств станка и элементов базирования.

Выходными параметрами являются приведенная масса, учитывающая наличие инерционных сил на участках ускорения и торможения; скорость исполнительного органа привода, учитывающая передаточное отношение кинематических звеньев руки робота; время переходного процесса при ускорении и торможении; точность позиционирования исполнительного органа привода, учитывающая жесткость руки робота. Поскольку к приводу робота предъявляют достаточно жесткие и противоречивые требования по скорости, ускорению и точности позиционирования на фоне больших инерционных нагрузок, можно сделать вывод, что этим требованиям наиболее удовлетворяет гидропривод. Изучение статистических данных подтверждает этот вывод — большинство роботов, работающих с массами деталей 15...50 кг и выше при скорости перемещения 0,8... 1,0 м/с, оснащены гидроприводом.

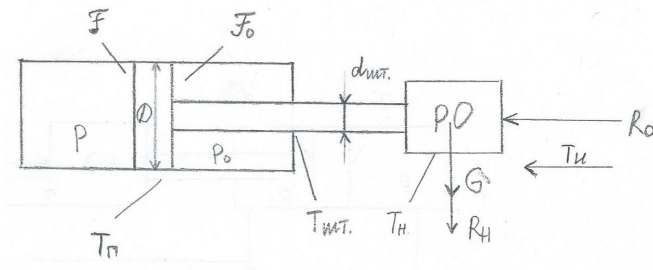


Рис. 7. Расчётная схема.

Найти Q_H, P_H

Q_H

$$Q_{цБП} = V_{м.ц.} * F = S_{БП} * F$$

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 * 1}{4} = 0,75 \text{ дм}^2$$

$$Q_H = \frac{S_{БП}}{\eta_0} * F = \frac{20 * 0,75}{0,75} = 20 \text{ л/мин}$$

Округляем полученное значение Q_H до ближайшего числа из ряда производительностей и получаем $Q_H = 25 \text{ л/мин}$

P_H

$$p * F \geq R_0 + T_H + T_{П} + T_{шт} + T_{и} + p_0 * F_0$$

БП (Быстрая подача):

$$T_{П} = \pi DB(p * 1 + p_k * Z) f_k, R_0 = 0,$$

$$T_H = (G + R_H) * f = 3000 * f_{П} = 3000 * 0,16 = 480 \text{ Н}$$

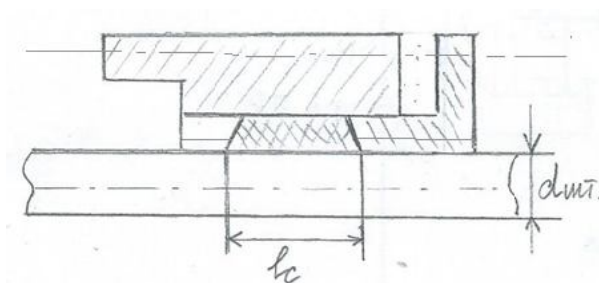


Рис. 8. Расчётная схема.

$$T_n = 3,14 * 0,1 * 4 * 10^{-3} (p + 0,13 * 3) * 0,1$$

$$T_n = 48 + 0,0001p \quad T_{шт} = \pi * d_{шт} * l_c * p_c * f_c$$

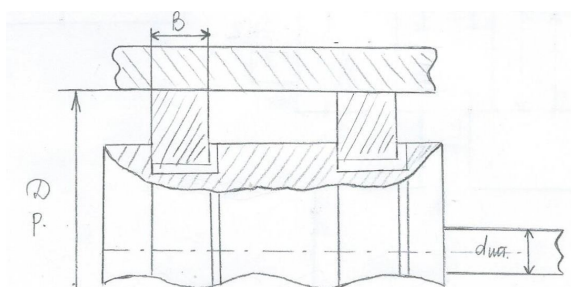


Рис. 9. Расчётная схема.

$$F_0 = F/2 = \frac{\pi D^2}{8} \frac{3,14 * 10000}{8} = 3925 \text{ мм}^2$$

$$F_0 = F_{шт} = \frac{\pi D_{шт}^2}{4} \Rightarrow d_{шт} = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi}} = 70 \text{ мм}$$

Округляем полученное значение до ближайшего из ряда нормальных чисел и получаем 70 мм.

$$l_c = 2d_{шт}$$

$$T_{шт}=3,14*0,07*0,14*0,12*10^6*0,1=369 \text{ Н}$$

$$T_{и} = m a = \frac{G \cdot S_{\text{шп}}}{g \cdot t_p}$$

$$T_{и} = \frac{3000}{9,8} * \frac{2}{0,1*60} = 102 \text{ Н}$$

$$p_0 = \Delta p_{TP} + \sum_{i=1}^n \Delta p_c$$

$$\Delta p_{TP} = \lambda \frac{l_{TP} * V^2}{d_{шт}} * \rho$$

$$\lambda = \frac{75}{R_e} = \frac{75}{2500} = 0,03$$

$$l_{TP_{сш}} = \frac{1}{2}$$

$$Q_H = \frac{\pi d_{TP}^2}{4} * V$$

$$d_{TP} = \sqrt{\frac{4 Q_H}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 25 * 10^{-3}}{3,14 * 3 * 60}} = 1,13 * 10^{-2} \text{ м}$$

Из таблицы нормальных чисел выбираю $d_{TP} = 10 \text{ мм}$

$$\Delta p_{TP} = 0,03 \frac{2,5 * 3^2}{2 * 0,01} * 890 = 30 \text{ кПа} = 0,03 \text{ МПа}$$

$$\Delta p_c = 0,15 \text{ МПа}$$

$$\sum \Delta p_c = 6 * 0,15 = 0,9 \text{ МПа}$$

$$p_0 = 0,03 + 0,9 \text{ МПа} = 0,93 \text{ МПа}$$

$$p * 0,0078 \geq 1200 + 480 + 48 + 0,0001 p + 369 + 102 + 0,93 * 10^{-6} * 0,003$$

$$p \geq 650 \text{ кПа} \Rightarrow 0,65 \text{ МПа}$$

РП(Рабочая подача):

$$R_0 = 1200 \text{ Н}$$

$$T_H = (G + R_H) \cdot f = (3000 + 7000) \cdot f_d$$

$$T_H = 10000 \cdot 0,8 = 8000 \text{ Н}$$

$$T_n = \pi DB(p \cdot 1 + p_k \cdot Z) f_k$$

$$T_n = 3,14 \cdot 0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-3} (p + 0,13 \cdot 3) \cdot 0,1$$

$$T_n = 48 + 0,0001 p$$

$$T_{шт} = \pi \cdot d_{шт} \cdot l_c \cdot p_c \cdot f_c$$

$$F_0 = F/2 = \frac{\pi D^2}{8} \frac{3,14 \cdot 10000}{8} = 3925 \text{ мм}^2$$

$$F_0 = F_{шт} = \frac{\pi D_{шт}^2}{4} \Rightarrow d_{шт} = \sqrt{\frac{4 F_0}{\pi}} = 70 \text{ мм}$$

Округляем полученное значение до ближайшего из ряда нормальных чисел и получаем 70 мм.

$$l_c = 2 d_{шт}$$

$$T_{шт} = 3,14 \cdot 0,07 \cdot 0,14 \cdot 0,12 \cdot 10^6 \cdot 0,1 = 369 \text{ Н}$$

$$T_H = m a = 0$$

$$p_0 = \Delta p_{TP} + \sum_{i=1}^N \Delta p_c$$

$$\Delta p_{TP} = \lambda \frac{l_{TP} \cdot v^2}{d_{шт}} \cdot \rho$$

$$\lambda = \frac{75}{R_e} = \frac{75}{2500} = 0,03$$

$$l_{TP} = \frac{1}{2}$$

$$Q_H = \frac{\pi d_{TP}^2}{4} * V$$

$$d_{TP} = \sqrt{\frac{4Q_H}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 25 * 10^{-3}}{3,14 * 3,60}} = 1,13 * 10^{-2} \text{ м}$$

Из таблицы нормальных чисел выбираю $d_{TP} = 10 \text{ мм}$

$$\Delta p_{TP} = 0,03 \frac{2,5 * 3^2}{2 * 0,01} * 890 = 30 \text{ кПа} = 0,03 \text{ МПа}$$

$$\Delta p_C = 0,15 \text{ МПа}$$

$$\sum \Delta p_C = 5 * 0,15 = 0,75 \text{ МПа}$$

$$p_0 = 0,03 + 0,75 \text{ МПа} = 0,78 \text{ МПа}$$

$$p * 0,0078 \geq 1200 + 8000 + 48 + 0,0001p + 369 + 0,78 * 10^{-6} * 0,003$$

$$p \geq 1550 \text{ кПа} \Rightarrow 1,55 \text{ МПа}$$

БО (Быстрый отвод):

$$R_0 = 1200 \text{ Н}$$

$$T_H = (G + R_H) * f = G * f_n$$

$$T_H = 3000 * 0,16 = 480 \text{ Н}$$

$$T_n = \pi D B (p * 1 + p_k * Z) f_k$$

$$T_n = 3,14 * 0,1 * 4 * 10^{-3} (p + 0,13 * 3) * 0,1$$

$$T_n = 48 + 0,0001p$$

$$T_{ш} = \pi * d_{шт} * l_c * p_c * f_c$$

$$F_0 = F/2 = \frac{\pi D^2}{8} \frac{3,14 * 10000}{8} = 3925 \text{ мм}^2$$

$$F_0 = F_{шт} = \frac{\pi D_{шт}^2}{4} \Rightarrow d_{шт} = \sqrt{\frac{4 F_0}{\pi}} = 70 \text{ мм}$$

Округляем полученное значение до ближайшего из ряда нормальных чисел и получаем 70 мм.

$$l_c = 2d_{шт}$$

$$T_{шт} = 3,14 * 0,07 * 0,14 * 0,12 * 10^6 * 0,1 = 369 \text{ Н}$$

$$T_{и} = ma = \frac{G * S_{EO}}{g * t_p}$$

$$T_{и} = \frac{3000}{9,8} * \frac{4}{0,1 * 60} = 204 \text{ Н}$$

$$p_0 = \Delta p_{TP} + \sum_{i=1}^n \Delta p_c$$

$$\Delta p_{TP} = \lambda \frac{l_{TP} * v^2}{d_{шт}} * \rho$$

$$\lambda = \frac{75}{R_{\#}} = \frac{75}{2500} = 0,03$$

$$l_{TP_{сл}} = \frac{1}{2}$$

$$Q_H = \frac{\pi d_{TP}^2}{4} * v$$

$$d_{TP} = \sqrt{\frac{4 Q_H}{\pi * v}} = \sqrt{\frac{4 * 25 * 10^{-3}}{3,14 * 3 * 60}} = 1,13 * 10^{-2} \text{ м}$$

Из таблицы нормальных чисел выбираю $d_{TP} = 10 \text{ мм}$

$$\Delta p_{TP} = 0,03 \frac{2,5 * 3^2}{2 * 0,01} * 890 = 30 \text{ кПа} = 0,03 \text{ МПа}$$

$$\Delta p_c = 0,15 \text{ МПа}$$

$$\Sigma \Delta p_c = 5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ МПа}$$

$$p_0 = 0,03 + 0,75 \text{ МПа} = 0,78 \text{ МПа}$$

$$p \cdot 0,0078 \geq 1200 + 480 + 48 + 0,0001p + 369 + 204 + 0,78 \cdot 10^{-6} \cdot 0,003$$

$$p \geq 600 \text{ кПа} \Rightarrow 0,6 \text{ МПа}$$

$$p_{\text{УБП}} = 0,65 \text{ МПа}$$

$$p_{\text{УРП}} = 1,55 \text{ МПа}$$

$$p_{\text{УБО}} = 0,6 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{max}} = 1,55 \text{ МПа}$$

$$p_n = p_{\text{max}} + \Delta p_{\text{тр}} + \Sigma_{i=1}^n \Delta p$$

$$p_n = 1,55 \text{ МПа} + 0,03 \text{ МПа} + 0,15 \cdot 3 \text{ МПа} = 2,03 \text{ МПа}$$

Согласно ГОСТ выбираю номинальное давление гидроцилиндра равным 2,03 МПа.

Выводы:

Гидравлический привод является совокупностью агрегатов и устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин за счёт энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением. Он обладает как достоинствами, так и рядом недостатков.

Положительные качества гидропривода:

- максимальное отношение развиваемой силы или момента на исполнительном двигателе к массе или моменту инерции подвижных звеньев гидропривода, обеспечивающее высокие динамические характеристики при работе на переходных режимах при разгоне и торможении;

- высокая компактность исполнительных двигателей, что особенно актуально в многооперационных станках;
- возможность получения на исполнительных двигателях неограниченных сил и моментов;
- высокая жёсткость исполнительного двигателя;
- высокое быстродействие и, как следствие, высокая точность позиционирования;
- возможность частых включений и реверсирований;
- бесступенчатое регулирование скорости исполнительного двигателя в широком диапазоне;
- способность к самосмазыванию.

К отрицательным же качествам относится необходимость дополнительных затрат на фильтрацию рабочей жидкости, наличие утечек и необходимость их устранения и пониженный коэффициент полезного действия.

Гидропривод находит широкое применение в механизмах вспомогательных функций. Учитывая, что эти механизмы обеспечивают холостые ходы, от их привода требуются высокие скорости при больших ускорениях разгона и торможения. В качестве устройств, в которых используется гидропривод, можно отметить следующие механизмы: смены инструмента, транспортирования заготовок, фиксации положений рабочих органов станков, переключения диапазонов режимов работы, разгрузки неуравновешенных масс, цикловой автоматики. Особого внимания заслуживает применение гидропривода для перемещения

захватов промышленных роботов, а также его применение в станках с ЧПУ. Это гидростатические направляющие в тяжелонагруженных станках, гидростатические и гидродинамические опоры высокооборотных шпинделей, гидравлические зажимные устройства. Учитывая вышесказанное, можно констатировать, что гидропривод благодаря наличию определенных специфических свойств имеет определенную сферу применения и является перспективным средством автоматизации станков с ЧПУ.

**Профилирование стружечной канавки сверла методами
компьютерного моделирования**

БРИНК Александр Сергеевич

г. Москва, ГБОУ СОШ №315, 11 класс

Научный руководитель:

Бородкин Павел Александрович,

ассистент кафедры

«Инструментальная техника и

технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Постановка проблемы.

Существуют два подхода к моделированию сложных поверхностей. Истинность данных методов подвергнута сомнению. На примере процесса создания 3D модели сверла будет выявлена правильная методика получения сложной поверхности.

Цель.

Определение наиболее точного метода моделирования канавки сложной формы и выдача рекомендаций.

Актуальность.

В связи с растущим интересом к трёхмерному моделированию различных сложных инструментов, тел, деталей, очень важным становится его точность и соответствие реальным изделиям.

Важное примечание

В дальнейшем под первым методом моделирования сверла будет подразумеваться метод протягивания плоского контура по траектории, под вторым – метод обкатывания трехмерного объекта по траектории.

Общие сведения о сверлах

Сверло — режущий инструмент с вращательным движением резания и осевым движением подачи, предназначенный для выполнения отверстий в сплошном слое материала. Свёрла могут также применяться для рассверливания, то есть увеличения уже имеющихся, предварительно просверленных отверстий, и засверливания, то есть получения несквозных углублений.

Элементы спирального сверла (рис. 1).

Спиральное сверло представляет собой цилиндрический стержень, рабочая часть которого снабжена двумя винтовыми спиральными канавками, предназначенными для отвода стружки и образования режущих элементов.

Режущая часть имеет две главные режущие кромки, образованные пересечением передних винтовых поверхностей канавок, по которым сходит стружка, с задними поверхностями, а также поперечную режущую кромку (перемычку), образованную пересечением задних поверхностей.

Направляющая часть имеет две вспомогательные режущие кромки, образованные пересечением передних поверхностей с поверхностью ленточки (узкая полоска на цилиндрической

поверхности сверла, расположенная вдоль винтовой канавки и обеспечивающая направление сверла при резании, а также уменьшение трения боковой поверхности о стенки отверстия).

Хвостовик — для закрепления сверла на станке или в ручном инструменте.

Углы сверла (рис. 2).

Угол при вершине (двойной угол в плане) 2ϕ — угол между главными режущими кромками сверла. Его значение зависит от обрабатываемого материала.

Угол наклона винтовой канавки ω — угол между осью сверла и касательной к винтовой линии ленточки. Значение угла наклона зависит от обрабатываемого материала и диаметра сверла (чем меньше диаметр, тем меньше ω).

Передний угол γ определяется в плоскости, перпендикулярной режущей кромке, причём его значение меняется. Наибольшее значение он имеет у наружной поверхности сверла, наименьшее — у поперечной кромки.

Задний угол α определяется в плоскости, перпендикулярной режущей кромке. Его значения так же, как и переднего угла, изменяются. Только наибольшее значение он имеет у поперечной кромки, а наименьшее — у наружной поверхности сверла.

Угол наклона поперечной кромки ψ расположен между проекциями главной и поперечной режущих кромок на плоскость, перпендикулярную оси сверла. У стандартных свёрл $\psi=50\dots55^\circ$.

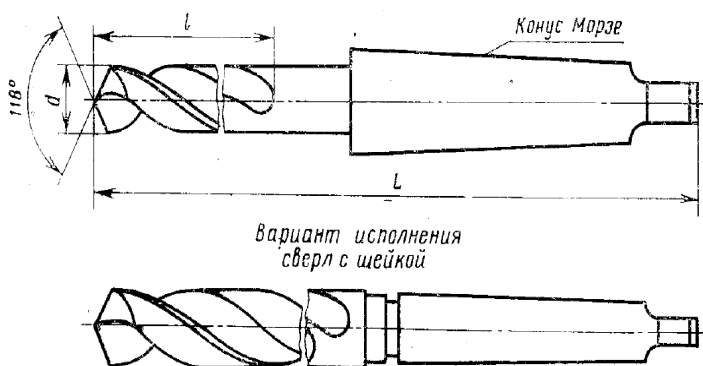


Рис. 1. Элементы спирального сверла.

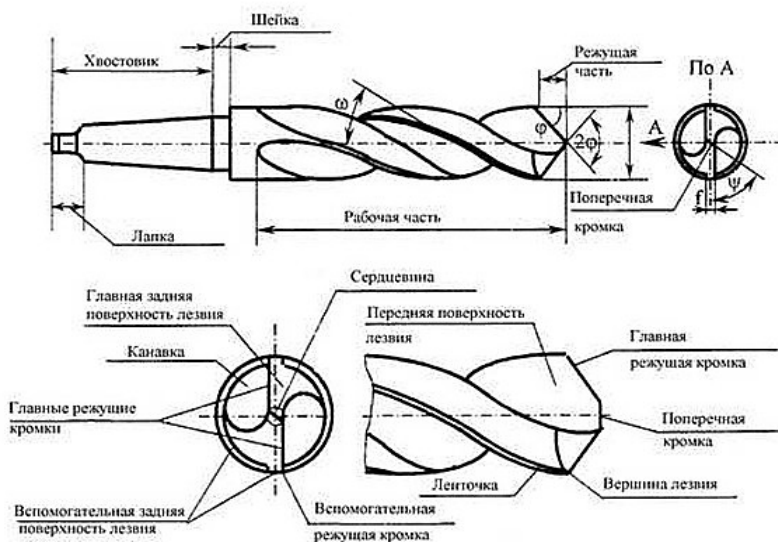


Рис. 2. Углы сверла.

Создание сверла 2301-3602 ГОСТ 10903-77 методами
компьютерного моделирования.

Первый метод.

Для создания сверла по первому методу создаётся заготовка сверла, состоящая из хвостовика и заготовки рабочей части (рис. 3).

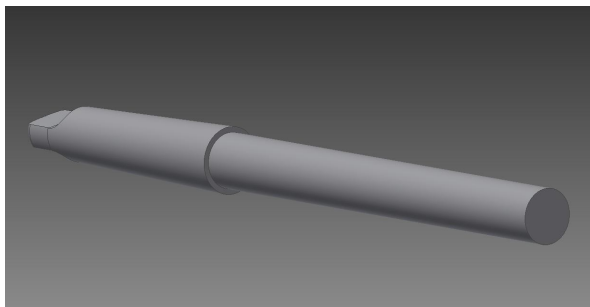


Рис. 3. Заготовка сверла.

Для создания стружечной винтовой канавки в 3D эскизе создается винтовая линия (команда «спираль»), в данном случае с длиной $l=114\text{мм}$ и шагом $P=81,62\text{мм}$.

Далее в плоскости, перпендикулярной винтовой линии и проходящей через точку пересечения винтовой линии с торцевой плоскостью сверла, строится плоскость. Далее в построенной плоскости создаётся эскиз, повторяющий форму фрезы (рис. 4, 5). Чертежи, отраженные на рис. 5 и 10, взяты из отраслевого стандарта ВНИИНМАША [6]. Далее созданный эскиз выдавливается при помощи команды сдвиг вдоль винтовой линии с вычитанием (рис. 6). В результате получается одна винтовая канавка. Далее при помощи кругового массива данная канавка копируется (рис. 7).

Далее формируется спинка зуба сверла. На торце рабочей части строится прямая под углом к одной из осей, изменение которого в дальнейшем позволит менять ширину и глубину получившейся ленточки (рис. 8). После построения точки пересечения данной прямой с кромкой торца повторно создаётся винтовая линия с длиной $l=114\text{ мм}$ и шагом $P=81,62\text{ мм}$. В плоскости, перпендикулярной винтовой линии и проходящей через построенную точку создаётся эскиз профиля фрезы для формирования спинки зуба сверла. Далее при помощи команды «сдвиг» профиль выдавливается с вычитанием (рис. 9, 10).

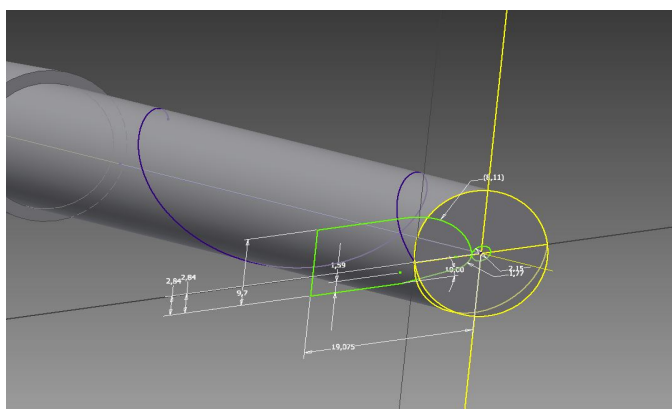


Рис. 4. Эскиз, повторяющий форму фрезы.

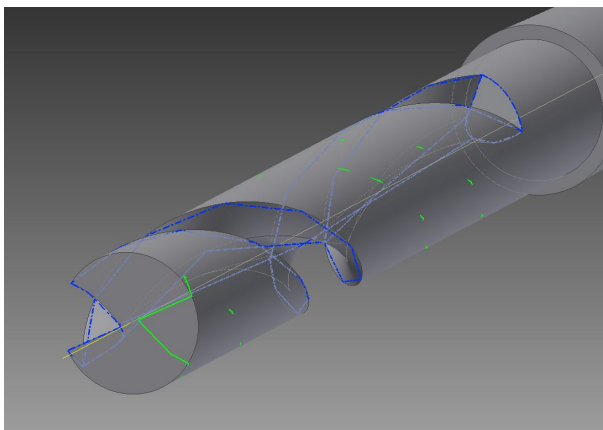


Рис. 7. Копирование канавки.

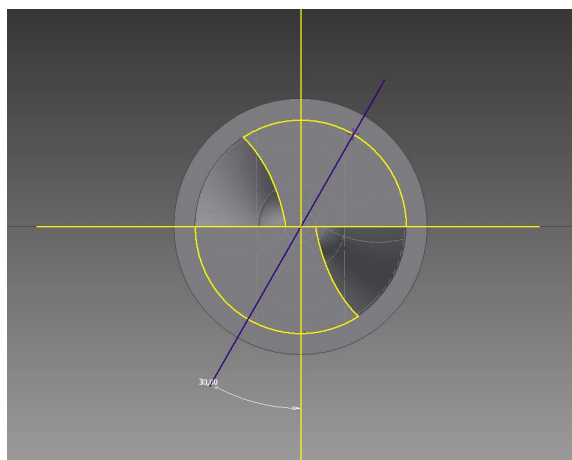


Рис. 8. Получение ленточки.

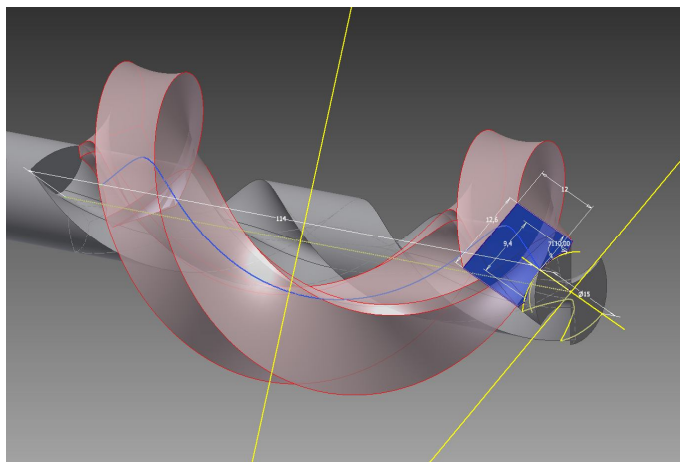


Рис. 9. Профиль выдавливается с вычитанием.

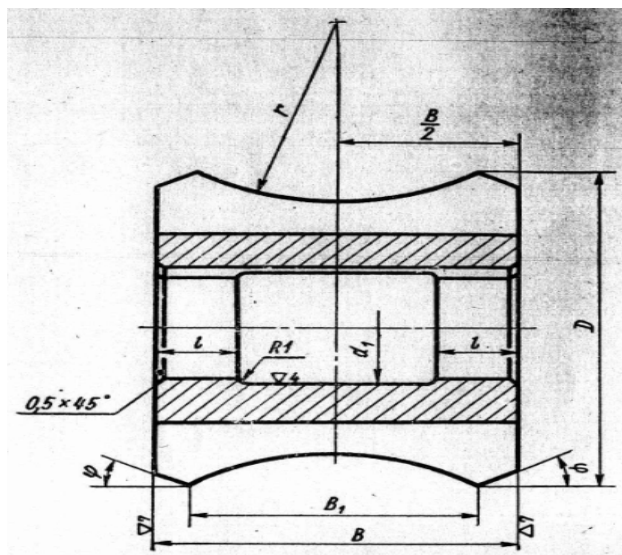


Рис. 10. Чертеж фрезы.

Следующей необходимой частью построения является формирование выходов канавки и спинки зуба. Для создания выхода спинки зуба в плоскости, перпендикулярной винтовой линии и проходящей через точку в конце данной линии, повторно создаётся эскиз профиля фрезы и при помощи команды «вращение» вокруг стороны профиля, удаленной от рабочего тела, с вычитанием протачивается требуемый выход (рис. 11).

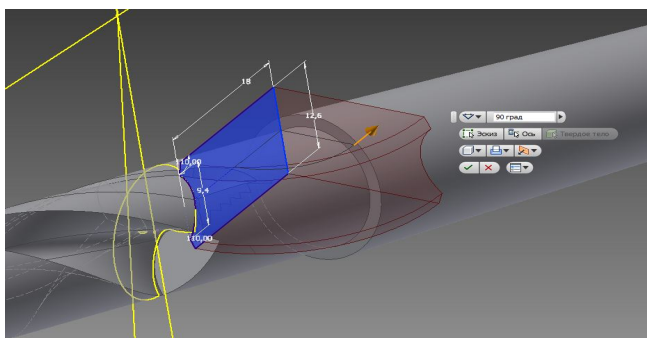


Рис. 11. Создание выхода спинки зуба.

Для создания выхода для стружечной канавки берется эскиз профиля фрезы и применяется команда «вращение» (рис. 12).

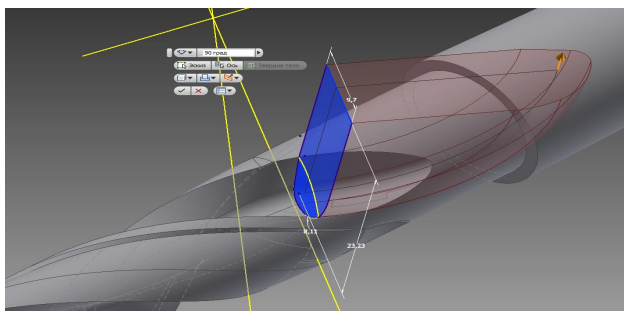


Рис. 12. Создание выхода для стружечной канавки.

Следующей важной частью проектирования сверла является коническая заточка. Сначала на торце рабочей части создаётся эскиз с прямой, образующей некоторый угол с проекцией одной из осей. Дальнейшее изменение данного угла приведет к изменению угла наклона перемычки, находящейся между режущими кромками сверла. Так же отмечается точка пересечения данной прямой с окружностью, которая определяет расстояние S_z (рис. 13, 14) от оси сверла до плоскости, в которой будет создаваться профиль для проектирования конической заточки.

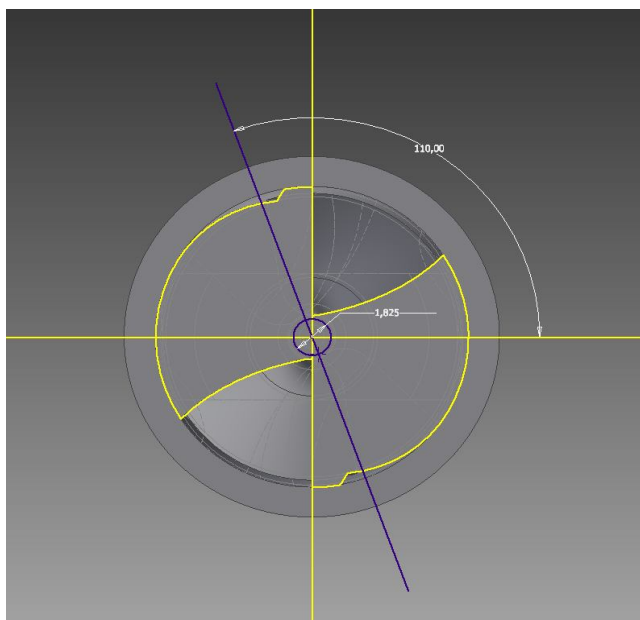


Рис. 13. Коническая заточка сверла.

В результате расчёта был получен угол, равный 110 градусам. Далее через получившуюся точку проводится плоскость, перпендикулярная построенной прямой. В ней строится эскиз по размерам, взятым из пособия Малевского Н. П. [1], формулы для расчёта которых также отражены на рис. 14.

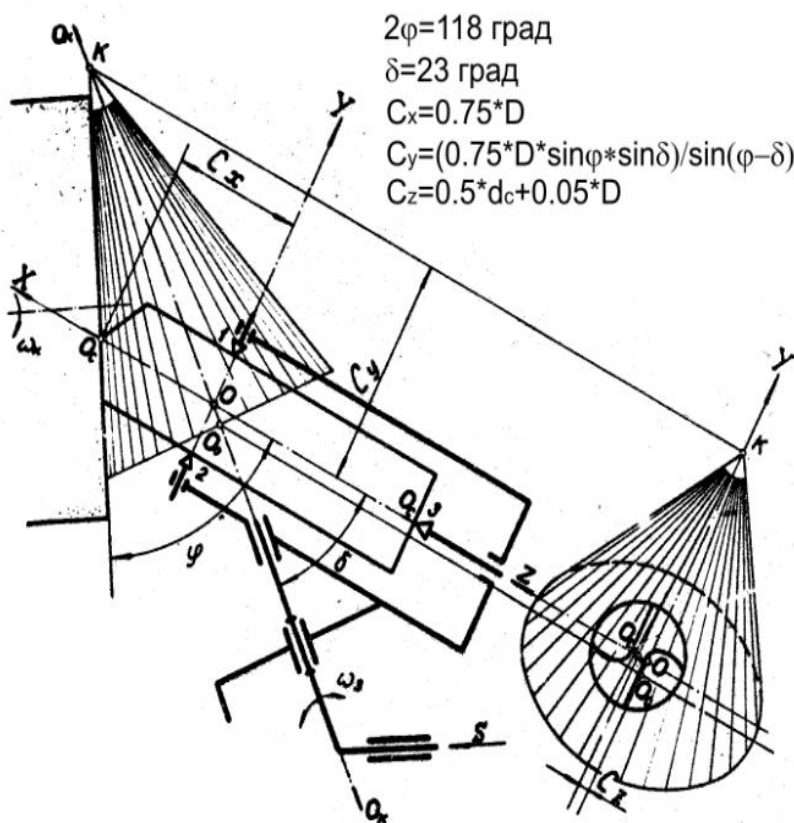


Рис. 14. Схема образования конической заточки сверла.

Далее этот эскиз вращается вокруг определенной оси, угол и пересечение которой с осью сверла зависят от стандартов и от номера сверла (рис. 15, 16). В результате получается частичная конусная заточка. При помощи кругового массива копируем элемент на оставшуюся часть головки сверла и получаем в результате готовое сверло.

Конечный результат – сверло 2301-3602 ГОСТ 10903-77 (рис. 17, 18).

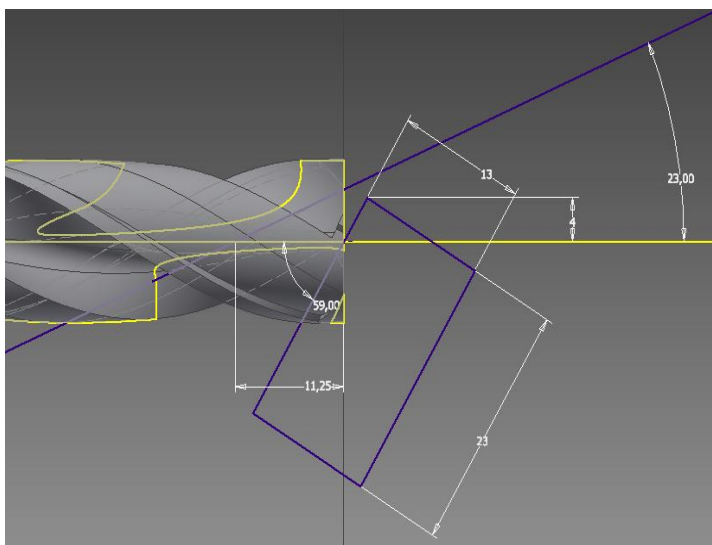


Рис. 15. Схема получения частичной конусной заточки.

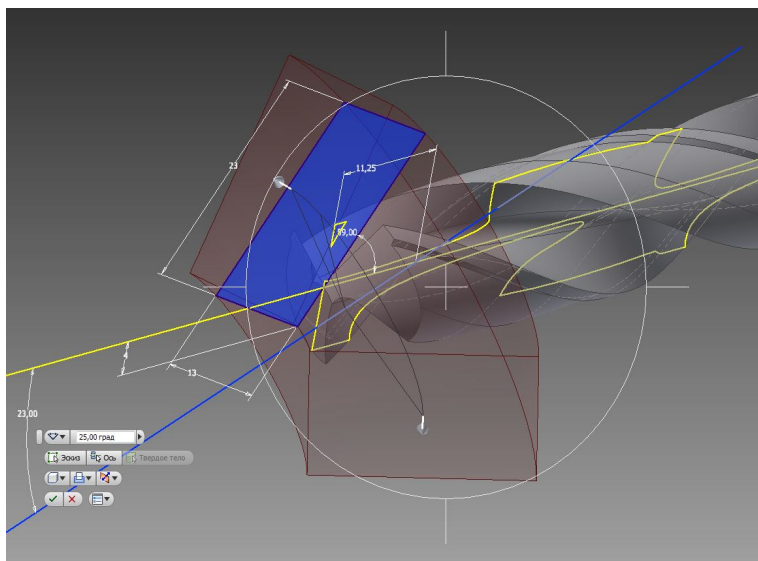


Рис. 16. Частичная конусная заточка.

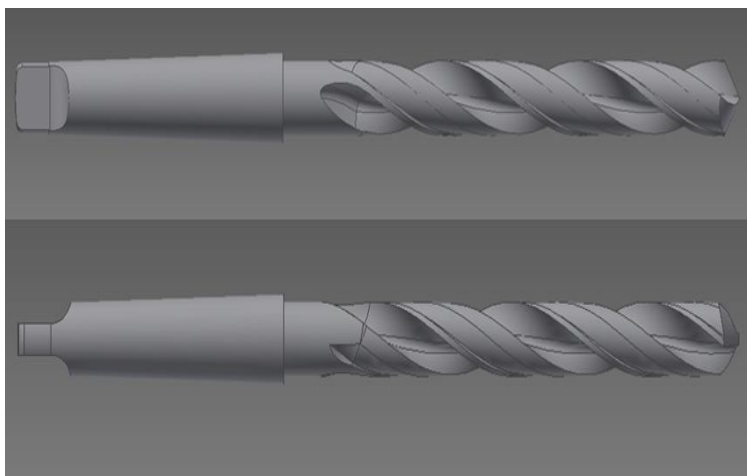


Рис. 17. Готовое сверло.

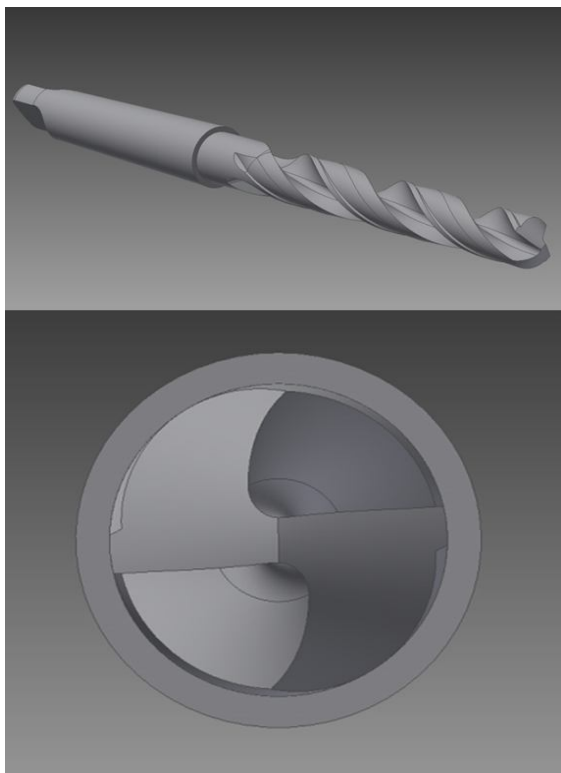


Рис. 18. Готовое сверло, вид на конусную заточку.

Основные принципы фрезерования винтовых канавок.

Второй метод создания сверла методами компьютерного моделирования основывается на реальном процессе обработки стружечной канавки.

Нарезание винтовых канавок является одной из сложных операций, выполняемых с помощью делительных головок. При фрезеровании винтовых канавок фреза получает быстрое вращательное движение, определяющее скорость резания.

Обрабатываемая заготовка имеет сложное движение – медленное вращательное движение вокруг своей оси и согласованное с ним поступательное движение вдоль оси. Винтовые канавки (правые и левые) можно фрезеровать концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке и дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке. Дисковыми фрезами можно фрезеровать винтовые канавки также на специально приспособленных вертикально-фрезерных и бесконсольно-фрезерных станках с применением поворотной головки. Этот метод целесообразно применять при фрезеровании винтовых канавок с большим углом подъема, а также канавок на крупногабаритных заготовках. Настраивая универсально-фрезерный станок и делительную головку для фрезерования винтовых канавок, следует:

- 1) определить величину угла и направление поворота стола станка;
- 2) определить число зубьев сменных зубчатых колес, обеспечивающее заданное вращение обрабатываемой заготовки.

Винтовая канавка получает правильный профиль лишь при условии, что плоскость вращения дисковой фрезы совпадает с направлением канавки. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы при фрезеровании винтовой канавки стол станка был повернут на угол наклона винтовой канавки, определяемый по формуле:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{H}, \quad (1)$$

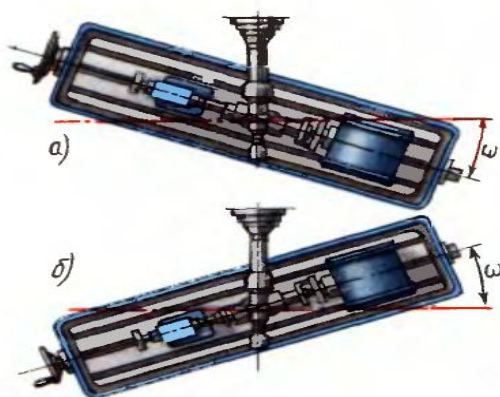
где ω – угол поворота стола, град;

D – диаметр заготовки, мм;

H – шаг винтовой канавки, мм.

В таком случае ось дисковой фрезы будет расположена перпендикулярно к развертке винтовой линии.

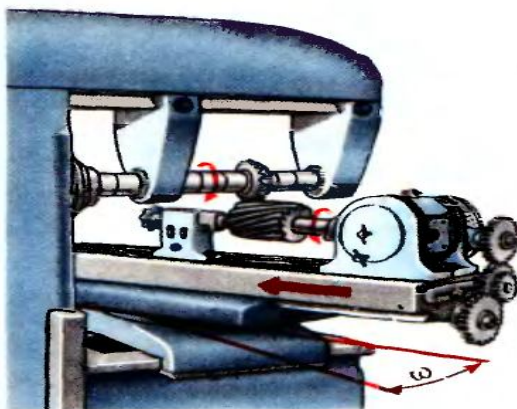
Угол ω поворота стола отсчитывают по градусным делениям на лимбе поворотной части стола. Более точного отсчета и не требуется, так как небольшое отклонение угла поворота стола приводит к очень незначительному изменению формы поверхности винтовой канавки. При фрезеровании винтовой канавки концевой фрезой стол станка должен быть установлен в обычном положении. При повороте стола необходимо учитывать направление винтовой канавки обрабатываемой заготовки. Для фрезерования левой винтовой канавки стол поворачивают по часовой стрелке, как показано на рис. 19,а. Для фрезерования правой винтовой канавки стол поворачивают против часовой стрелки (рис. 19,б). Представленный в тексте процесс отражен во втором методе (текст и иллюстрации взяты из учебного пособия «Фрезерное дело» Барбашова Ф. А.[2], рис. 19, рис. 20).



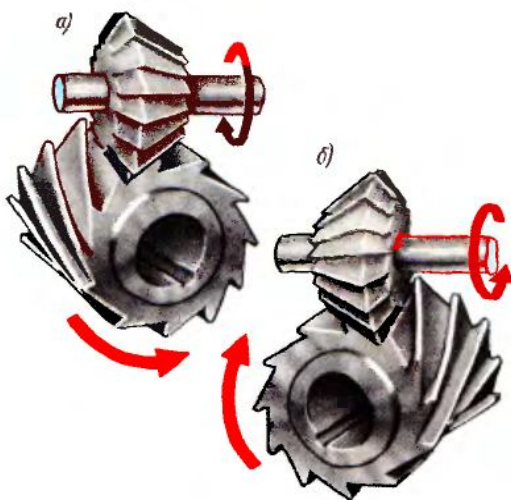
Направление поворота стола для фрезерования

Рис. 19. Поворот стола для фрезерования винтовой канавки.

Особенностью второго метода является то, что при создании винтовой стружечной канавки сверла используется не двухмерный профиль фрезы, а объемное тело, которое повторяет собой саму фрезу. Далее пойдет более подробное описание данного метода.



Установка заготовки при фрезеровании
винтовых канавок



Направление вращения фрезы и обрабаты-
ваемой заготовки при фрезеровании

Рис. 20. Установка и схема вращения при фрезеровании.

Второй метод начинается после создания винтовой линии и эскиза фрезы, как при первом методе. При помощи команды «разделение» от рабочей части отделяется часть такой минимальной ширины, чтобы находящийся под углом к главной оси эскиз фрезы полностью находился внутри данной части (рис. 21). Данное разделение необходимо, так как все последующие действия требуют очень высокой производительности. Для ускорения процесса достаточно получить небольшую часть сверла с винтовой стружечной канавкой, которую потом можно просто выдавить, что не требует много ресурсов и времени.

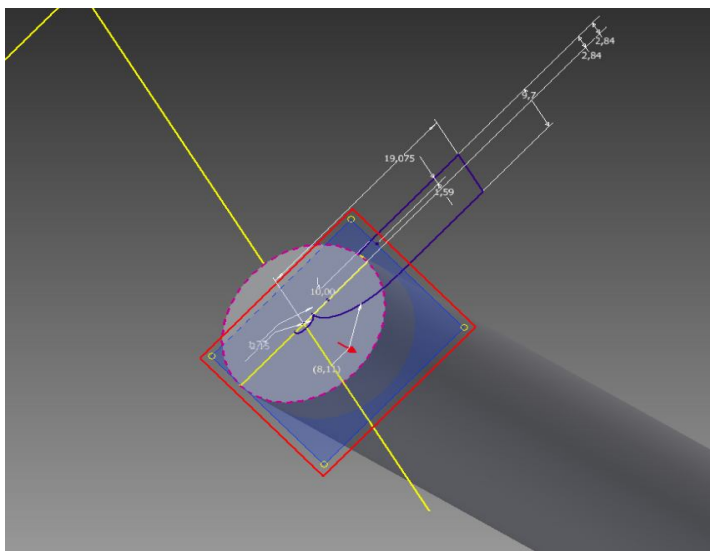


Рис. 21. Схема создания сверла.

Далее создаётся сама фреза при помощи команды «вращение», применяемой к эскизу фрезы (рис. 22). Для большего

приближения к реальному процессу можно произвести вращение на все 360 градусов, однако в данном случае для более быстрого процесса выдавливание производилось симметрично на угол 60 градусов, достаточный для полного покрытия поверхности заготовки.

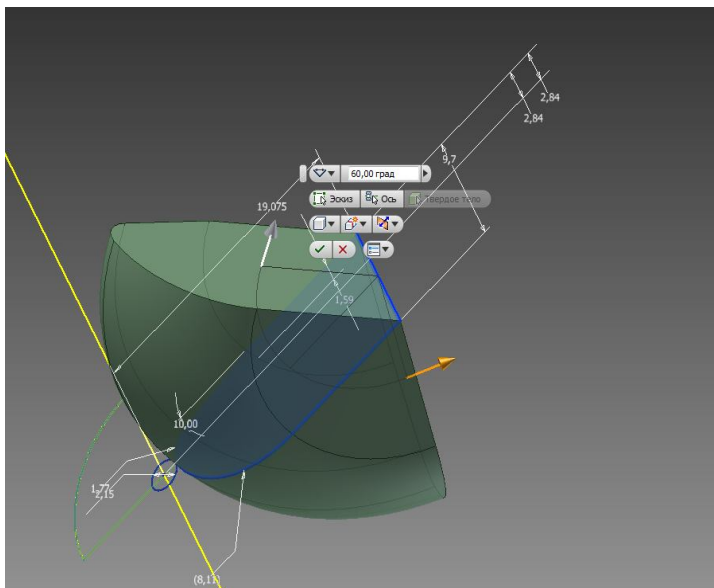


Рис. 22. Применение команды «вращение» к эскизу фрезы.

Для моделирования движения фрезы по поверхности заготовки сверла используется прямоугольный массив, элементами которого являются тела, идентичные фрезе, которые повторяются с некоторым шагом по винтовой линии с дополнительным вращением, которое имитирует «прокатку» фрезы по заготовке (рис. 23).

Этот шаг подбирается с точки зрения производительности, так как при достаточно малых значениях стружечная канавка изменяется слабо, поэтому этим можно пренебречь. Далее используется команда «комбинировать» для вычитания массива из заготовки сверла (рис. 24). После комбинирования и применения команды «круговой массив» получается часть сверла, которая является сечением его рабочей части (рис. 25).

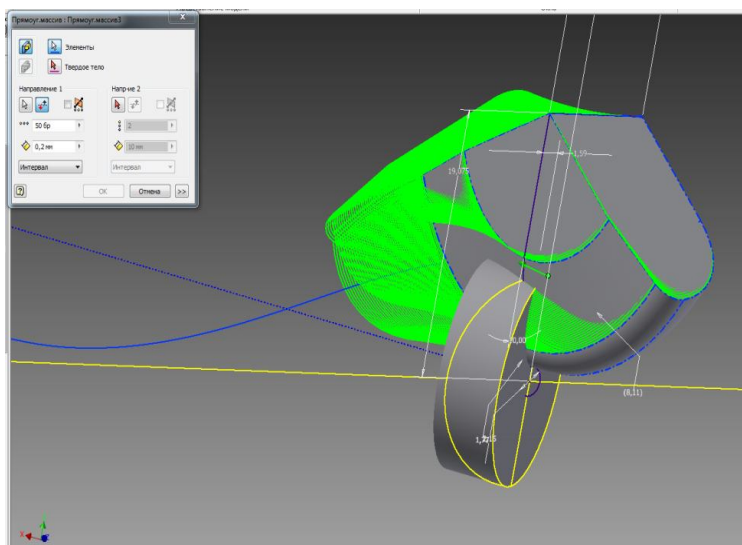


Рис. 23. Моделирование движения фрезы по поверхности заготовки сверла.

Далее для получения целой рабочей части сверла берется данное сечение и при помощи команды «сдвиг» выдавливается на необходимое расстояние (рис. 26).

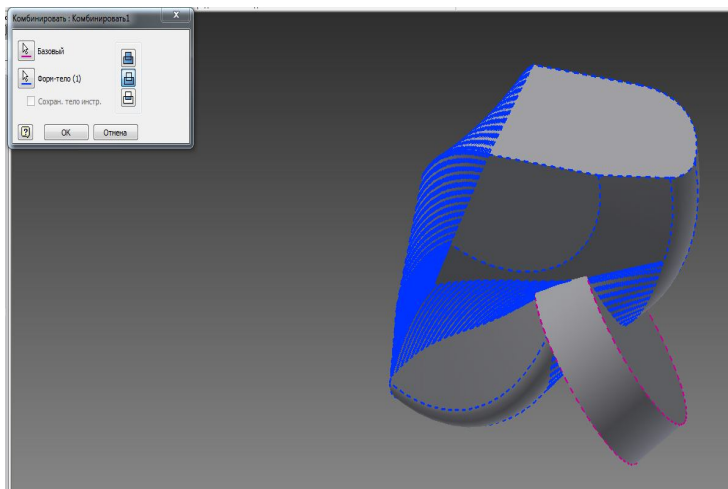


Рис. 24. Использование команды «комбинировать» для вычитания массива из заготовки сверла.

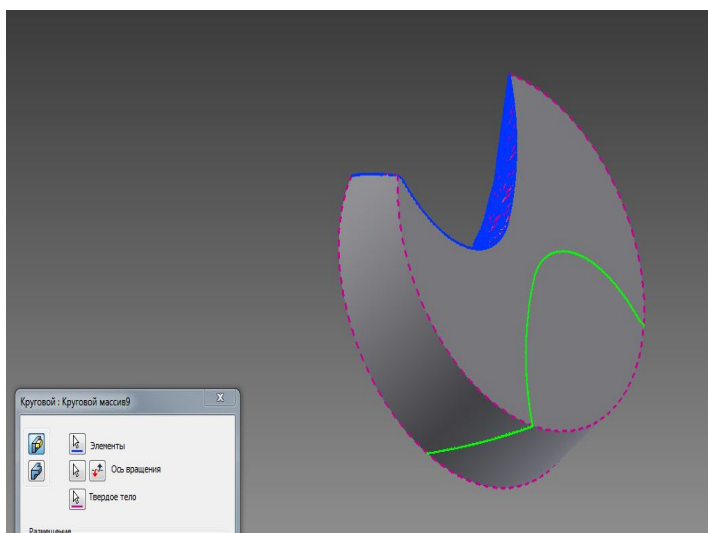


Рис. 25. Сечение рабочей части сверла.

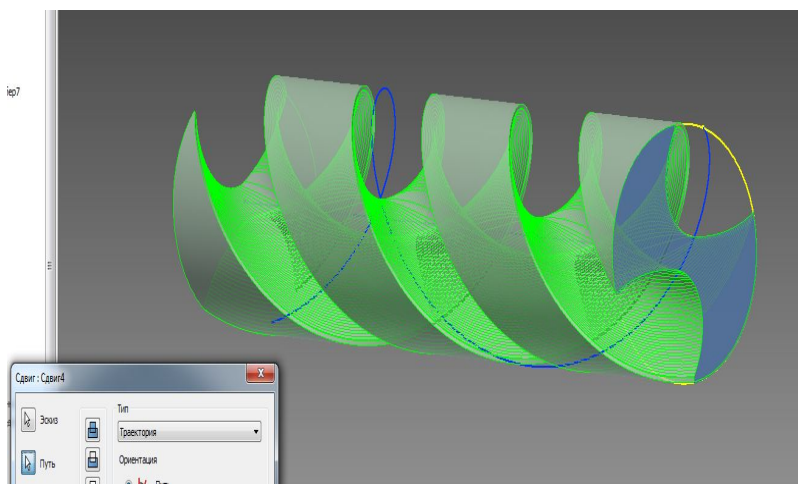


Рис. 26. Применение команды «сдвиг».

При помощи простейших команд «выдавливание» и «вращение» создается остальная часть сверла (рис. 27).

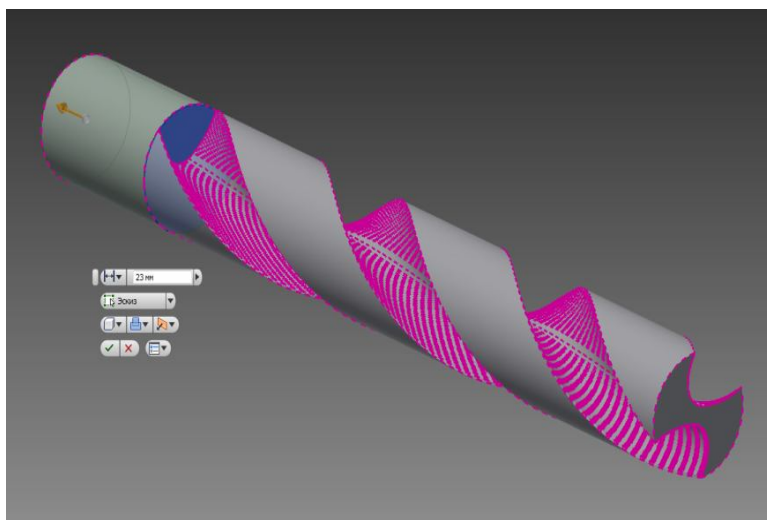


Рис. 27. Применение команд «выдавливание» и «вращение» для создания остальной части сверла.

Завершающий этап моделирования, включающий профилирование спинки зуба и коническую заточку, осуществляется тем же методом, который описан в первом способе. Результаты представлены на рис. 28 и 29.

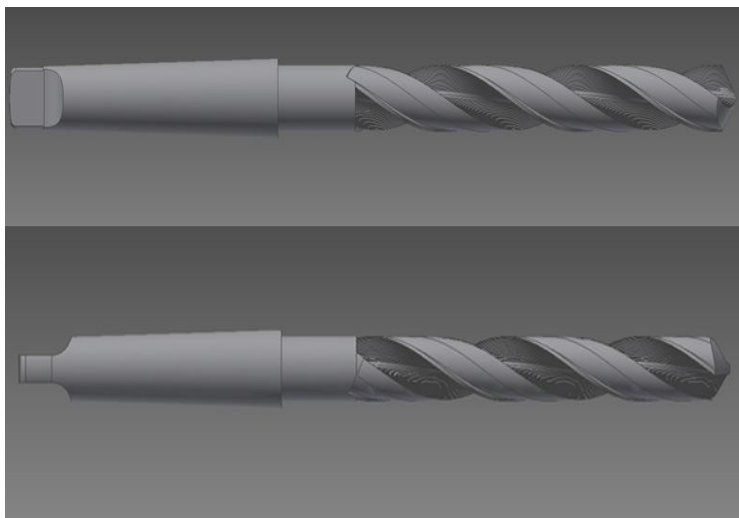


Рис. 28. Сверла, изготовленные по второму методу.

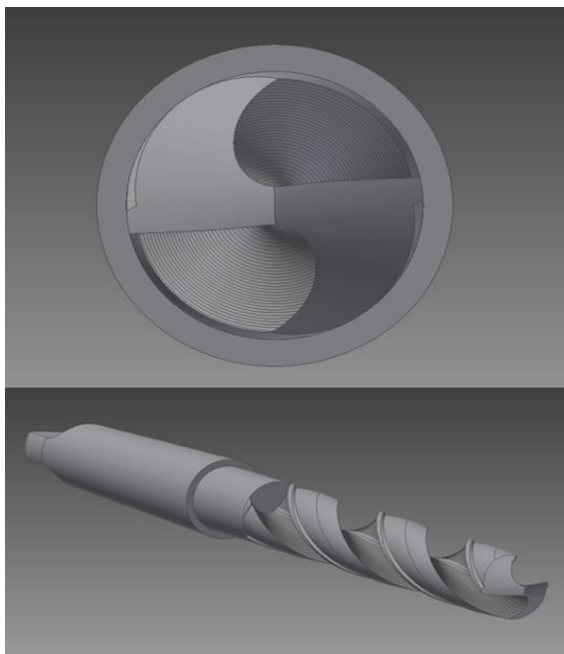


Рис. 29. Сверло, изготовленное по второму методу.

Реальное сверло.

Для сопоставления результатов данных способов была произведена съёмка реального сверла (рис 30, 31).

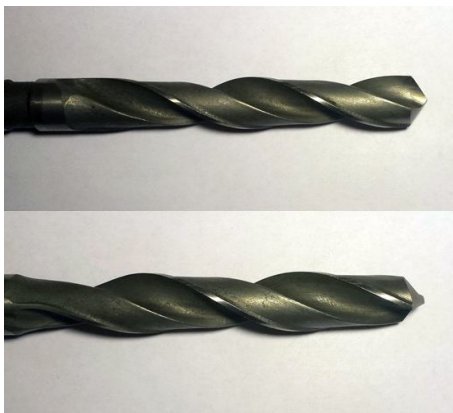


Рис. 30. Фото реального сверла.

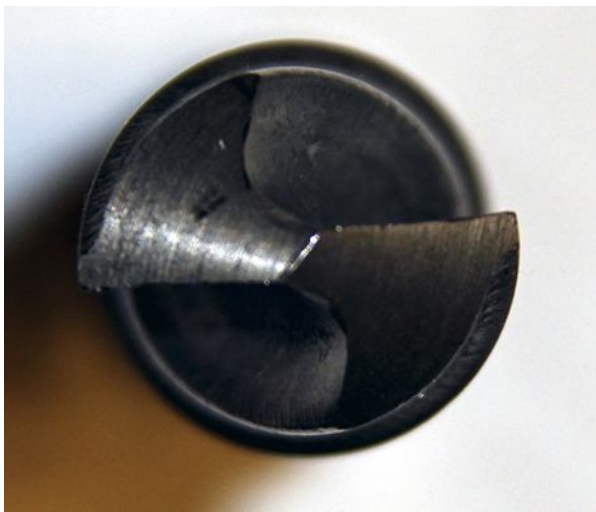


Рис. 31. Фото реального сверла, вид спереди.

Сравнение результатов.

При сравнении данных результатов особое внимание уделялось сечению и форме стружечной канавки свёрл.

Предварительное сравнение (рис. 32) показывает, что второй способ даёт в результате более глубокую стружечную канавку, больше похожую на реальную. Режущие кромки у обоих свёрл являются прямыми линиями. Первый способ даёт менее глубокую канавку.

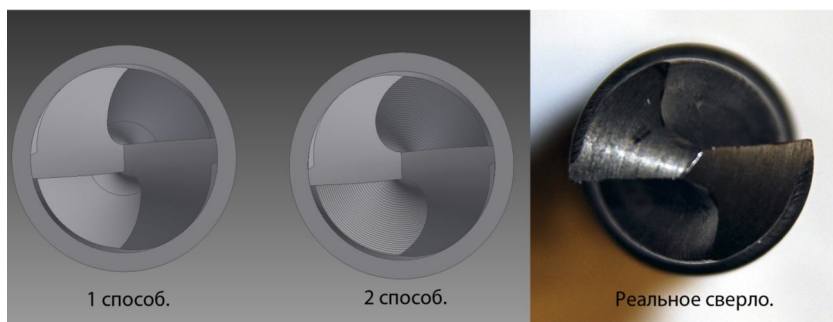


Рис. 32. Сверла, полученные разными методами и реальное сверло. Вид спереди.



Рис. 33. Сверла, полученные разными методами и реальное сверло.

Оказалось, что сравнить два метода напрямую невозможно, и вот почему.

Второй метод заведомо даёт более точный результат, поскольку данный метод имитирует движение фрезы (которая строится по размерам из отраслевого стандарта). Из-за особенности движения фрезы получившаяся стружечная канавка не совпадает по форме с профилем инструмента. Сечение канавки образуется множеством режущих кромок фрезы, которая изменяет свое положение в пространстве и, таким образом, подрезает профиль канавки.

На рисунке 34 представлено формирование профиля канавки при помощи фрезы. Из данного изображения становится понятно, что в действительности профиль фрезы отличен от получаемого профиля канавки.

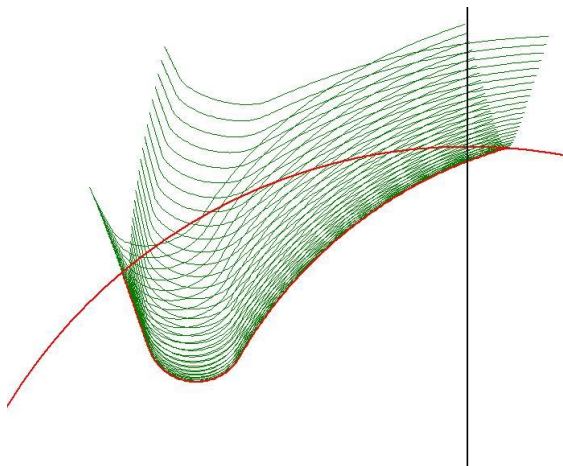


Рис. 34. Профиль канавки, сформированный при помощи фрезы.

Так как изначально для профилирования сверла были использованы размеры фрезы, и при этом ГОСТ4010-77 не регламентировал размеры канавки сверла, конечный результат получился истинным. При профилировании первым методом была допущена возможность получения правильного сечения канавки сверла. Это было сделано потому, что в качестве протягиваемого плоского контура был выбран профиль фрезы, который мог бы дать истинную форму. Но данный метод оказывается сильно упрощенным, так как не учитывает движение фрезы, как объемного тела, и сопутствующие ему явления (подрез канавки).

Таким образом, первый метод профилирования может использоваться, но только при наличии размеров не самой фрезы, а размеров стружечной канавки, которые, хочу заметить, не описывается ни в одном из источников. Благодаря наличию сечения, получившегося при втором методе, появляется возможность получить правильные размеры канавки, которые в дальнейшем можно использовать в первом методе.

Сравнение профиля, получившегося вторым методом, и профиля реального сверла показывает наличие некоторых расхождений, которые можно объяснить тем, что на предприятиях России не существует единых стандартов для фасонных фрез. В целом, реальные сверла похожи друг на друга и похожи на наше сверло, сделанное по одному из заводских чертежей. К сожалению, остается неизвестным, по каким стандартам было изготовлено

реальное сверло, изображенное на рисунке. Но, тем не менее, из сравнения становится понятным, что положение главной режущей кромки и передней поверхности, по которой сходит стружка, полностью совпадает друг с другом, глубина стружечной канавки так же совпадает, и лишь немного будут различаться спинки двух сверл.

Выводы:

1. В результате проведенной работы, становится возможным получение сечений стружечных канавок свёрл, на основе которых можно создать базу данных профилей и тем самым дополнить ГОСТ.
2. Применяя первый метод с использованием полученных профилей из базы данных можно ускорить процесс моделирования, при этом добиваясь более точных результатов.
3. Данные, полученные в работе, можно использовать на уроках по моделированию фасонных инструментов, освещая проблемы профилирования сложных поверхностей.
4. Данную методику можно использовать при проектировании любых фасонных инструментов.

Особенность – воспользоваться вторым методом позволяет лишь САПР Autodesk Inventor, при этом широко распространенные САПРы Catia V5, SolidWorks, Компас, не имеют возможности это

сделать. Поэтому получить подобные результаты, получить базу данных имеет возможность только пользователь, работающий в среде Autodesk Inventor.

Литература:

1. Малевский Н. П., Терещенко Л.М. Расчет и конструирование затыллованных фрез для обработки винтовых канавок спиральных сверл. — М.: изд. МВТУ, 1974. — 52 с.
2. Барбашов Ф. А. Фрезерное дело. Учебное пособие для учебных заведений профтехобразования. М.: изд. Высш. школа, 1973. -280 с.
3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. — М.: Машиностроение, 1975.—344 с.
4. Концевич В. Г. Твердотельное моделирование в Autodesk Inventor. — М.: ДиаСофтЮП, 2008. — 672 с.
5. ГОСТ 10903-77 и ГОСТ 4010-77. Свёрла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Основные размеры. — 1982.
6. Фрезы из отраслевого стандарта ВНИИНМАША (приложение, рис. 5 и 10).

Исследование и проектирование энергоэффективных адгезивных технологий сборки высокопрочных металлополимерных соединений при условии сдвига деформированной поверхности образцов

*КОРОЛЕВ Дмитрий Александрович
г. Москва, Гимназия №1748 «Вертикаль»,
11 класс*

*Научный руководитель:
Игнатов Алексей Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры
«Технологии машиностроения»
МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

1. Теоретическая база исследования

1.1. Объект исследования

Технологический процесс сборки клеевого соединения внахлест, с нагрузкой на сдвиг, при условии вдавливания твёрдых тел в поверхность образца (рис. 1).

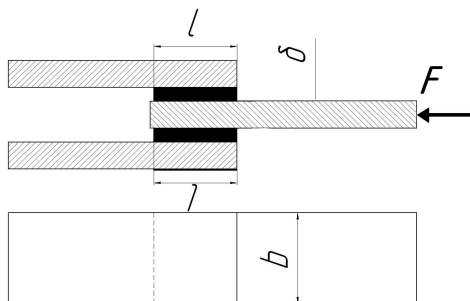


Рис. 1. Схема клеевого соединения.

1.2. Цель работы

Повысить качество и прочностные характеристики плоского клеевого соединения при действии нагрузки на сдвиг за счёт отработки конструкции на технологичность.

1.3. Актуальность

На сегодняшний день машиностроение является одной из самых развивающихся отраслей. Развитие машиностроения требует новых открытий и инноваций. Скрепление деталей с помощью клея является одной из них.

Примеры применения клеев в машиностроении.

Клеи в машиностроении применяют для различных вспомогательных операций для крепления:

- отливок на металлообрабатывающих станках;
- деталей, полученных методом порошковой металлургии;
- шлифовальных дисков на оправки.

Клеи применяют для вклеивания твёрдосплавных вставок при изготовлении режущего инструмента; при склеивании режущих инструментов из твёрдых сплавов и керамических материалов с металлической оправками и в других соединениях, к которым предъявляются требования высокой прочности.

Клеевые соединения имеют ряд преимуществ по сравнению с заклёпочными, сварными и болтовыми соединениями. При создании клеевого соединения и использовании его в

машиностроении затраты электроэнергии, материальные затраты значительно уменьшаться. Данный вид соединений не требует длительного обучения специалистов, соответственно, сокращаются временные и материальные затраты. В результате применения таких соединений затраты электроэнергии уменьшаются вместе с материальными, что является преимуществом по сравнению с другими соединениями – сваркой, пайкой.

Применение клея в металлических конструкциях позволяет соединять разнородные металлы разной толщины и исключает необходимость сверления отверстий, изготовления болтов и заклёпок. Процесс соединения становится более простым и дешёвым, а конструкция становится лёгкой.

В клеевом шве нагрузка распределяется равномерно по всей площади соединения, в то время как в заклёпочных и болтовых соединениях имеет место концентрация напряжений в местах болтов и заклёпок.

Важным достоинством соединений на основе синтетических клеев является:

1. Устойчивость к вибрационным нагрузкам (с амплитудой до десятков микрон в ультразвуковом диапазоне частот);
2. Малая масса;
3. Энергоэффективность;
4. Простота получения неразъёмного соединения;
5. Низкая стоимость работ по склеиванию;

6. Возможность получения неразъёмного соединения разнородных материалов любой толщины;
7. Герметичность и коррозионная стойкость соединения.

По сравнению с другими методами получения неразъёмных соединений, клёпкой и сваркой, склеивание имеет ряд очевидных преимуществ:

1. Равномерное распределение напряжений по площади соединения;
2. Возможность склеивать разнородные материалы и материалы, которые нельзя соединить другими способами, например, металл и стекло;
3. Отсутствие больших температурных колебаний;
4. Отсутствие коробления получаемых деталей.

Большинство клеевых соединений имеют меньшую прочность при силовых нагрузках, чем сварные, что ограничивает их применение в высоконагруженных соединениях, несмотря на их энергоэффективность и небольшую себестоимость.

1.4. Гипотеза.

Существенным недостатком клеевых соединений является относительно низкая прочность в сравнении со сваркой и пайкой, используемых в машиностроении. Поэтому было сделано предположение, что внедрение твёрдых тел в клеевое соединение значительно увеличит прочность такого соединения, потому, что передача нагрузки будет производиться через поверхность

металлических деталей. Следовательно, нагрузка на полимерный слой уменьшится.

1.5. Задачи.

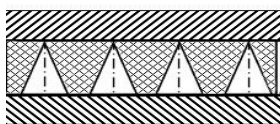
- 1.5.1. Выбор формы внедряемого тела в клеевое соединение;
- 1.5.2. Разработка процесса сборки смоделированного соединения;
- 1.5.3. Проверка влияния внедрённых предметов на сдвиг при условии вдавливания в поверхность.

1.6. Решение задачи №1.

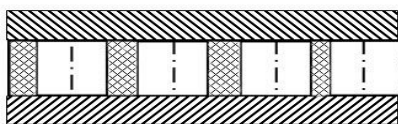
Требования к внедряемым телам:

- Равные напряжения на обе пластины;
- Минимальная площадь контакта с поверхностью;
- Возможность обеспечения размерной периодичности при установке в клеевом шве;
- Тело должно быть выполнено с достаточной точностью, обеспечивающей постоянный контакт с поверхностью элемента.

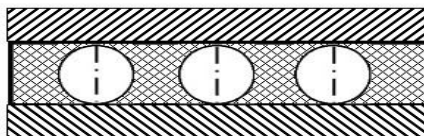
Примеры внедряемых тел представлены на рис. 1.



Конусная форма



Цилиндрическая форма



Сферическая форма

Рис.1. Внедряемое тело различной формы.

1.7. Теоретическое исследование эксплуатационных параметров.

Был произведён теоретический расчёт предела прочности соединения при различном количестве добавленных шариков (рис. 2), при различной глубине вдавливания (рис. 3). Для расчёта использовались наименьшие граничные показатели прочностных характеристик эпоксидных композиций.

В расчёте учитывалось расстояние между шариками, которое зависит от их количества, глубина вдавливания шариков, площадь склеивания.

Для теоретических расчётов использовались следующие формулы:

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

$$F = \sigma_{\text{клея}} * 2 * (\text{Собр} - N * (S_{\text{шара}} - 2 * S_{\text{сегмента}})) + \sigma_{\text{стали}} * S_{\text{сегмента}} * N$$

$$S = R^2 \arccos(1 - h/R) - (R - h) \sqrt{2Rh - h^2}.$$

где σ – напряжение, МПа;

F – сила, с которой давят на образец, Н;

h – глубина вдавливания шариков;

R – радиус шариков;

S – площадь сегмента.

$$N=6,$$

$$S_{III} = 3.14 \cdot 10^{-6},$$

$$h_1 = 1 \cdot 10^{-4}, h_2 = 2 \cdot 10^{-4}, h_3 = 3 \cdot 10^{-4}, h_4 = 4 \cdot 10^{-4}, h_5 = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$h = 5 \cdot 10^{-4},$$

$$S_{III} = 3.14 \cdot 10^{-6} (\text{м}^2)$$

$$N_1 = 6, N_2 = 8, N_3 = 16, N_4 = 48, N_5 = 74$$

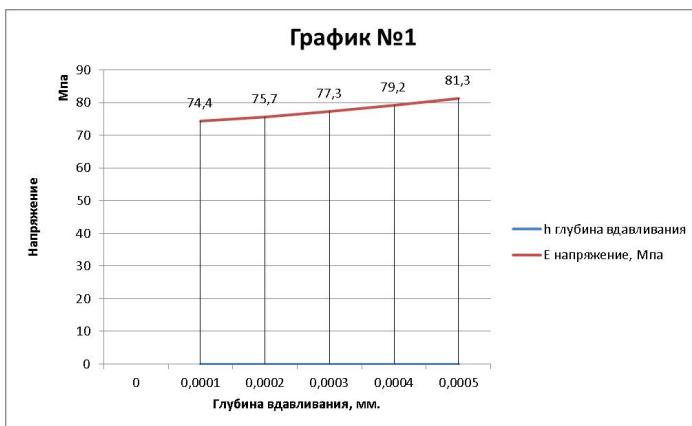


Рис. 2. График зависимости напряжённости (Е, МПа) от глубины вдавливания (h, мм) шариков при одинаковом количестве шариков.

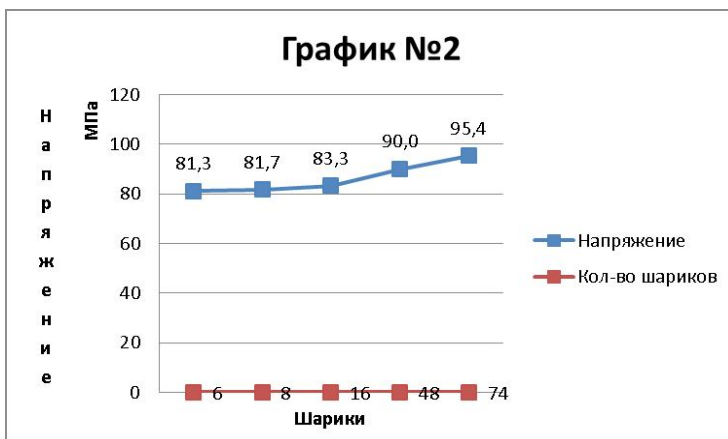


Рис. 3. График зависимости напряжённости (Е, МПа) от количества шариков (N) при одинаковой глубине вдавливания.

2. Экспериментальное исследование.

2.1. Технологический процесс.

2.1.1. Подготовка поверхностей под склеивание.

Основная цель этого этапа — достичь максимально возможной смачиваемости поверхности клеем для наилучшего контакта между клеем и поверхностью. С увеличением площади контакта связано увеличение прочностных характеристик соединения.

Влияние шероховатости на качество клеевого соединения играет значительную роль в дальнейшем процессе. При выполнении клеевых соединений шероховатость различается на два типа — это шероховатость типа «пики-впадины» и шероховатость типа «лунный пейзаж». Наиболее популярной является шероховатость типа «пики-впадины» ввиду своей низкой себестоимости и

доступности. К такому виду шероховатости приводят практически все виды механической обработки, кроме пескоструйной и дробеструйной обработки. Шероховатость типа «лунный пейзаж» получается в результате пескоструйной и дробеструйной обработки, или с помощью травления. Шероховатость измерялась с помощью профилографа (рис. 4). Было получено около 40 профилограмм микрорельефа поверхности. Некоторые, из которых представлены на рис. 5-8.

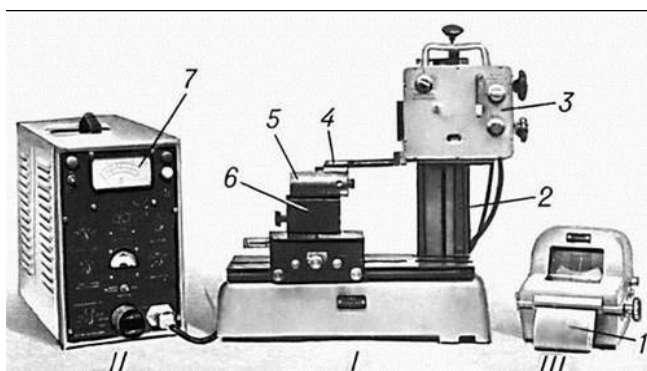


Рис. 4. Профилограф

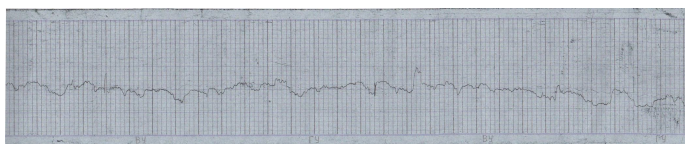


Рис. 5. Профилограмма микрорельефа поверхности образца №8

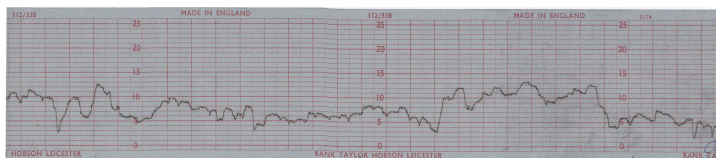


Рис. 6. Профилограмма микрорельефа поверхности образца №6

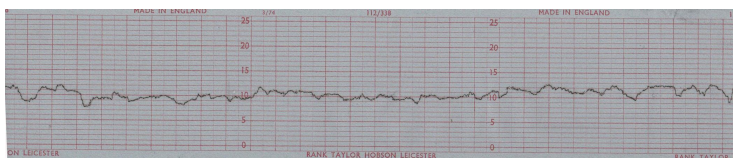


Рис. 7. Профилграмма микрорельефа поверхности образца №15

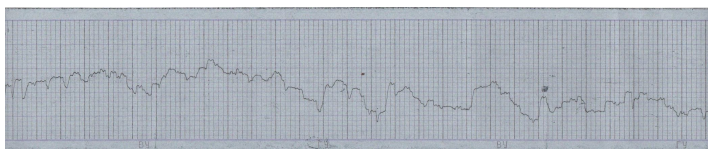


Рис. 8. Профилграмма микрорельефа поверхности образца №10

Результаты измерения шероховатости представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения шероховатости.

№	1,Rz,mkm	2,Rz,mkm
1	12	22.6
2	12.64	22.76
3	35.44	13.48
4	20.68	10.72
5	26.2	10.08
6	9.64	32.36
7	20.8	24.8
8	20.92	8.88
9	19.6	15.4
10	11.8	26.8
11	24.8	7.2
12	23.3	8.6
13	28.6	12

14	17.2	22.8
15	10.6	37
16	11.2	23.8
17	23.8	16.6
18	6.6	20.6
19	28.2	13.2
20	10.8	26

Механическая подготовка поверхности должна быть проведена не менее чем за 24 часа до склеивания. После механической обработки поверхность металла достаточно активна, что положительно сказывается на прочностных характеристиках клеевого соединения, но со временем на воздухе у металлов образуется окисная плёнка, которая снижает активность обработанной поверхности.

Для обезжиривания применяют органические растворители (ацетон, бензин, керосин, уайт-спирит и др.). Этот процесс увеличивает прочностные характеристики клея. В результате подготовки поверхности клей должен заполнить все микронеровности, создавая при этом положительное капиллярное давление. Микронеровности поверхности не должны быть очень малыми, так как клей плохо задерживается на такой поверхности, но они не должны быть большими, так как выступающие вершины и резкие впадины на поверхности являются концентраторами

напряжений, а развитие трещины начинается в большинстве случаев от пиков микронеровностей.

В этом проекте использовалась как механическая, так и химическая обработка.

Механическая обработка производилась шлифованием на специальном плоскошлифовальном станке (рис. 9) с помощью металлической щётки. При обработке поверхности была получена шероховатость типа «пики-впадины» несмотря на то, что при шероховатости типа «лунный пейзаж» прочность клеевого соединения возрастает, увеличивается себестоимость такой обработки, в данном проекте достижение такой шероховатости невозможно из-за отсутствия необходимых материалов.

Химическая обработка производилась обезжириванием с помощью ацетона.



Рис. 9. Плоскошлифовальный станок.

2.1.2. Выбор и приготовление клея.

Выбор и приготовление клея - основное условие достижения наибольшей прочности и долговечности соединения. При выборе клея необходимо учитывать его физико-механические характеристики. Клей по своим характеристикам в отверждённом состоянии должен приближаться к склеиваемым материалам. При оценке клея принято брать модуль упругости клея и коэффициент термического расширения.

При выборе клея нужно учитывать:

- условия эксплуатации соединения (вид нагрузки, рабочая температура, активность рабочей среды и т.д.);
- требуемые свойства соединения (теплостойкость, химическая стойкость, деформационные характеристики и др.);
- совместимость склеиваемых материалов;
- способ получения соединения (температура отверждения клея, давление при отверждении, открытая или закрытая выдержка и т.п.);
- требования к клею (цвет, вязкость, прочность, токсичность, электропроводимость, пластичность, теплостойкость, усадка и др.).

В результате теоретического анализа была выбрана эпоксидная смола ЭД-20. Усадка эпоксидного клея при отвердевании невелика, что делает особенно целесообразным его применение в тех случаях, когда точная пригонка соединяемых поверхностей деталей невозможна или экономически невыгодна.

Характеристики эпоксидной смолы в сравнении с акриловой смолой представлены в таблице 2. Использовались пропорции, рекомендованные заводом производителем для данных доз нанесения.

2.1.3. Нанесение клея.

Перед нанесением клея его тщательно размешивают. С помощью визуального контакта определяется готовность клея к нанесению на деталь. Клей должен быть максимально прозрачным.

Таблица 2. Характеристики акриловой и эпоксидной смолы.

Показатель	Акриловая смола Технакрил	Эпоксидная смола ЭД-20
Внешний вид	Слегка желтоватая жидкость. Легко окрашивается	Медоподобная желтоватая жидкость. Легко окрашивается
Прочность при растяжении, МПа	85	40-90
Прочность при изгибе, МПа	130-140	80-140
Прочность при сжатии, МПа	120-130	100-200
Температура полимеризации, °С	От 15 до 65	От 20
Среднее рекомендуемое соотношение отвердитель: смола	2,5-3% отвердителя к смоле	10:1
Время полимеризации	30-50 минут	1.5 часа
Время полной полимеризации	24 часа	24 часа

Теплостойкость, °С	120	55-170
Вязкость при 20 °С, мПа*с	от 300 до 2500	4000

При нанесении клея выдерживают сплошность и толщину клеевого слоя, равномерность нанесения по всей траектории, так как от этого зависит прочность соединения. Основными критериями при нанесении клея считают толщину клеевого слоя и площадь склеивания с деталью.

Для того чтобы добиться наиболее прочного соединения, необходимо учитывать все критерии. Для обеспечения наибольшей площади склеивания применялась опалубка из пластилина. Благодаря свойствам пластилина клей не вытекал за пределы опалубки, тем самым обеспечивая наибольшую площадь склеивания в данных условиях.

2.1.4. Монтаж соединения.

Для более точного распределения шариков и сохранения их положения после приложенной нагрузки использовался сепаратор в виде специальной сетки. Сетка, закреплённая на стенках из пластилина, частично заливалась клеем, после чего в сетку укладывались стальные шарики (ШХ-15). Стальные шарики (ШХ-15) были расположены квадратами для обеспечения наименьшего прогиба, в результате большого прогиба соединение могло стать менее прочным. Клей добавлялся до полного погружения шариков. После этого под расчётным давлением на образец с помощью пресса шарики (ШХ-15) вдавливаются в металлические образцы (сталь-45).

Для дальнейшего монтажа соединения образец фиксируется с помощью металлических пластин без дополнительной нагрузки, которая может привести к изменению прочности клеевого соединения.

2.1.5. Отверждение клея.

Отверждение клея происходит по разным режимам, что определяется его химической основой. На процесс отверждения клея влияет множество внешних факторов. Отрицательное влияние оказывают перепады температуры, повышенная влажность, атмосферная коррозия, завышенная скорость нагружения. Во время отверждения клей очень чувствителен к действию химических реагентов. В результате отрицательного воздействия перечисленных факторов в клеевом шве образуются неравнопрочные зоны, напряжения распределяются неравномерно, что приводит к преждевременному разрушению склеенного узла.

Учитывая все требования для прочного соединения, полимеризация клея происходила под воздействием комнатной температуры 20-25°C, при нормальном давлении без воздействия внешних факторов в течение 48 часов.

2.1.6. Контроль качества склеивания.

Качество склеивания определяется визуальным и тактильным контактом. Клей не должен вытекать.

2.2. Постановка эксперимента.

Были изготовлены образцы в точном соответствии с разработанным технологическим процессом. Один из них представлен на рис.10.

Эксперимент проводился на испытательной машине ИР5143-200, представленной на рис. 11.

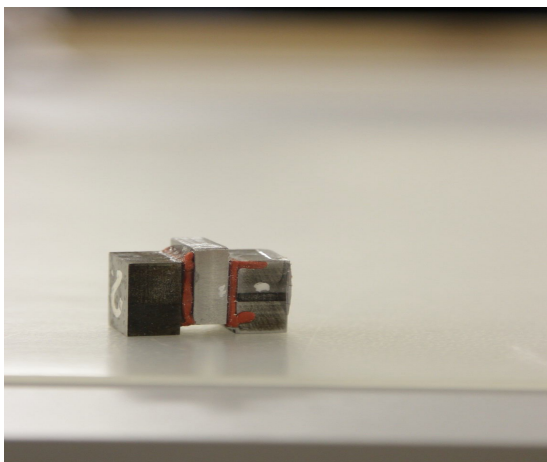


Рис. 10. Образец для эксперимента.



Рис. 11. Испытательная машина IP5143-200.

В ходе эксперимента было получено значение предела прочности клеевого соединения для:

1. разного количества шариков,
2. разной глубины вдавливания.

Значение предела прочности было определено по графикам (рис. 12). По графику наблюдается несколько точек перегиба:

- В точке №1 обозначенной синим цветом, начинается упругая деформация полимера;
- В точке №2 обозначенной красным цветом заканчивается упругая деформация полимера и начинается пластическая деформация металла;

- В точке №3 обозначенной зелёным цветом происходит разрушение конструкции, это точка максимума (предела прочности).

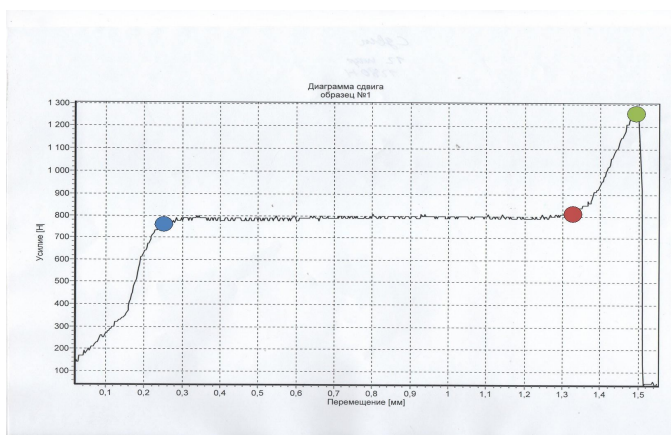


Рис. 12. График зависимости усилия (Н) от перемещения (мм) при 12 шариках.

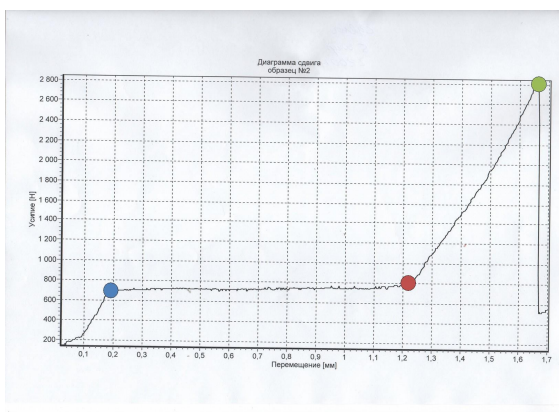


Рис. 13. График зависимости усилия (Н) от перемещения (мм) при 5 шариках.

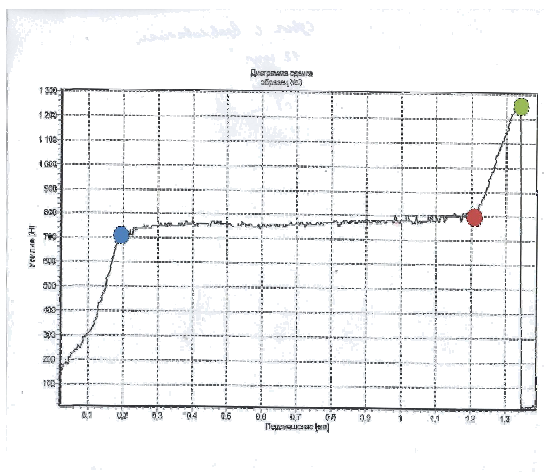


Рис. 14. График зависимости усилия (Н) от перемещения (мм) при 12 шариках, глубине вдавливания 0.4 мм.

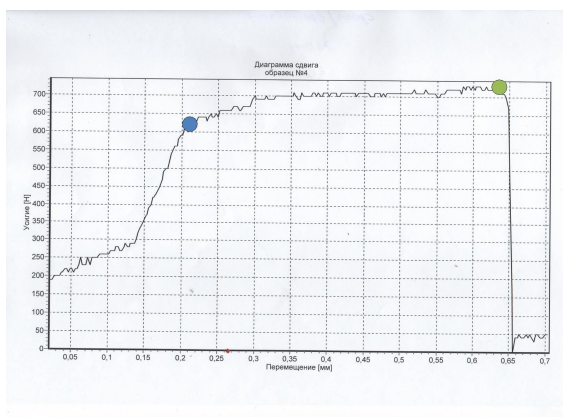


Рис. 15. График зависимости усилия (Н) от перемещения (мм) при 5 шариках, глубине вдавливания 0.6 мм.

Глубина вдавливания определялась с помощью лупы Бринелля (рис. 16). Образец №3 во время испытания представлен на рис. 17.



Рис. 16. Лупа Бринелля МПБ-3.

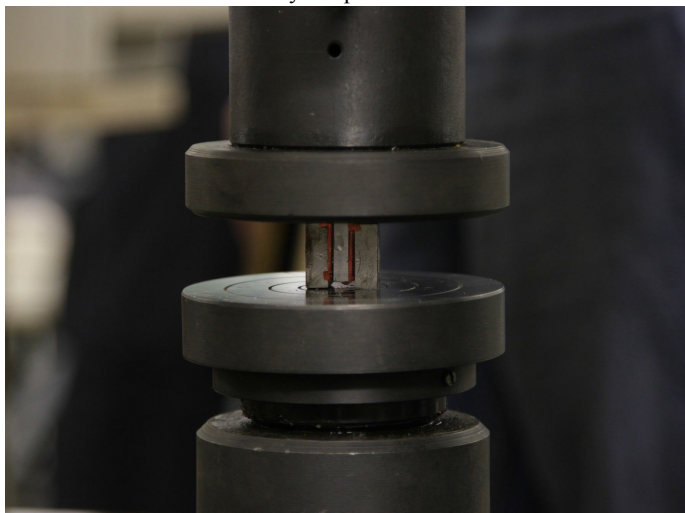


Рис. 17. Образец №3 во время испытания.

3. Выводы.

3.1. Результаты эксперимента представлены в таблице 3 и отражены на рис. 18.

Таблица 3. Результаты эксперимента.

Опыт № образца	Кол-во шариков	Глубина вдавливания, (мм).	Усилие, (Н)
1	12	0	1280
2	5	0	2800
3	12	0.4	1280
4	5	0.6	760

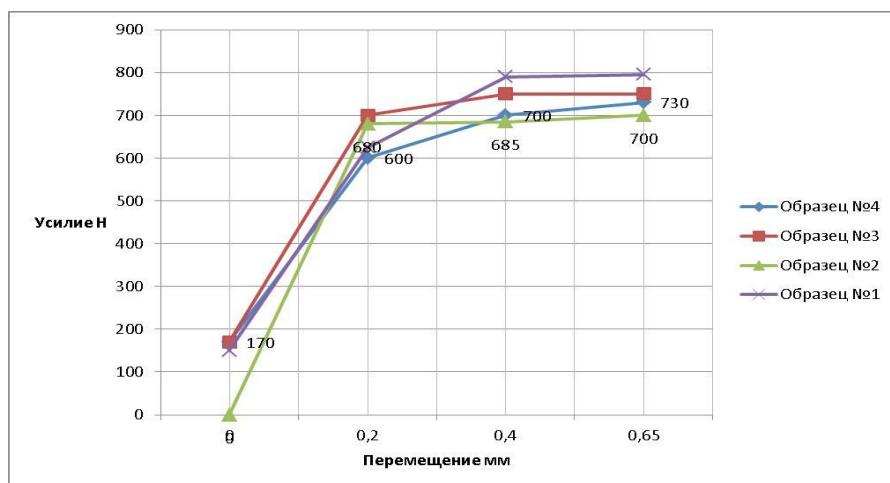


Рис. 18. Зависимость усилия (Н) от перемещения (мм) для 4-х образцов представленных в таблице 3 и на рис. 10.

В ходе испытания была определена сила, которую может выдержать образец с 12-ю не вдавленными шариками.

Проведение испытания на сдвиг клеевого соединения с шариками, вдавленными в поверхность металлических образцов,

показали аналогичные силовые характеристики с образцами, выполненными по традиционной технологии, без вдавливания шариков, при величине лунки 0,8 мм в диаметре.

При радиусе лунки $h=0.6\text{мм}$, количестве шариков $N=5$, прочность соединения на сдвиг оказалась на 8.5% больше, чем у соединения с 5 шариками без вдавливания их в поверхность образца (рис. 17).

3.2. Результаты теоретических вычислений.

При расчёте полученные результаты были обусловлены законом Гука. В ходе теоретических вычислений было изучено значение воспринимаемой нагрузки клеевого соединения без шариков. Его значение равно 80 МПа.

Максимальное исследуемое значение воспринимаемой нагрузки достигается при добавлении 74 шариков. При глубине вдавливания шариков 0.5 мм, его значение равно – 95.4 Мпа (рис.8).

Полученное теоретическое значение выше теоретически воспринимаемой нагрузки клеевого соединения без шариков на 15.4МПа. Добавление шариков послужило увеличению прочности соединения. Результаты представлены на рис. 18.

Ряд1 – $N=6$

$$h_1 = 1 \cdot 10^{-4}, h_2 = 2 \cdot 10^{-4}, h_3 = 3 \cdot 10^{-4}, h_4 = 4 \cdot 10^{-4}, h_5 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Ряд 2 – $N=8$

$$h_1 = 1 \cdot 10^{-4}, h_2 = 2 \cdot 10^{-4}, h_3 = 3 \cdot 10^{-4}, h_4 = 4 \cdot 10^{-4}, h_5 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Ряд 3 – $N=16$

$$h_1 = 1 \cdot 10^{-4}, h_2 = 2 \cdot 10^{-4}, h_3 = 3 \cdot 10^{-4}, h_4 = 4 \cdot 10^{-4}, h_5 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Ряд 4 – $N=48$

$$h_1 = 1 \cdot 10^{-4}, h_2 = 2 \cdot 10^{-4}, h_3 = 3 \cdot 10^{-4}, h_4 = 4 \cdot 10^{-4}, h_5 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Ряд 5 – $N=74$

$$h_1 = 1 \cdot 10^{-4}, h_2 = 2 \cdot 10^{-4}, h_3 = 3 \cdot 10^{-4}, h_4 = 4 \cdot 10^{-4}, h_5 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Ряд 6 – $N=0$

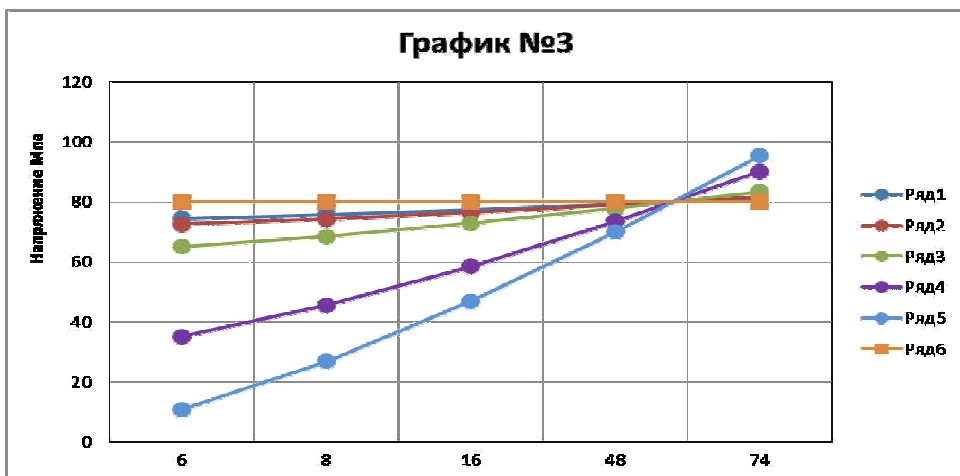


Рис. 18. Общая зависимость напряжения от количества шариков (N), при различной величине вдавливания (h) для каждой точки.

3.3. Сравнение теоретических вычислений с практическими.

Было проведено сравнение теоретических и практических данных, получена графическая зависимость для 5 и 12 шариков, вдавленных на 0.6 мм и 0.4 соответственно (рис.19).

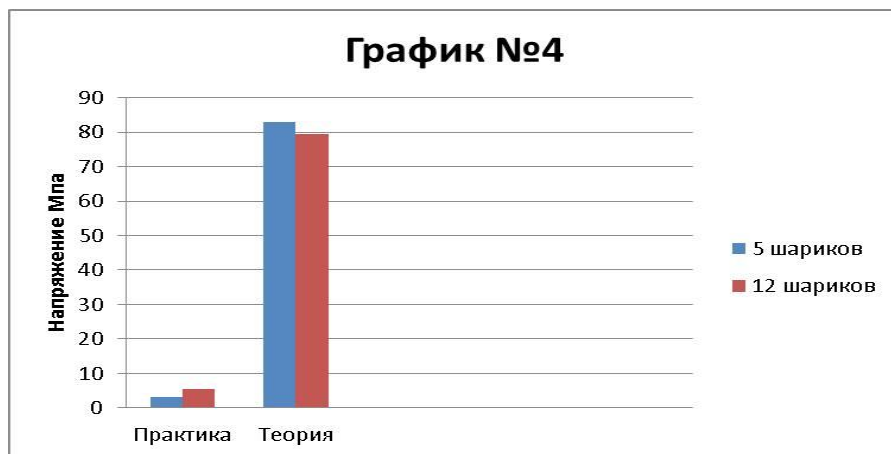


Рис. 19. Сравнение практики и теории для 5 и 12 шариков.

3.4. Выводы.

Проанализировав результат теоретических вычислений, можно сделать вывод, что с добавлением шариков при условии их вдавливания в поверхность, нагрузка, которую способно выдержать соединение на сдвиг, будет увеличиваться вместе с увеличением глубины вдавливания, и будет прочнее, чем клеевое соединение без шариков. А также:

- Подтверждена гипотеза, что внедрение твёрдых тел в клеевой шов может значительно повысить величину сжимаемых напряжений.
- Выбрана оптимальная форма твёрдого тела, которая позволяет получать стабильное увеличение прочности модифицированного клеевого соединения при сжимающих нагрузках – сферическая форма.

- Прочность клеевого соединения при одинаковом количестве шариков и вдавливании их в поверхность, оказалась на 8.5% больше чем прочность клеевого соединения без вдавливания шариков.

Литература:

1. Игнатов А.В. Пат. 2198741 РФ. Способ нанесения клеевого слоя на поверхность детали и установка для его осуществления // Изобретения. 2003. № 5.
2. Игнатов А.В. Применение клеев при сборке изделий в машиностроении: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 43 с.
3. Игнатов А.В. Применение клеев в машиностроении для сборки неразъёмных металлоконструкций // Технология металлов. 1998.
4. Справочник LOCTITE
5. Большая энциклопедия нефти и газа.

**Исследование и проектирование энергоэффективных
адгезивных технологий сборки высокопрочных
металлополимерных соединений при нормальной нагрузке**

*ЛЕБЕДЕВ Александр Михайлович
г. Москва, Гимназия №1748 «Вертикаль»,
11 класс*

*Научный руководитель:
Игнатов Алексей Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры «Технологии
машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

1.1 Объект исследования

Технологический процесс сборки клеевого соединения внахлест для прямой нагрузки.

1.2 Цель

Повысить качество и прочностные характеристики плоского клеевого соединения за счет отработки его конструкции на технологичность.

1.3 Гипотеза

Было сделано предположение, что внедрение твердых тел в клеевой шов значительно повысит величину сжимаемых напряжений. Потому что передача нагрузки будет производиться через поверхность металлических деталей. Поэтому нагрузка на полимерный слой снизится.

1.4 Задачи

1) Выбор формы тела, внедряемого в клеевое соединение (рис. 1,2,3).

2) Разработать технологический процесс сборки смоделированного соединения

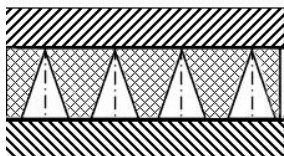
3) Проверить влияние внедрённых предметов на прямую нагрузку

1.4.1 Решение задачи №1

Требования к внедряемым телам:

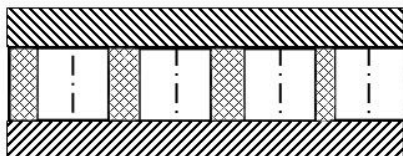
- Равные напряжения на обе пластины;
- Минимальная площадь контакта с поверхностью;
- Возможность обеспечения размерной периодичности при установке в клеевом шве;

- Тело должно быть выполнено с достаточной точностью, обеспечивающей постоянный контакт с поверхностью элемента.



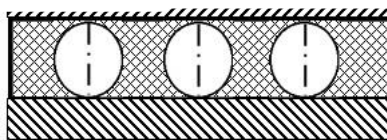
Конусная форма

Рис. 1. Внедренные тела – конусы.



Цилиндрическая форма

Рис. 2. Внедренные тела – цилиндры.



Сферическая форма

Рис. 3. Внедренные тела – шары.

В результате теоретического анализа данных требований, в качестве внедряемых в клеевой шов тел были выбраны тела сферической формы. Требования к точности и качеству поверхности позволили определить ГОСТированные детали-шарики из подшипника качения, выполненные из стали ШХ-15 с термообработкой, диаметром 2мм.

1.6 Теоретическое исследование эксплуатационных параметров

Был произведен теоретический расчет предела прочности соединения для различного количества добавленных шариков. Для расчета использовались наименьшие граничные показатели прочностных характеристик эпоксидных композиций. В расчете учитывалось расстояние между шариками, которое зависит от их количества. При малом количестве шариков (большой шаг) прогиб склеиваемых поверхностей увеличивается, что ослабляет соединение.

Для теоретических расчетов использовались следующие формулы и законы:

$$F = k\Delta l,$$

$$k = \frac{ES}{L},$$

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

$$\Delta l = \frac{FL}{ES},$$

где F - сила, k – коэффициент упругости, Δl – прогиб между шариками, E – модуль Юнга, S – площадь склеиваемой поверхности, σ – напряжение, L – длина образцов.

В результате проведенных расчетов, была получена данная графическая зависимость (рис. 4), которая отражает выдерживаемую нагрузку в зависимости от кол-ва шариков.

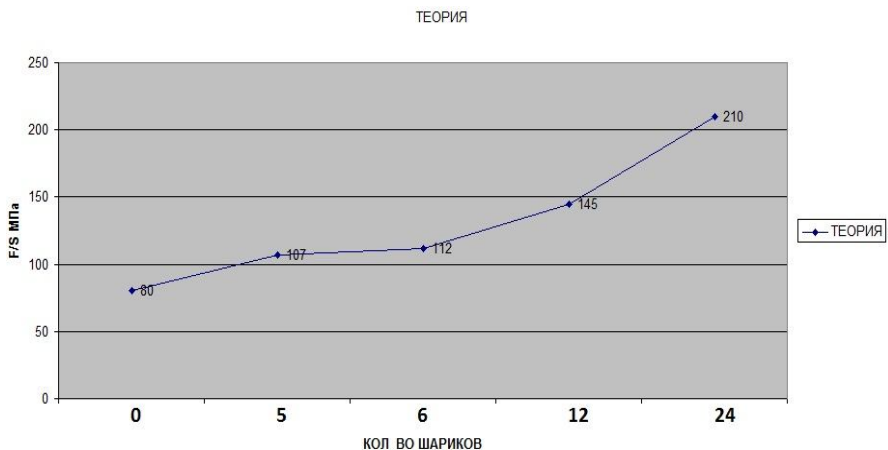


Рис. 4. Графическая зависимость, полученная в ходе теоретического исследования.

1.4.2 Решение задачи №2

Технологический процесс сборки клеевых соединений высокой прочности

В ходе работы был выявлен технологический процесс (ТП) сборки клеевых соединений высокой прочности, который состоит из следующих этапов:

1. Подготовка поверхности:

А. Механическая обработка.

Механическая обработка в данном проекте состоит из очистки поверхности металлических образцов абразивными инструментами на плоскошлифовальном станке (рис. 5) до приблизительно

одинаковой шероховатости, чтобы повысить качество склеивания. Для получения наилучших результатов было желательно воспользоваться методом пескоструйной обработки. С помощью этого способа можно получить требуемый профиль и подходящую шероховатость. Но обработка данным методом не производилась по экономическим соображениям. Измерение шероховатости проводили с помощью профилографа (рис. 6). График шероховатости представлен на рисунке 7.

Б. Химическая обработка

Состоит из обезжиривания ацетоном (один из самых экономичных способов обезжирить поверхность).



Рис. 5. Плоскошлифовальный станок.

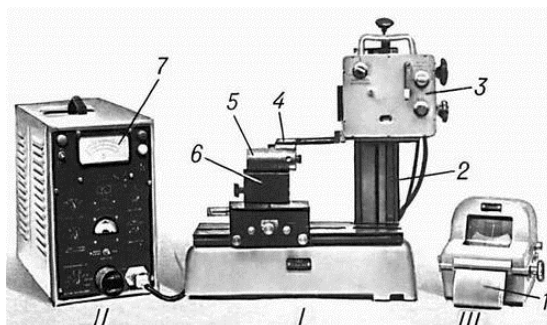


Рис. 6. Профилограф.

2. Выбор и приготовление клея.

Клей выбирался из группы эпоксидных клеев, потому что они имеют отменные свойства физико-механического характера и стойкость к воздействию жиров, кислот и бытовых очистителей. При отверждении этих клеев практически отсутствует усадка; клеи имеют высокую адгезию с поверхностями из многих материалов (дерева, бетона, керамики, металла, пластика, стекла и т.д.). Также эпоксидный клей имеет низкую себестоимость, с его помощью можно восстанавливать форму поверхности, заполнять трещины или пустоты, выравнивать поверхность. Застывший клей является хорошим диэлектриком. Выбор был остановлен на клее, состоящем из эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя ПЭПА. Этот клей был выбран из нескольких вариантов, потому что при сравнимых характеристиках имеет более низкую себестоимость. Компоненты клея смешивались до однородной массы, что проверялось с помощью визуального контакта в пропорции 1:10. Характеристики клея представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики клея.

Показатель	Эпоксидная смола ЭД-20
Внешний вид	Медоподобная желтоватая жидкость. Легко окрашивается
Плотность при 20°C, кг/м ³	1,16-1,25
при растяжении, МПа	40-90
Прочность при изгибе, МПа	80-140
Прочность при сжатии, МПа	100-200
Температура полимеризации, °C	от 20
Среднее рекомендуемое соотношение отвердитель: смола	10:1
Время полимеризации	1,5 часа
Время полной полимеризации	24 часа
Водопоглощение за 24ч, %	0,01-0,1
Теплостойкость, °C	55-170
Гарантийный срок хранения	эпоксидной смолы – 1,5 года отвердителя – 2 года
Условия хранения	Эпоксидную смолу ЭД-20 следует хранить в плотно закрытой таре при температуре окружающей среды от 15 до 40°C.

3. Нанесение клея.

Для формирования клеевого шва по периметру образца были сделаны бортики из пластилина, т.к. он обладает необходимой пластичностью и легко удаляется.

4. Добавление шариков.

В клеевой шов был установлен сепаратор в виде жесткой сетки, в которую вставлялись шарики для обеспечения постоянного шага между ними при нагрузке. Сепаратор устанавливался так, чтобы шарики были полностью погружены в клей.

5. Монтаж соединения.

Стальные образцы соединялись таким образом, чтобы шарики соприкасались с обеими склеиваемыми поверхностями.

6. Отверждение

Отверждение клеевых соединений проходило в течении 48 часов при комнатной температуре под небольшой нагрузкой.

7. Контроль качества склеивания.

Качество клеевого соединения было оценено визуально.

В результате проведенного исследования было получено 40 профилограмм микрорельефа поверхности. Примеры профилограмм приведены на рис. 7-9.



Рис. 7. Профилограмма микрорельефа поверхности образца №1.

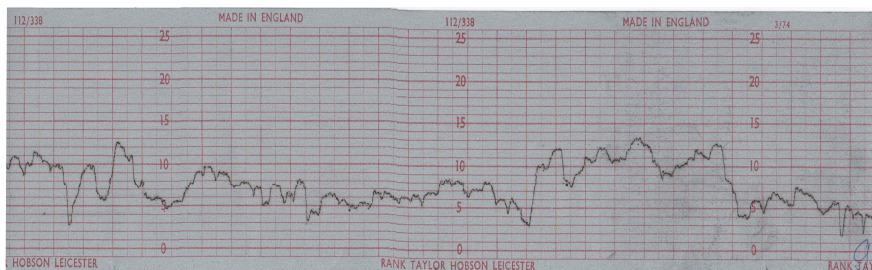


Рис. 8. Профилограмма микрорельефа поверхности образца №2.

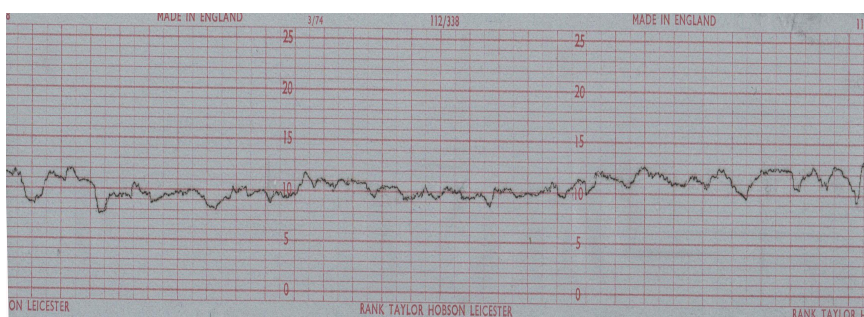


Рис. 9. Профилограмма микрорельефа поверхности образца №3.

Результаты измерения шероховатости представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерения шероховатости.

№	1,Rz,mkm	2,Rz,mkm
1	12	22,6
2	12,64	22,76

3	35,44	13,48
4	20,68	10,72
5	26,2	10,08
6	9,64	32,36
7	20,8	24,8
8	20,92	8,88
9	19,6	15,4
10	11,8	26,8
11	24,8	7,2
12	23,3	8,6
13	28,6	12
14	17,2	22,8
15	10,6	37
16	11,2	23,8
17	23,8	16,6
18	6,6	20,6
19	28,2	13,2
20	10,8	26

Один из полученных образцов представлен на рисунке 10.

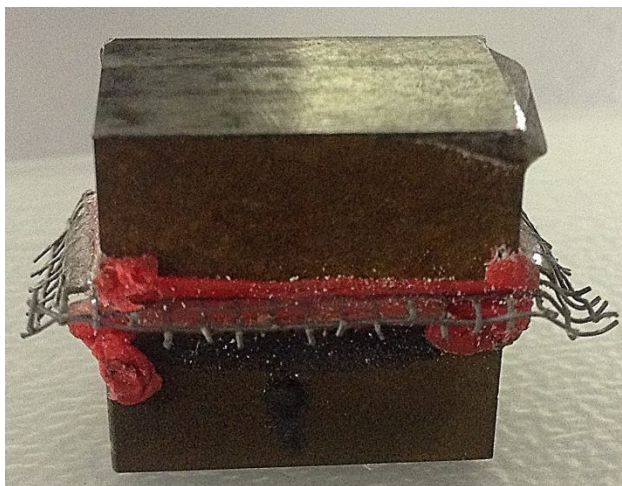


Рис. 10. Полученный образец.

1.4.3. Решение задачи. №3

Подготовка эксперимента

Были изготовлены образцы в точном соответствии с разработанным технологическим процессом. Далее был подготовлен эксперимент на испытательной машине (рис. 11). При настройке машины задавались следующие параметры: скорость перемещения силовой головки, угол расположения губок, шаг.

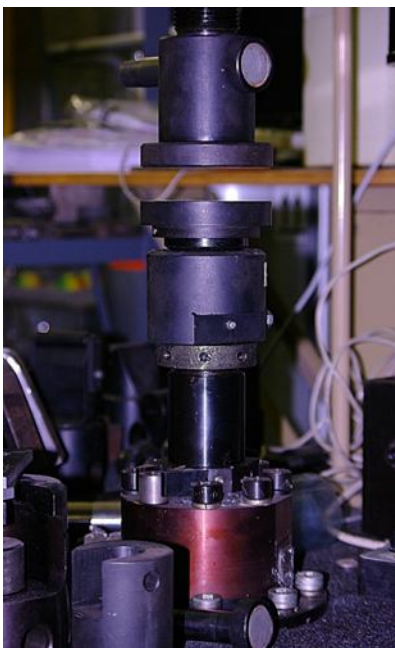


Рис.11. Испытательная машина №ИР5143-200.

Постановка эксперимента

В процессе эксперимента был выявлен предел прочности для каждого количества шариков в клеевом шве, были получены графические зависимости нагрузки на соединения. Критическая точка была определена по графику (вторая точка перегиба). Было определено, что первая точка перегиба – начало упругой деформации полимера, вторая – пластическая деформация, которая характеризует разрушение соединения.

Чтобы проверить нужную точку, брались парные образцы и проверялись под разными и одинаковыми нагрузками. После того,

как нагрузка доходила до критической точки, образцы извлекали из прессы. Соединение можно было разобрать руками.

Образцы после проведения эксперимента (рис. 12).

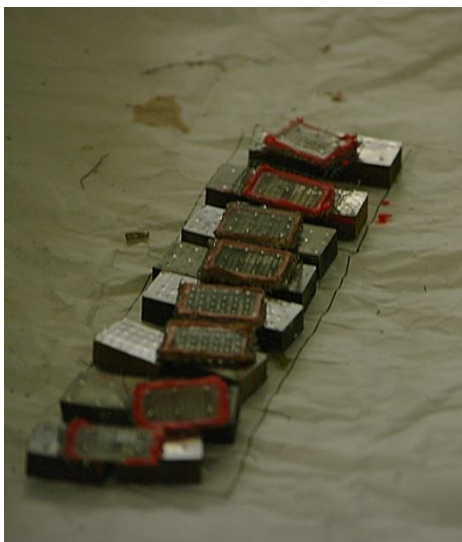


Рис. 12. Образцы после проведения эксперимента.

Полученные во время эксперимента графические зависимости (рис. 13-22).

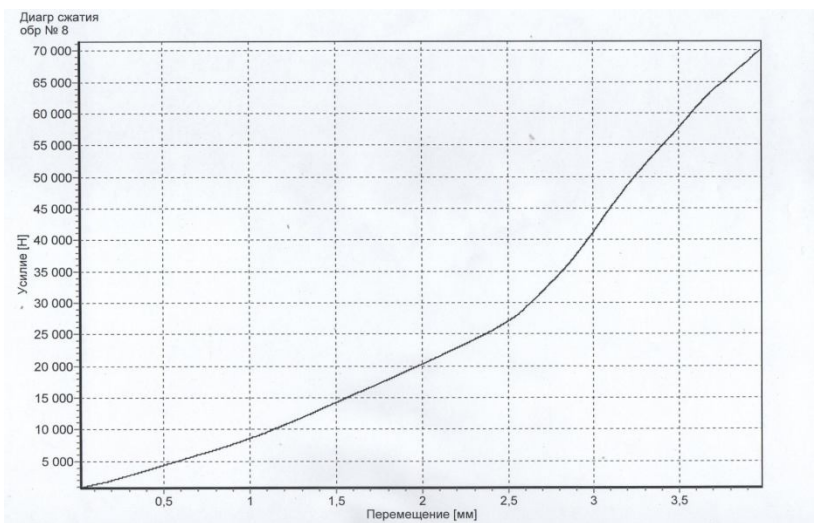


Рис. 13. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 6 шариках.

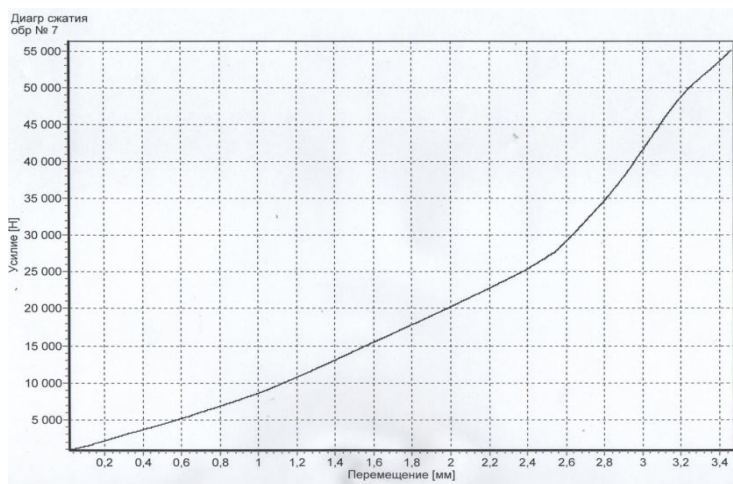


Рис. 14. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 5 шариках.

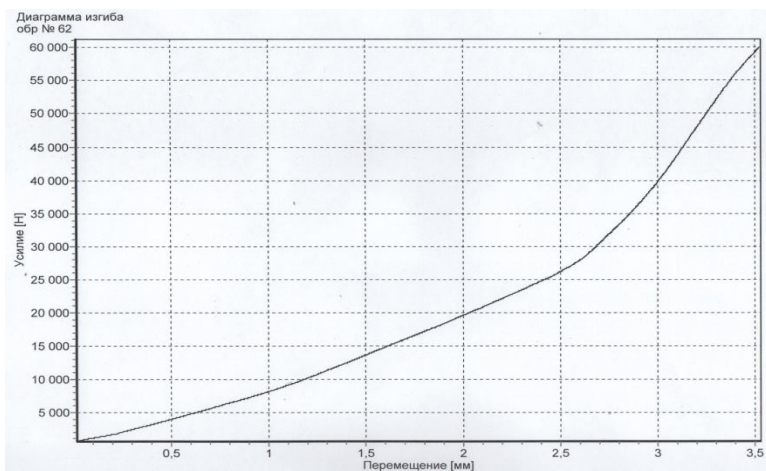


Рис. 15. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 12 шариках.

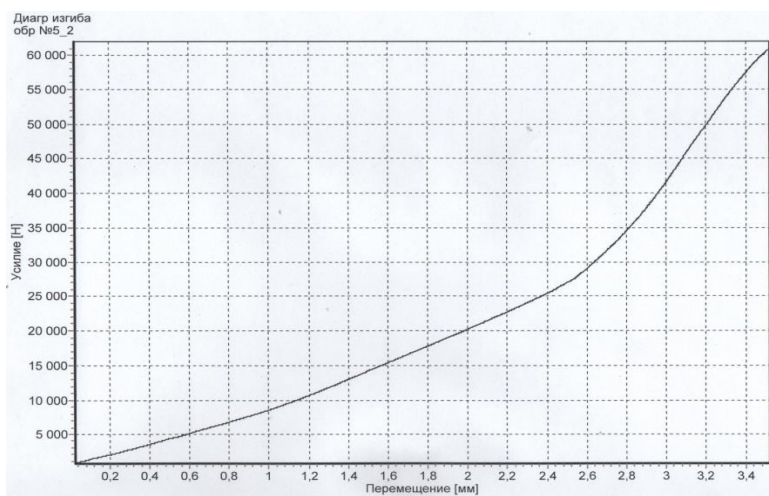


Рис. 16. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 12 шариках.

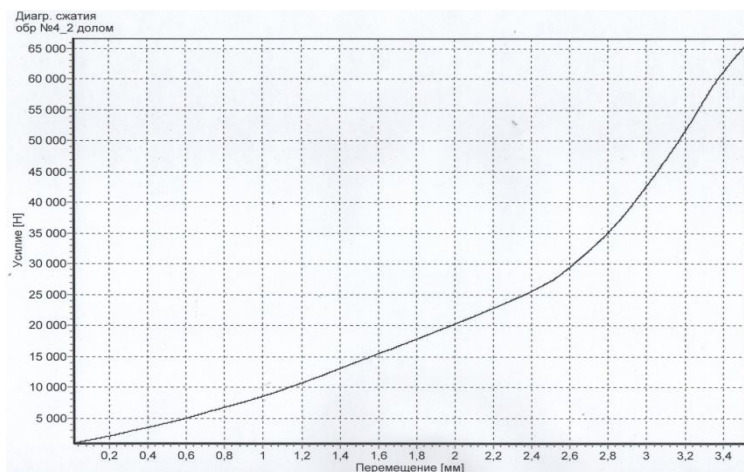


Рис. 17. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 24 шариках.

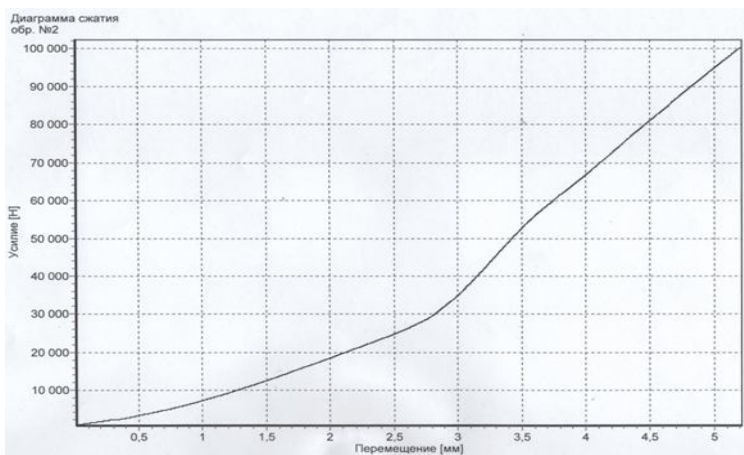


Рис. 18. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 24 шариках.

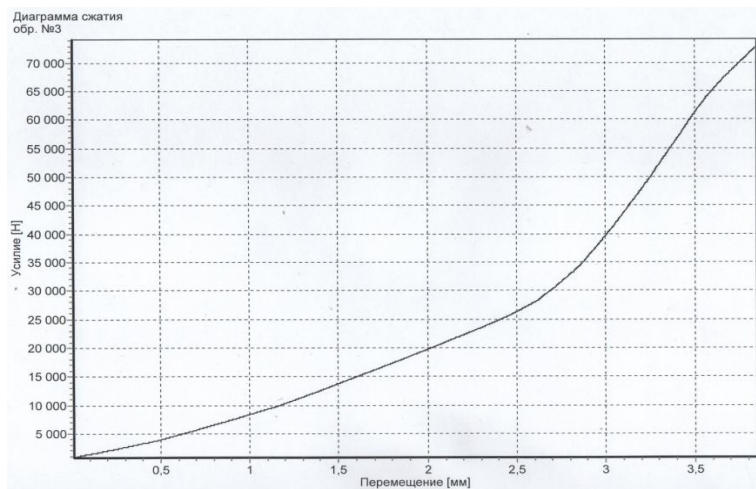


Рис. 19. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 6 шариках.

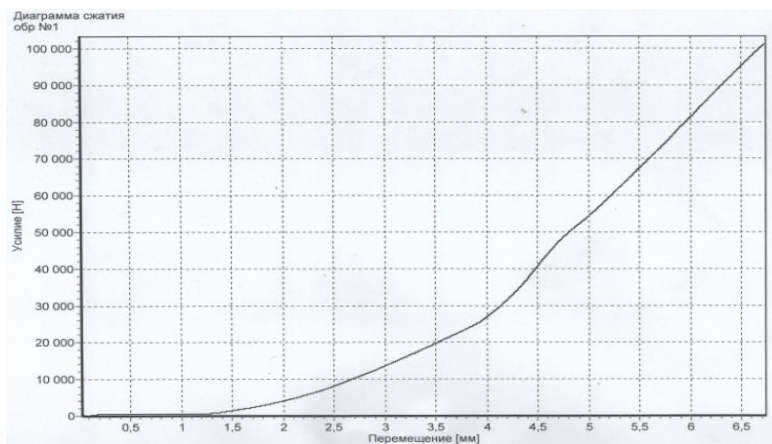


Рис. 20. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) при 5 шариках.

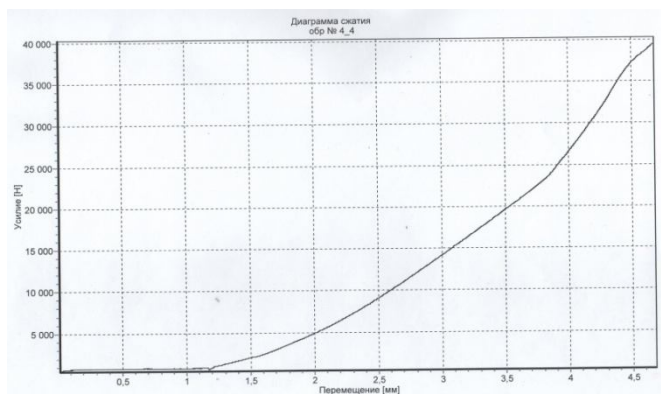


Рис. 21. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) без шариков.

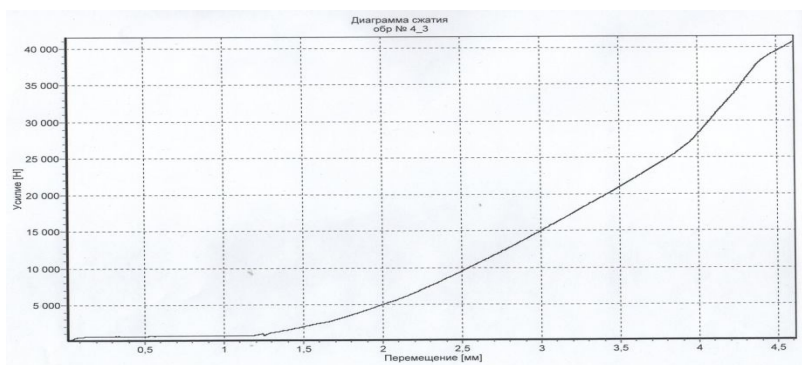


Рис. 22. График зависимости силы (Н) от перемещения (мм) без шариков.

3.1 Результаты исследования

Результаты практического исследования представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты практического исследования.

Кол-во шариков	1 опыт, кН	2 опыт, кН
----------------	------------	------------

5	49	48
6	53	51
12	57	55
24	62	61

3.2 Сравнение эксперимента с теорией

Было проведено сравнение теоретических и практических данных и сделаны выводы. Получена графическая зависимость (рис. 23).

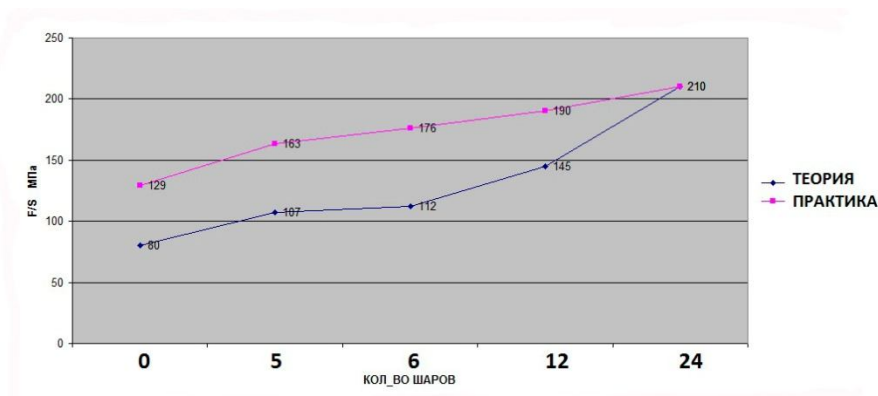


Рис. 23. Графики по результатам эксперимента.

3.3 Общие выводы

- Подтверждена гипотеза, что внедрение твёрдых тел в клеевой шов может значительно повысить величину сжимаемых напряжений.
- Прочность модифицированного соединения увеличилась в сравнении с обычным клеевым соединением.

- Выбрана оптимальная форма твёрдого тела, которая позволяет получать стабильное увеличение прочности модифицированного клеевого соединения при сжимающих нагрузках – сферическая форма.

Литература:

1. Игнатов А.В. Пат. 2198741 РФ. Способ нанесения клеевого слоя на поверхность детали и установка для его осуществления // Изобретения. 2003. № 5.
2. Игнатов А.В. Применение клеев при сборке изделий в машиностроении: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 43 с.
3. Игнатов А.В. Применение клеев в машиностроении для сборки неразъемных металлоконструкций // Технология металлов. 1998. № 3. С. 23-31.
4. Справочник LOCTITE

**Ультразвуковая сварка многоэлементных изделий из жестких
пластмасс**

*КОЛЕСНИЧЕНКО Михаил Вадимович
г. Волгоград, Лицей №5 им. Ю.А. Гагарина,
11 класс*

*Научный руководитель:
Волков Станислав Степанович,
к.т.н., профессор кафедры «Технологии
сварки и диагностики»
МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

Технологический процесс изготовления даже самых простых изделий из пластмасс, как правило, включает в себя операции соединения отдельных деталей или узлов изделий друг с другом. В настоящее время в производстве конструкций, выполненных из полимерных материалов, отмечается тенденция усложнения формы изделий. Технологически выполнение изделий подобного рода за одно целое зачастую практически невозможно. Эта задача успешно решается при расчленении изделия на отдельные технологические простые детали с последующим их соединением. Для этого применяются сварные, резьбовые, заклепочные, клеевые и другие виды соединений. Наиболее перспективными из названных способов является сварка, так как при ее использовании можно механизировать и автоматизировать процесс соединения деталей, повысить качество соединений и культуру производства, снизить трудоемкость операций.

Из всех существующих способов сварки полимерных материалов невозможно выделить единственный, который бы удовлетворял всем экономическим, технологическим и эксплуатационным требованиям. Вид применяемых источников нагрева, технологические принципы, положенные в основу процесса сварки, степень механизации и автоматизации в немалой степени зависят от той физической формы, в которой используются пластмассы как конструкционные материалы.

Одним из перспективных способов сварки соединения пластмасс, получившим в последние годы большое развитие как в нашей стране, так и за рубежом, является ультразвуковая сварка. Интерес к ней не случаен. В литературе неоднократно отмечались преимущества ультразвуковой сварки, благодаря которым в ряде случаев этот процесс соединения пластмасс становится незаменимым.

Основными отличительными чертами ультразвуковой сварки пластмасс являются: возможность сварки по поверхностям, загрязненным продуктами; локальное выделение теплоты в зоне сварки, что исключает перегрев пластмассы, имеющей место при сварке нагретыми газами, нагретым инструментом и т.д.; возможность сварки некоторых пластмасс на большом удалении от места подвода энергии; возможность выполнения соединения в труднодоступных местах; возможность использования пластмасс с узким интервалом кристаллизации; возможность соединения

разнородных полимеров; отсутствие радиопомех и электрического напряжения на сварочном инструменте и т.д.

Ультразвуковая сварка может заменить механические методы соединения и склеивания целой группы полимеров, например, полистирола, лавсана, капрона, поливинилхлорида и др. Она широко применяется при изготовлении изделий пищевой и легкой промышленности, радиоэлектроники и электротехники, товаров широкого потребления, изделий спецназначения.

Весьма ценным является то, что оборудование, предназначенное для ультразвуковой сварки полимеров, может использоваться для запрессовки металлической арматуры в полимеры. Можно запрессовать втулки спиц, манжеты, выводные зажимы, шарниры, крепежные детали, рукоятки, клеммы, декоративные детали и пр. Возможно также использование ультразвука для локального соединения клепкой различных полимеров с металлами. Для резки пластмасс используется тот же комплект оборудования, что и для сварки, только наконечник волновода выполняется при этом в виде ножа.

Увеличение производства пластмасс по объему и номенклатуре, расширение областей применения этих материалов в народном хозяйстве стимулируют развитие исследований, разработку технологических процессов и оборудования для изготовления различных изделий из пластмасс. Возрастает роль различных способов сборки-сварки изделий из отдельных элементов.

Основными методами экспериментальных исследований явились анализ распределения напряжений в оптически активных материалах при статистическом нагружении и под действием ультразвуковых колебаний, измерение циклов сварки и процесса деформирования материала, испытание сварных швов на прочность, анализ взаимодействия различных полимеров в процессе сварки путем снятия термомеханических кривых.

В работе предложены и разработаны способы сварки, впрессованной в постоянный и переменный зазор соединительного элемента.

Целью настоящей работы явилось исследование процесса и разработка технологии ультразвуковой сварки многоэлементных изделий из жестких пластмасс, в конструкции которых входят нахлесточные, стыковые и угловые соединения.

Классификация схем ультразвуковой сварки пластмасс.

В настоящее время существуют различные схемы, по которым может осуществляться ультразвуковая сварка полимерных материалов. Это обусловлено разнообразием свойств и структуры свариваемых материалов, конфигурации и размеров деталей, требований, предъявляемых к сварным швам и свариваемому изделию в целом. В результате классификация схем ультразвуковой сварки пластмасс сильно осложняется. В литературе встречаются попытки произвести такую классификацию, однако при этом ограничиваются, как правило, одним или несколькими частными признаками ультразвуковой сварки. Полная классификация схем

ультразвуковой сварки пластмасс должна производиться с учетом всех основных признаков. К этим признакам относятся:

1. подвод энергии механических колебаний к свариваемому изделию;
2. передача механической энергии к зоне сварки;
3. концентрация энергии в зоне сварки;
4. дозирование вводимой энергии;
5. взаимное перемещение сварочного инструмента и свариваемых деталей для получения швов необходимой конфигурации и протяженности [1,2].

Подвод энергии механических колебаний к свариваемому изделию.

При ультразвуковой сварке электрические колебания ультразвуковой частоты, вырабатываемые генератором, преобразуются в механические продольные колебания электроакустического преобразователя (рис. 1). Амплитуда смещения последнего невелика – 3-5мкм. Для увеличения амплитуды к преобразователю присоединяется трансформатор упругих колебаний, а к последнему – волновод. Задаваясь оптимальным законом сужения площади поперечного сечения трансформатора и волновода, можно увеличить амплитуду смещения торца преобразователя в 10-20 раз. Трансформатор упругих колебаний служит, кроме того, для согласования ультразвуковых колебаний в свариваемое изделие.

Подвод механической энергии ультразвуковых колебаний осуществляется за счет контакта излучающей поверхности

сварочного инструмента – волновода, которую в дальнейшем будем называть рабочим торцом волновода, с одной или несколькими свариваемыми деталями. Такой контакт обеспечивается статическим давлением $P_{ст}$ рабочего торца волновода на свариваемые детали. Это давление способствует также концентрации энергии в зоне соединения. Динамическое усиление F , возникающее в результате воздействия колеблющегося волновода, приводит к нагреву свариваемого материала, а действие статического давления $P_{ст}$ обеспечивает получение прочного сварного соединения [1,2].

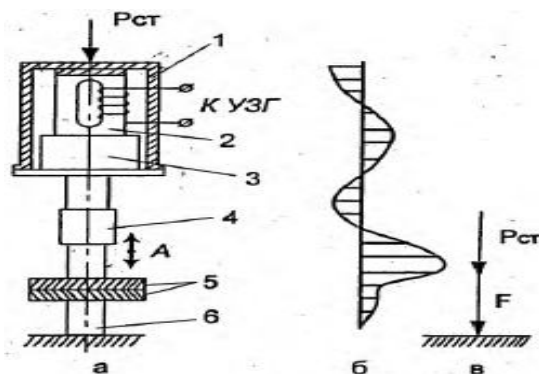


Рис. 1. Ультразвуковая сварка с нормальным вводом колебаний: а – схема установки (1- корпус преобразователя; 2 – преобразователь с обмоткой; 3 – трансформатор упругих колебаний; 4 – волновод; 5 – свариваемые детали; 6 – опора); б – эпюра амплитуды смещения колебательной системы; в – расположение векторов статического давления $P_{ст}$ и динамического усилия F ; А – амплитуда смещения волновода.

При основном («нормальном») наиболее распространенном, способе подвода энергии (рис. 1) векторы $P_{ст}$ и F расположены нормально к поверхности свариваемого изделия, лежат на одной

прямой и совпадают по направлению. Так как ввод колебаний и статическое давление в этом случае осуществляется через один и тот же рабочий орган – волновод, то такая схема иногда называется схемой сварки с зависимым давлением.

Передача энергии к зоне сварки.

По характеру передачи энергии к границе раздела и распределению ее по свариваемым поверхностям ультразвуковая сварка может быть разделена на контактную и передаточную.

Возможность передачи механической энергии к зоне сварки зависит от упругих свойств и коэффициента колебаний в свариваемых материалах. Если полимерный материал характеризуется низким модулем упругости и большим коэффициентом затухания, то сварное соединение можно получить лишь на малом удалении от плоскости ввода колебаний. Для равномерного распределения энергии по всей площади контакта свариваемых деталей необходимо, чтобы рабочий торец волновода, соприкасающийся с верхней деталью, имел площадь и форму, идентичную площади и форме плоскости свариваемых деталей. Сварка по такой схеме называется контактной ультразвуковой сваркой (рис.2). Контактная ультразвуковая сварка обычно применяется для соединения изделий из мягких пластмасс, таких как полиэтилен, полипропилен, а также пленок и синтетических тканей толщины – от 0,02 до 5 мм. При этом способе сварки наиболее распространены соединения внахлестку. Так как плоскость ввода механических колебаний (плоскость контакта

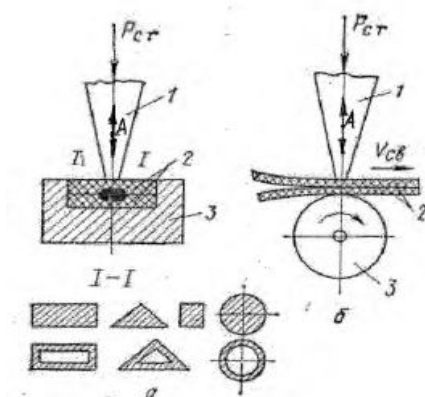


Рис. 2. Схема контактной ультразвуковой сварки:

а – прессовая; б – шовная; 1- волновод; 2 – свариваемые детали; 3 – опора.

волновод-полимер) располагается на незначительном расстоянии от плоскости раздела свариваемых материалов, определяемом толщиной верхней детали, контактную ультразвуковую сварки иногда называют [1,2] «ближней», или «сваркой в ближнем поле».

Если полимерный материал обладает высоким модулем упругости и низким коэффициентом затухания, то сварное соединение можно получить на большом удалении от поверхности ввода механических колебаний.

В этом случае ввод механических колебаний может осуществляться в точке или на небольшом участке поверхности верхней детали. Благодаря хорошим акустическим свойствам материала изделия энергия ультразвуковой волны незначительно ослабляется при проходе через деталь, контактирующую с волноводом, к границе раздела свариваемых деталей.

Тепловыделение на границе раздела в этом случае зависит от площади рабочего торца волновода. Сварка по такой схеме называется передаточной ультразвуковой сваркой. Передаточную сварку рекомендуется применять для соединения объемных деталей из жестких пластмасс, таких как полистирол, полиметилметакрилат и др. Наиболее рационально выполнять таким способом соединения встык или в тавр (рис. 3).

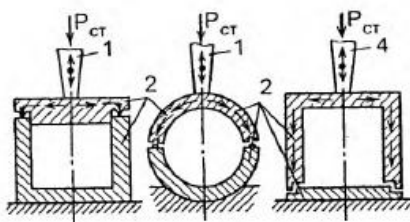


Рис. 3. Схема передаточной ультразвуковой сварки:
1- волновод-инструмент; 2 – свариваемые детали.

При передаточной сварке волновод желательно располагать по оси симметрии свариваемого изделия. Удаление поверхности ввода механических колебаний от плоскости раздела свариваемых деталей зависит от упругих свойств материала и может составлять от 10 до 250 мм. Поэтому передаточную сварку иногда называют [1,2] «дальней», «сваркой в дальнем поле» или «дистанционной».

Концентрация энергии в зоне сварки.

Введение энергии механических колебаний и передача ее к зоне сварки является необходимым, но не достаточным условием образования сварного соединения. Эксперименты показывают, что

при ультразвуковой сварке образцов из материалов с хорошими акустическими свойствами (полистирол, полиметилметакрилат), но с плоской поверхностью контакта и при равномерном распределении статистического давления получить сварное соединение оказывается трудно, а порой и просто невозможно. Сварка в этом случае осуществляется не по всей поверхности, а лишь в отдельных ее точках или небольших зонах поверхности.

Установлено, что развитие и образование сварного соединения зависит от степени концентрации напряжений в зоне сварки и может быть интенсифицировано за счет создания искусственных концентраторов напряжений. Наиболее распространенным способом сварки с использованием искусственных концентраторов является сварка с разделкой кромок, причем наилучшие результаты получаются, когда одна из деталей имеет V-образный выступ.

В зависимости от режима процесса и угла разделки сварка может протекать с преимущественным оплавлением выступа или с преимущественным внедрением его в другую деталь.

Зоны с повышенной концентрацией напряжения могут быть получены при действии на детали дополнительных сжимающих усилий P , создаваемых с помощью отдельного механизма, не связанного с волноводом. Сварка по такой схеме получила название сварки с независимым давлением. Если при рассмотренном выше способе подвода энергии усилие $P_{ст}$ использовалось как для создания концентрации динамических напряжений в зоне сварки, то

при сварке с независимым давлением последняя функция возможна на специальные механизмы давления. В этом случае усилие $P_{ст}$ гораздо меньше P и необходимо только для осуществления акустического контакта.

Вектор P может совпадать по направлению с вектором $P_{ст}$. Так, на рис. 4а приведена схема сварки, при которой P и $P_{ст}$ параллельны друг другу.

Схема, изображенная на рис. 4б, характерна тем, что векторы P и $P_{ст}$ перпендикулярны друг другу, причем вектор $P_{ст}$ действует в плоскости контакта свариваемых деталей.

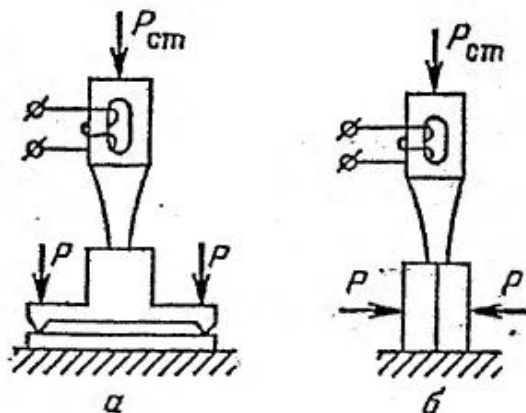


Рис. 4. Создание зон с повышенной концентрацией механических напряжений за счет специального механизма давления;
а – $P_{ст}$ и P параллельны; б – $P_{ст}$ и P перпендикулярны друг другу.

Для усиления концентрации энергии в том случае могут применяться специальные вырезы в местах приложения усилий P . Сварка с таким способом концентрации энергии может быть

применена в тех случаях, когда конструкция изделия не позволяет расположить сварочный узел перпендикулярно границе раздела свариваемых деталей [3,4].

Технологические особенности ультразвуковой сварки жестких пластмасс.

Подача энергии ультразвуковых колебаний в зону сварки обычно производится через одну из свариваемых деталей. Качество сварки при этом зависит как от физико-механических свойств полимера, так и от геометрических размеров деталей. Наилучший результат при ультразвуковой контактной сварке жестких пластмасс можно получить в том случае, если суммарная толщина свариваемых деталей находится на интервале 1-10 мм. Сварка пластмасс меньших толщин затруднена вследствие усиления теплоотвода в волновод и опору; увеличение толщины свыше 10 мм ведет к возникновению в пластмассе волновых процессов, смещению зоны максимальных температур относительно зоны сварки и, соответственно, к получению соединения с низкими показателями прочностных характеристик.

Если в случае ультразвуковой контактной сварки жестких пластмасс соотношение размеров деталей мало влияет на качество сварного шва, то при передаточной сварке, когда размеры деталей соизмеримы с длиной волны в полимере, это соотношение выбирается из следующих условий:

1. амплитуда смещений частиц полимера в зоне контакта с волноводом максимальна, а амплитуда динамических

напряжений минимальна;

2. амплитуда динамических напряжений на границе контакта между свариваемыми деталями максимальна. Для удовлетворения вышеприведенных условий необходимо, кроме подбора размеров изделий, увеличить площадь контакта волнореза с полимером. Плоскость контакта полимер-волновод должна быть «нормальной» к направлению колебаний рабочего торца волновода (основная схема сварки). В этом случае исключается взаимное относительное перемещение рабочего торца волновода и полимера и, следовательно, исключается дополнительный источник теплообразования в этой зоне». В процессе ультразвуковой передаточной сварки, когда полимер разогревается и изменяются его физико-механические свойства, динамические напряжения в контакте полимер-волновод повышаются, а на границе раздела свариваемых деталей понижаются. Это ведет к незавершенности процесса сварки. Картина меняется в случае V-образной разделки кромок между деталями, размеры которых кратны половине длины волны в полимере. В этом случае после разогрева V-образного выступа верхняя деталь колеблется как стержень со свободными концами, так как сопротивление размягченного полимера в зоне сварки незначительно, пучность амплитуды смещений располагается на границе контакта волновод- полимер [4,5].

Сборка детектора (рис. 5) для определения загрязненности воды, состоящего из ряда параллельных свариваемых пластин (2), которые соединены соединительными элементами-вкладышами (5)

с использованием известных схем ультразвуковой сварки практически невозможна. Свариваемые пластины детектора выделены толстыми линиями. Размеры отдельных элементов (толщина пластин равна 2,5 мм, толщина вкладыша — 5 мм) позволяют сваривать их ультразвуковой контактной сваркой, а для сварки детектора в целом (размеры детектора 30x120x100 мм) необходимо использовать передаточную сварку.

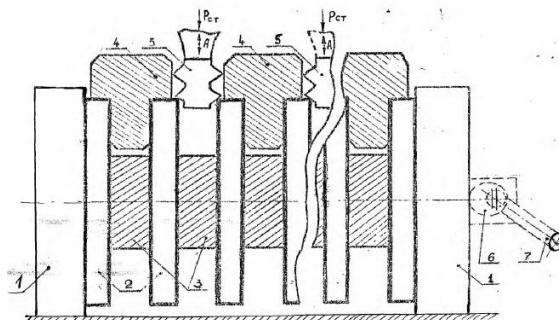


Рис. 5. Ультразвуковая сварка детектора: 1 – кондуктор; 2 – свариваемые пластины; 3 – установочные металлические пластины; 4 – металлические рейки; 5 – соединительный элемент-вкладыш; 6 – кулачок; 7 – ручка.

Например, если элементы детектора изготовлены из полистирола, то контактной сваркой можно соединить две или три детали (суммарная толщина соединяемых деталей не более 10 мм). Кондуктор 1 (рис. 5) изготовлен таким образом, что после установки в нем 1 свариваемых пластин (2) вместе с установочными металлическими вкладышами их можно сжать за один прием при помощи кулачка (6) и ручки (7). При этом устанавливается постоянный технологический зазор, который равен разности между

толщинами установочной металлической пластины (3) и соединительного элемента-вкладыша (5). Металлические рейки (4) служат для придания пластинам жесткости на изгиб.

Кроме того, на основе экспериментального исследования процессов контактной и передаточной сварки полистирола было установлено, что при передаточной сварке амплитуда рабочего торца волновода должна быть на 5-10 мкм больше, чем при контактной. Это может быть связано как с затуханием амплитуды в толще полимера, так и с перераспределением ультразвукового поля в процессе передаточной сварки.

Из краткого анализа контактной и передаточной сварки жестких пластмасс следует, что наиболее благоприятным с экономической стороны и по качеству получаемых сварных соединений является процесс ультразвуковой контактной сварки. Поэтому необходимо изыскание таких схем ввода в изделие энергии ультразвуковых колебаний, которые позволяют вводить механические колебания в непосредственной близости от зоны сварки. В случае сварки многоэлементных изделий необходимо, чтобы схема ввода колебаний обеспечивали одинаковые прочностные характеристики всех швов.

Часто возникает необходимость жесткой посадки одной детали в другую. Эту операцию можно качественно выполнить ультразвуковой сваркой. Для этого на ввариваемой детали делаются выступы (буртики), которые выполняют роль концентраторов напряжений и присадочного материала. Оптимальные раз-

меры буртика приведены на рис. 6. Хорошие результаты получаются при расположении буртика посередине ввариваемой детали. Если ввариваемая деталь имеет большую высоту, то необходимо предусмотреть несколько буртиков.

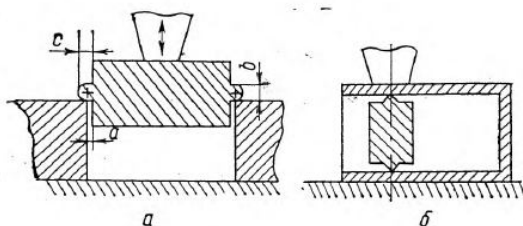


Рис. 6. Технологическая подготовка кромок в случаях:

а – для ультразвукового прессования ($a = 0,01 \div 0,25$ мм, $b = 0,25 \div 1,25$ мм, $c = 0,25 \div 1,25$ мм); б – для сварки в двух плоскостях.

При сварке пластмассовой детали прямоугольного сечения с тонкостенной камерой на двух сторонах детали делают треугольные выступы. Внешний размер ввариваемой детали должен быть подобран так, чтобы после сварки он был равен размеру камеры. Деталь жестко вставляется в камеру, стенки которой незначительно (на 0,3—0,5 мм) раздаются наружу (рис. 6,б). Волновод устанавливается с одной стороны камеры над V-образным выступом. После включения ультразвука осуществляется одновременная контактная и передаточная сварка выступов детали со стенками камеры. V-образные выступы расплавляются, и камера принимает свои исходные размеры. Одновременно сварка нескольких слоев термопластичных материалов сопровождается как

большой деформацией верхнего слоя, так и неравномерностью соединений между слоями. Качество сварки можно существенно улучшить соответствующей подготовкой стыкуемых поверхностей (рис. 7) площадь контакта между отдельными слоями должна быть рассчитана из условий равномерного распределения энергии в зонах контакта.

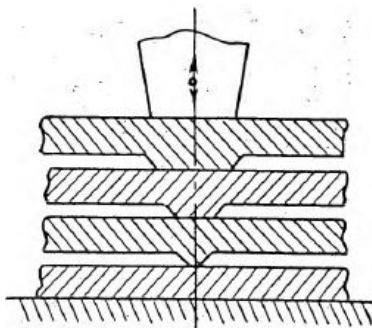


Рис. 7. Схема многоэлементной сварки с различной площадью контакта V-образных выступов.

Изменить площадь контакта можно, варьируя величину угла при вершине V-образного выступа или конструируя выступы в форме трапеции с различной площадью основания.

Наличие разделки кромок оказывает существенное влияние на кинетику образования сварных соединений жестких пластмасс [6,7].

Технология ультразвуковой сварки многоэлементных изделий из жестких пластмасс.

На основании экспериментальных исследований различных схем ввода энергии ультразвуковых колебаний в свариваемые

детали предложены способы сварки, которые показаны на рис. 8.

Ультразвуковая сварка впрессовкой в постоянный зазор - ультразвуковые колебания передаются в зону сварки через соединительный элемент — вкладыш (1) (рис. 8,а). Вкладыш является деталью детектора, его размеры определяют расстояние между пластинами (2). Свариваемые пластины располагаются параллельно друг другу в специальном кондукторе. Расстояние между пластинами (В) равно ширине соединительного элемента (а) + технологический зазор (с), $B = c + a$. Сварка происходит за счет расплавления V-образного выступа и материала пластин. Расстояние между пластинами в процессе сварки остается постоянным, так как оно предварительно задается установочным вкладышем (3) и кондуктором (4).

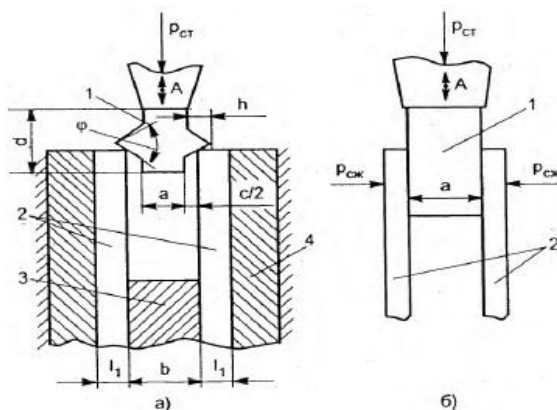


Рис. 8. Ультразвуковая сварка впрессовкой в постоянный (а) и переменный (б) зазоры.

Ультразвуковая сварка впрессовкой в переменный зазор (рис. 8,б) - ультразвуковые колебания также передаются в зону сварки через соединительный элемент - вкладыш (1), который зажат между свариваемыми пластинами (2) сжимающим давлением $P_{сж}$. Сварка происходит за счет расплавления прилегающих друг к другу слоев вкладыша и пластин. В процессе сварки расплавленный полимер выдавливается из зоны контакта пластин с вкладышем и свариваемые пластины сближаются, т.е. расстояние между пластинами уменьшается.

Специфика предложенных способов сварки и требования к сварным соединениям (прозрачность шва) не позволяют использовать рекомендации по выбору оптимальных режимов сварки.

В результате экспериментального исследования ультразвуковой сварки впрессовкой в переменный зазор нами было установлено, что при этом способе не обеспечивается прозрачность сварного шва по всей площади соединения. Кроме того, размеры деталей, свариваемых этим способом, должны быть точно выдержаны, что осложняет технологический процесс.

Параметры режима ультразвуковой сварки впрессовкой в постоянный зазор.

На основании вышеизложенного основное наше внимание было уделено исследованию ультразвуковой сварки впрессовкой в постоянный зазор.

Анализ результатов предварительных экспериментов показал, что основными параметрами ультразвуковой сварки впрессовкой в постоянный зазор является амплитуда смещений рабочего торца волновода, частота колебаний, продолжительность ультразвукового импульса, величина статистического давления, высота и толщина a соединительного элемента-вкладыша, толщина пластин l , высота h и угол ϕ при вершине V-образного выступа.

Для определения оптимального сочетания параметров режима ультразвуковой сварки впрессовкой, соответствующего наибольшей разрывной нагрузке соединений и прозрачности сварного шва по всей площади, что является одним из основных требований к данному типу изделий, был использован классический метод. Выбор пределов регулирования основных параметров режима ультразвуковой сварки впрессовкой в постоянный зазор основывался на следующих соображениях. Для получения прозрачного по всей площади сварки шва способом впрессовки (рис. 8,а) необходимо, чтобы объем V-образного выступа заполнил зазор между пластиной и вкладышем.

На рис. 9 показана зависимость расчетного зазора $C_{\text{расч.}}$ между ввариваемой пластиной и вкладышем от высоты U-образного выступа для различных углов ϕ . Пунктиром показана зависимость $C_{\text{расч.}}$ от h для вкладыша с двумя выступами. В расчетах было принято, что высота вкладыша $d = 8$ мм. При экспериментальном исследовании влияния высоты U-образного выступа на процесс сварки величина c варьировалась в пределах $C = (0,1 \text{ мм} - C_{\text{расч.}})$.

Для изучения механизма сварки впрессованной проведено несколько экспериментов. Частота ультразвуковых колебаний во всех экспериментах была постоянной и равнялась 22 кгц. Амплитуда колебаний рабочего торца волновода A варьировалась в пределах 13-44 мкм. При $A < 13$ мкм сварки не происходило.

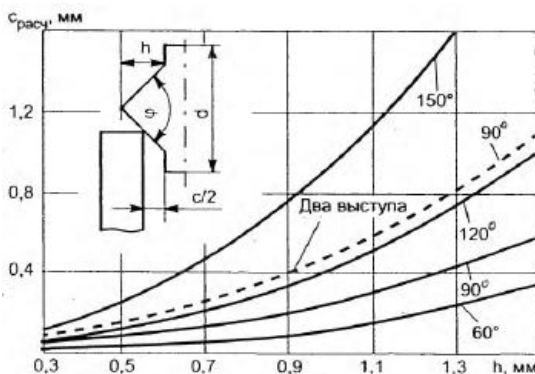


Рис. 9. Зависимость расчётного технологического зазора между соединительным вкладышем и свариваемыми пластинами от высоты V-образного выступа.

Толщина свариваемых пластин l варьировалась в пределах 2,5-12 мм. Высота V-образного выступа h изменялась в интервале 0,5-1,5 мм. Угол ϕ при вершине V-образного выступа варьировался в пределах $60-150^\circ$. Статистическое давление $P_{ст.}$ варьировалось в пределах 0,2-1,3 МПа. Интервал изменения статистического давления выбран на основании данных предварительных экспериментов. Отработка режимов ультразвуковой сварки впрессовкой производилась с ограничением длительности ультразвукового импульса по «фиксированной осадке». Величина осадки во всех случаях равнялась высоте вкладыша ($\Delta = d = 8$ мм).

Результаты исследований зависимости ширины прозрачного участка p сварного шва от высоты V-образного выступа h представлены на рис. 10.



Рис.10. Зависимость ширины прозрачного участка от высоты V-образного выступа ($A = 25 \text{ мкм}$, $P_{\text{ст}} = 0,8 \text{ Мпа}$, $\phi = 90^\circ$, $c = 0,4 \text{ мм}$) 1 – 3 вкладыш с одним, двумя выступами одинаковой высоты и выступами разной высоты соответственно ($h_1 = 0,7 \text{ мм}$, $h_2 = 1,1 \text{ мм}$).

Из рисунка видно, что при сварке впрессовкой вкладыша с одним выступом ширина прозрачного участка увеличивается с увеличением h . Рост p прекращается при $h > 1 \text{ мм}$ (кривая 1). Впрессовка соединительного элемента с двумя выступами одинаковой высоты ($h_1 = h_2$) приводит к росту p в интервале $h = 0,5 - 1,0 \text{ мм}$ почти пропорционально их количеству. Дальнейшее увеличение высоты V-образного выступа не только не повышает ширину прозрачного участка, но и снижает ее (кривая 2).

Для выявления возможности увеличения ширины прозрачного участка (увеличения площади сварки) исследован

механизм образования сварочного соединения при ультразвуковой сварке впрессовкой фигурного (с V-образными выступами) вкладыша в постоянный зазор. Срезы швов, полученные на различных стадиях процесса сварки, были исследованы под микроскопом (рис.11).

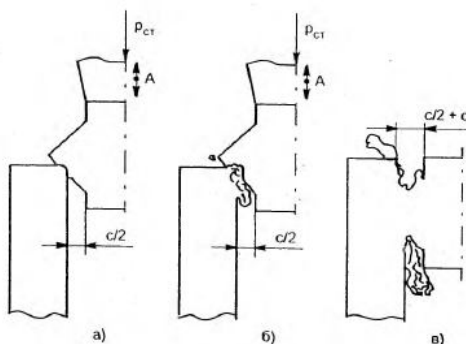


Рис. 11. Механизм образования сварного соединения при ультразвуковой сварке впрессовкой фигурного вкладыша.

В начальный момент сварки происходит небольшая пластическая деформация зоны контакта пластины с одной стороны из боковых граней V-образного выступа (рис. 11,а). Дальнейшее действие ультразвуковых колебаний приводит к частичному оплавлению выступа и ребра пластины (рис. 11,б). Часть расплавленного полимера затекает в зазор между вкладышем и пластиной, а другая часть выдавливается наружу и образует грат. В дальнейшем выступ почти полностью плавится, в контактирующий с ним слой пластины плавится частично. Большая часть расплавленного полимера увлекается вкладышем, движущимся

вниз под действием статистического давления и выдавливается в грат у корня шва. Зазор между вкладышем и пластиной при этом увеличивается на величину C' . Увеличение зазора C' тем значительнее, чем больше h .

Механизм образования сварного соединения при впрессовке вкладыша с двумя V-образными выступами ($h_1=h_2 < 1,0$ мм) идентичен механизму впрессовки вкладыша с одним выступом, но при ($h_1=h_2 > 1,0-1,2$ мм) происходит качественное изменение в образовании сварного шва, второй выступ впрессовывается в зазор, который существенно отличается от установленного. Уменьшение устанавливаемого технологического зазора ведет к тому, что наряду с его ростом в процессе впрессовки на величину C' срезается часть (вершина) V-образного выступа. Срезанная вершина выступа остается в зоне сварного шва и является одной из причин уменьшения прочности и прозрачности соединения. Уменьшение прочности и прозрачности наблюдается также и в случае увеличения технологического зазора C относительно оптимальной величины ($C_{\text{опт.}} = 0,4-0,7$ мм). Это связано с тем, что ухудшаются условия растекания расплава полимера между пластиной и вкладышем, т.е. расплав полимера остывает и переходит в высокоэластическое или твердое состояние раньше, чем заполнит свободный объем.

Из приведенного анализа механизма образования соединений при ультразвуковой сварке впрессовкой следует, что для увеличения ширины прозрачного участка необходимо увеличить

количество V-образных выступов на вкладыше. При этом необходимо, чтобы высота второго выступа была больше, чем первого ($h_1 > h_2$). Кроме того, h_1 должно быть меньше или равно 1 мм, т.к. при $h > 1$ мм не происходит заметного возрастания ширины | прозрачного участка (рис10, кривая 1).

Путем экспериментального исследования зависимости $p = f(h_1, h_2)$ было установлено, что максимальная ширина прозрачного участка $p = 7,8$ мм соответствует вкладышу с двумя выступами ($h_1 = 0,7$ мм, $h_2 = 1,1$ мм, $\phi_1 = \phi_2 = 90^\circ$). Дальнейшие исследования, кроме определения связи между ϕ и прозрачностью сварного шва, проводились с применением вкладыша указанных размеров.

Нами было установлено, что оптимальным зазором C является $C = 0,4-0,7$ мм, при этих значениях зазора разрушение обычно происходило по основному материалу. При $C > 1,0$ мм первый выступ сминался после приложения статистического давления и часть вкладыша впрессовывалась между свариваемыми пластинами до включения ультразвуковых колебаний. Включение ультразвуковых колебаний приводило к образованию сварного соединения за счет второго выступа. Резкое уменьшение прочности при $\phi > 90^\circ$ связано с тем, что в этом случае происходит защемление вкладыша между свариваемыми пластинами и его оплавление в зоне контакта с волноводом. При $\phi = 60^\circ$ V-образные выступы в процессе впрессовки срезаются совместным действием статистического давления и ультразвуковых колебаний.

Исследование влияния толщины свариваемых пластин на прочность.

При $2,5 \leq l \leq 2$ мм разрушение сварного соединения, полученного ультразвуковой впрессовкой соединительного элемента на оптимальных режимах, всегда происходит по основному материалу. При этом в зависимости от толщины пластин меняется характер разрушения. Например, при $l = 2,5-4,0$ мм происходит разрыв одной из пластин в околошовной зоне, а при $l = 10-12$ мм пластина не разрывается полностью. В этом случае разрушение происходит с вырывом части пластины по диагонали, проведенной с противоположного к зоне сварки ребра к корню шва.

Более высокому уровню статистического давления соответствует меньшее время сварки. При увеличении амплитуды колебаний свыше 25-30 мкм ($P_{ст.} = 0,8$ МПа), время сварки мало уменьшается. Вероятно, что при $A \leq 25-30$ мкм между рабочим торцом волновода и вкладышем нарушается плотный акустический контакт.

Приведенная выше связь между временем сварки впрессовкой и амплитудой колебаний рабочего торца волновода отражает сложные явления, происходящие в процессе впрессовки. Величина времени впрессовки, как и величина (t) для контактной сварки, является интегральной характеристикой процесса. При ограничении длительности ультразвукового импульса по «фиксированной осадке» время впрессовки складывается из:

1 - времени разогрева 1-го V-образного выступа до температуры вязкотекучего состояния;

2 в времени осадки вкладыша до соприкосновения второго выступа со свариваемой пластиной;

3 - времени разогрева второго выступа до температуры вязкотекучего состояния;

4 — времени осадки вкладыша на заданную величину.

В зависимости от A процесс сварки завершается полной или частичной впрессовкой вкладыша. При $P_{ст.}=0.8$ МПа и $A=25-30$ мкм происходит полная впрессовка вкладыша между свариваемыми пластинами. Изменение амплитуды относительно указанного интервала при $P_{ст.} = 0,8$ МПа ведет к оплавлению вкладыша в зоне контакта с рабочим торцом волновода, т.е. часть вкладыша оплавляется, а часть впрессовывается. Переход от полной впрессовки к впрессовке с оплавлением происходит при $A = 30$ мкм, а увеличение A до 40 мкм приводит к тому, что оплавляется около 38-50% (3-4 мм) от общей высоты вкладыша. Следует отметить, что прозрачность сварного соединения является надежным критерием прочности сварного шва. Например, если между отдельными элементами произошло только частичное оплавление, то прозрачность шва уменьшается в результате преломления и рассеяния лучей света на границах воздушной прослойки; если полимер в зоне шва перегрет, т.е. произошла термодеструкция, то прозрачность ухудшается за счет того, что полимер (полиметилметакрилат, полистирол) желтеет [8] .

Существенное влияние на механизм образования сварного соединения и время впрессовки оказывает статистическое давление. Конечно, действие давления всегда необходимо рассматривать совместно с амплитудой смещений рабочего торца волновода.

Статистическое давление при ультразвуковой сварке впрессовкой также как и при контактной ультразвуковой сварке, изменяет коэффициент концентрации энергии в зоне контакта полимер-полимер. Известно, что только при определенном уровне статистического давления обеспечивается акустический контакт между рабочим торцом волновода и свариваемым полимером. Следовательно, для обеспечения полного, акустического контакта между волноводом и вкладышем необходимо повышать, а для увеличения коэффициента концентрации энергии в зоне сварки следует понижать величину статистического давления. Кроме того, повышение статистического давления ведет к линейному падению температуры перехода полимера в вязко текучее состояние.

Таким образом, на основании проведенных нами исследований процесса ультразвуковой сварки впрессовкой образцов полистирола было установлено, что оптимальными параметрами режима являются амплитуда колебаний волновода $A=25-30\text{мм.}$; статическое сварочное давление $P_{\text{ст}}=0.8\text{МПа}$; время сварки $t_{\text{св}}=2.2\text{ сек.}$

Выводы.

1. В результате проведенной работы была разработана технология и приспособление для ультразвуковой сварки впрессовкой соединительного элемента в постоянный зазор.
2. Использование разработанного способа сварки позволяет выполнять качественные стыковые и угловые соединения стержней неограниченной длины из жестких пластмасс, таких как полистирол и полиметилметакрилат.
3. Можно получать стабильные по прочности и прозрачности соединения между пластинами (их может быть 10 и более штук), расположенными параллельно друг другу.
4. Установлено, что удельная мощность, выделяемая в единице объема деталей при ультразвуковой сварке, существенным образом зависит от площади контакта между ними.
5. При конструировании стыков свариваемых деталей необходимо предусматривать разделку кромок для уменьшения площади контакта между ними.
6. В случае применения в конструкции треугольного выступа необходимо угол при вершине последнего брать близким к 90° .

Литература:

1. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 2001, 376с.

2. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2е - изд., перераб. И доп. М, Химия, 1986, 254с.
3. Сварка полимерных материалов: Справочник/ К.И. Зайцев, Л.Н. Мацюк, А.В. Богдашевский и др.; Под общ. Ред. К.И. Зайцева, Л.Н. Мацюк. М: Машиностроение, 1988, 312с.
4. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластических масс: Учебное пособие. М: Химия, 1987, 168с.
5. Гуль В.Е., Акутин М.С. Основы переработки пластмасс. М: Химия, 1985, 399с.
6. Переработка пластмасс: Справочное пособие/Под ред. В.А. Брагинского. Л: Химия, 1985, 296с.
7. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н. Сварка пластмасс. М: Машиностроение, 1978, 224с.
8. Технология и оборудование для соединения изделий из полимерных материалов/ Под ред. Г.Н. Кораба. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1983, 144с.

Исследование скорости звуковых волн в твердых телах с различными дефектами

*ПАЛЬЧЕНКОВ Валентин Александрович
г. Пенза, МБОУ Гимназия №44, 11 класс*

*Научный руководитель:
Шевченко Светлана Юрьевна,
к.н., доцент кафедры «Материаловедение»
МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

Введение

Определение звука на популярном уровне обычно дается, исходя из процесса восприятия звуковых волн человеческим слуховым аппаратом и дальнейшим анализом звуковой информации в мозге человека. То есть звук в нашем понимании – это физическое явление, а именно поперечная волна, которая оказывает действие на слуховой рецептор человека и которая может быть воспринята в нашем мозге как звуковая информация. Частота таких волн лежит в диапазоне от 16 до 20000 Гц, значит, звуком может считаться любая упругая волна, распространяющаяся в среде с частотой, лежащей в данном диапазоне. Упругая волна, выходящая за указанные пределы, человеку не слышна. Волна с частотой менее 16 Гц называется инфразвуковой, с частотой более 20000 Гц – ультразвуковой.

Одной из основных характеристик звука является его скорость, т.е. скорость распространения звуковой волны в данной

среде. Скорость звука в газах и парах (150-1000 м/с) ниже, чем в жидкостях (750-2000 м/с), а в жидкостях ниже, чем в твердой среде (2000-6500 м/с). При нормальных условиях скорость звука в воздухе равна 330 м/с, в воде 1500 м/с.

Величина скорости распространения звуковой волны зависит напрямую от характеристик среды, при изменении этих условий (температуры, плотности, степени объемного сжатия) будет наблюдаться и изменение скорости волны в данной среде. То есть скорость звуковой волны в среде зависит от ее плотности и упругости, этим и объясняется возрастание величины скорости звука в средах: в газах, жидкостях и твердых телах соответственно. Закономерна также и зависимость от температуры и степени сжатия вещества, т.к. механизм распространения волны основан именно на принципе взаимодействия частиц вещества.

Целью моей работы является изучение, а также теоретическое и практическое обоснование принципов распространения звуковой волны в газах и твердых телах.

В работе решали следующие задачи:

- изучение и анализ известных методов измерения скорости звука;
- освоение компьютерной методики обработки данных на основе программы «Logger pro»;
- исследование методов измерения скорости звука в воздухе для анализа и выявления наиболее точного метода;
- освоение методики ультразвуковой дефектоскопии;

- исследование зависимости характеристик акустической волны в твердой среде от дефектов данного материала.

1. Литературный обзор

1.1. Закономерности распространения звуковых колебаний в воздухе.

Французский ученый Марен Марсенн впервые занялся измерением скорости звука в воздухе по совету английского философа Френсиса Бэкона. В 1630 году Марсенн провел эксперимент по определению скорости звука выстрела из мушкета. Зная расстояние от стрелка до наблюдателя и измерив задержку между вспышкой от выстрела и звуком, дошедшим до наблюдателя, Марсенн вычислил скорость звука; она оказалась равна 230 туазам в секунду или 448 м/с в интернациональной системе [1]. В своих трудах «Начала» Исаак Ньютон описал теоретический способ вычисления скорости звука, исходя из предположения, что процесс распространения звуковой волны в газе является изотермическим. По теории Ньютона скорость звука в газах должна определяться формулой, которая в современных обозначениях выглядит следующим образом:

$$v = \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

где v – скорость звука в газе, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура газа, μ – молярная масса газа.

По этим вычислениям скорость звука оказалась равной примерно 290 м/с, что составляет чуть более половины от величины, полученной Марсенном.

В 1738 году измерением скорости звука занялась группа ученых Французской академии наук (Кассини, Пикар, Гюйгенс, Рёмер). Используя метод Марсенна, они экспериментально установили, что скорость звука в воздухе при нормальных условиях равна примерно 337 м/с, а несоответствие значений объяснили несовершенством способа измерения звука. Однако формула Ньютона также не подходила к результатам опыта. Знаменитый ученый Лаплас нашел ошибку в вычислениях Ньютона и выдвинул свою гипотезу о распространении звуковых волн в газах. Лаплас считал этот процесс не изотермическим, а адиабатическим, что позволило исправить формулу Ньютона и вывести новую формулу для определения скорости звука:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

где $\gamma = C_p/C_v$ – отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме (для воздуха – 7/5), v – скорость звука в газе, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура газа, μ – молярная масса газа.

В 1822 году были проведены опыты, направленные на экспериментальную проверку теории Лапласа. Задача была

выполнена, результаты измерения совпали с вычислениями Лапласа и показали, что скорость звука зависит от температуры воздуха. В сухом воздухе при температуре 0°C она равна 331,5 м/с, а при 20°C – 334 м/с [2]. Таким образом, формула Лапласа была признана и доказана экспериментально.

1.2. Закономерности распространения звуковых колебаний в металлах и принципы ультразвуковой дефектоскопии.

Распространение звуковых волн в твердой среде имеет особенности, не являющиеся характерными для газообразной среды. Так, в твердых веществах существуют два вида объемных волн, которые отличаются друг от друга направлением колебания частиц вещества относительно направления распространения волны – продольные и поперечные волны. Скорость распространения продольной волны всегда выше, чем поперечной. Однако наличие двух этих типов волн является причиной возникновения сильных искажений звуковой волны, распространяющейся в твердой среде волны (наблюдается явление дисперсии звука). Качество этих искажений зависит от частоты и степени неоднородности среды. В однородных материалах дисперсия звуковых волн пренебрежимо мала, поэтому для таких сред считается, что направление распространения волны не изменяется.

Механизм распространения звуковой волны в однородной твердой среде, а именно постоянство направления, дает возможность применить это для анализа данной среды. Для акустической волны характерны законы преломления и отражения. Отражение

акустических волн происходит от раздела сред с различными удельными акустическими сопротивлениями. Соответственно, чем больше различаются акустические сопротивления сред, тем большая часть звуковых волн отражается от границы их раздела. Данный принцип лежит в основе анализа твердой среды методом ультразвуковой дефектоскопии.

Этот метод заключается в следующем: генерируется акустическая волна и пропускается через образец исследуемого материала (рис. 1). Волна встречает препятствие в виде границы раздела сред с сильно отличающимися акустическими показателями (воздушные поры, отверстия), отражается и возвращается обратно к источнику, где фиксируется устройством приема. Данные об отраженной волне анализируются в устройстве обработки информации, где происходит построение графиков, показывающих характеристики волны. О наличии границы раздела сред (дефекта) судят по уменьшению энергии ультразвуковых колебаний или по изменению фазы ультразвуковых колебаний, огибающих дефект. Акустическая волна в данном случае имеет высокую частоту, что позволяет отнести такую волну к классу ультразвуковых волн. Такая частота задается неслучайно. Для повышения точности приборов и во избежание возникновения эффекта дифракции волн уменьшают длину волны за счет увеличения частоты колебаний. С другой стороны, при повышении частоты колебаний быстро растет их затухание, что сокращает возможную область контроля.

Практическим компромиссом стали частоты в диапазоне от 0,5 до 10 МГц [3-4].

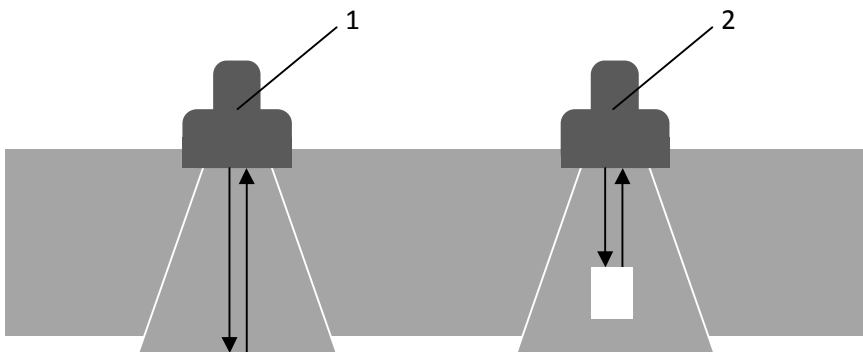


Рис. 1. Принцип работы совмещенного излучателя и приемника акустических волн в УЗ дефектоскопе. 1-положение излучателя над однородной средой без дефекта; 2-положение излучателя над дефектом

2.1. Определение скорости звука в воздухе методом стоячих волн

Скорость распространения звука в воздухе можно найти по формуле:

$$v = \lambda \cdot \nu = \frac{\lambda}{T} \quad (1),$$

если в процессе эксперимента измерить длину волны λ , создаваемой источником звука известной частоты ν .

Для измерения длины волны в данном варианте применяется метод стоячих волн. Схема используемой для этого установки изображена на рис.2. Синусоидальный электрический ток заданной

частоты, поступающий от звукового генератора (ЗГ) 1, приводит в колебание с той же частотой мембрану телефона 2, расположенного на одном из концов полой трубки 3. Второй конец трубы закрыт поршнем 4, который может перемещаться вдоль трубы.

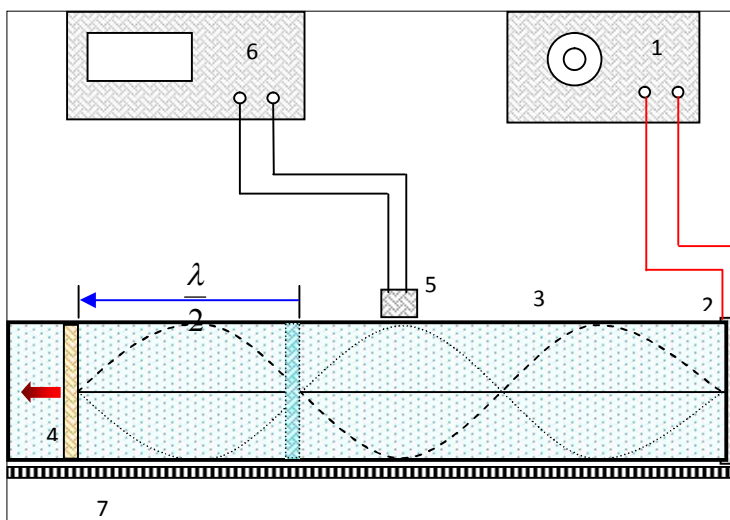


Рис. 2. Схема установки для измерения длины волны. 1-звуковой генератор; 2-мембрана «динамика»; 3-стеклянная трубка; 4-подвижный поршень; -микрофон; 6-осциллограф; 7-миллиметровая шкала

Колебания мембраны телефона возбуждают в столбе воздуха звуковую волну, уравнение которой имеет вид:

$$\varepsilon = A \cdot \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right) \quad (2)$$

где ε - смещение точки от положения равновесия, x - координата точки, ω - круговая частота колебаний точек, v – скорость волны.

Эта волна интерферирует с волной, отраженной от поверхности поршня

$$\varepsilon_1 = A \cos \left(\omega \left(t - \frac{L + (L - x)}{v} \right) \right) \quad (3)$$

Если выполнено условие кратности длины воздушного столба полуволне

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}; \text{ то}$$
$$\varepsilon_1 = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right).$$

После сложения двух колебаний получаем уравнение стоячей волны

$$\varepsilon = A \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right) \cdot \cos(\omega t) \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что в каждой точке волнового поля колебания происходят с одной и той же частотой и амплитудой, зависящей от координаты точки. Точки, в которых колебания происходят с удвоенной амплитудой, называются пучностями стоячей волны. Точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю, называются узлами стоячей волны.

Распределение узлов и пучностей стоячей волны в трубе в момент, когда у патрубку микрофона 8 образуется пучность

показано на рис. 2. У поверхности поршня 4 фаза колебания меняется на противоположную фазу, и там всегда образуется узел стоячей волны. Поэтому на длине резонирующего столба воздуха укладывается целое число полувольт, соответствующих частоте колебаний мембраны телефона.

При резонансе колебания воздуха в трубе имеют максимальную интенсивность. Усиления или ослабления колебаний воздуха при перемещении поршня воспринимаются микрофоном 5 и уже в виде электрического сигнала подаются на осциллограф 6.

Обозначим через L_1 положение поршня (отсчет по миллиметровой шкале 7), соответствующее резонансу при минимальной длине воздушного столба. При этом патрубок микрофона 8 должен находиться между телефоном и поршнем. Через L_n обозначим положение поршня, соответствующее максимальной длине столба воздуха, при котором наблюдается резонанс. Пусть n – число наблюдаемых максимумов, включая крайние положения (рис. 2). Как следует из рисунка, между этими положениями поршня уместится $(n-1)$ полувольт $(\lambda/2)$. Тогда длину волны λ можно определить по формуле

$$\lambda = \frac{2(L_n - L_1)}{n - 1} \quad (5)$$

Частота известна, задается на генераторе, а длину волны рассчитываем. И, подставив частоту и полученную длину волны в формулу (1), найдем скорость распространения звука в воздухе.

Изучив различные методы измерения скорости звука, я остановился на двух методах: метод измерения скорости звукового импульса, метод измерения сдвига фаз по ходу звуковой волны. Оба метода являются осциллографическими. Для осциллографирования используется компьютер и готовая программа Logger Pro.

С помощью этих методов измеряли скорость звука при различной температуре воздуха (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид установки по исследованию скорости звука в воздухе.

Скорость звука измеряли в трубе диаметром 10 см. В качестве нагревателя использовали комнатный обогреватель с феном. Температуру определяли термопарой. Расстояние между датчиками звука (микрофонами) было фиксированным и равнялось 1 м.

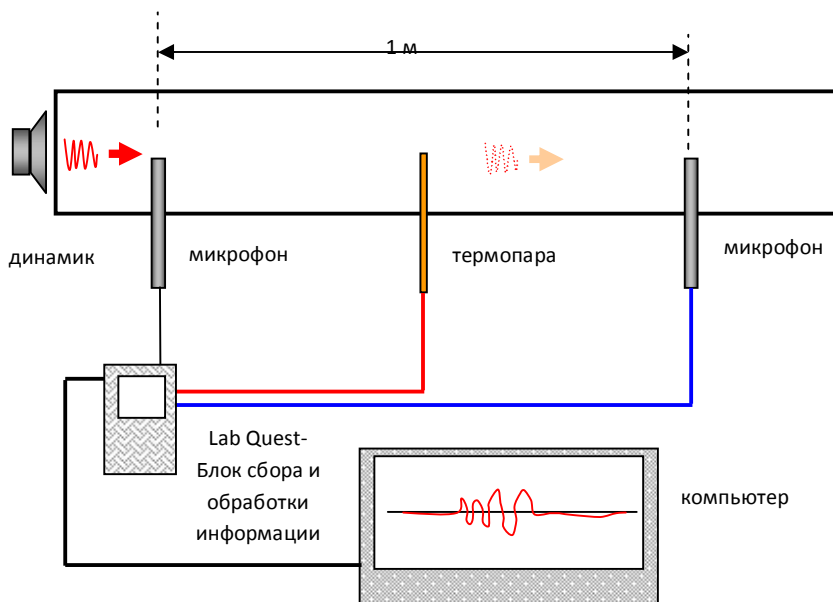


Рис. 4. Общая схема экспериментальной установки для определения скорости звука осциллографическим методом.

2.2. Методика определения наличия дефектов в металлических телах.

Ультразвуковой эхо-импульсный метод дефектоскопии основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в акустически прозрачных материалах и отражаться от границы раздела двух сред с различными акустическими свойствами. Ультразвуковые колебания (УЗК) в акустически прозрачной среде распространяются в виде ультразвуковых волн на значительные расстояния и без существенного ослабления. Интенсивность УЗК I_x на расстоянии x от

излучателя зависит от акустических свойств среды, характеризующих коэффициентом линейного затухания α , и их начальной интенсивности I_0 :

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x}$$

Затухание УЗК в среде зависит от характера упругих связей и строения вещества, частоты колебаний и других факторов.

Важной характеристикой среды является её акустическое сопротивление Z , которое определяет условия прохождения и отражения УЗК от границы раздела двух сред. Оно определяется произведением плотности среды ρ на скорость распространения в ней звука C :

$$Z = \rho C$$

Акустические сопротивления газов и металлов соотносятся между собой соответственно, как 1:10000, поэтому выявить границу раздела этих сред методом введения УЗК относительно легко. При равенстве акустических сопротивлений контактирующих сред УЗК без отражения переходят из одной среды в другую. При других соотношениях акустических сопротивлений происходит частичное или полное отражение ультразвука от границы раздела. Так, от границы раздела «металл—воздух» происходит практически полное отражение УЗК, что позволяет проводить точный анализ дефекта в объеме металлического тела.

Основной частью излучателя УЗК является т.н. пьезоэлектрический преобразователь. Он представляет собой пластинку, изготовленную из пьезокерамического материала

(титаната бария, цирконата-титаната свинца и др.). Если пьезопластинку сжимать или растягивать, то на её электродах возникают электрические заряды (такой процесс называется прямым пьезоэффектом). Если пластинку поместить в переменное электрическое поле, то её геометрические размеры будут изменяться и возникнут механические колебания (обратный пьезоэффект).

При подаче на пластинку напряжения возникают вынужденные колебания. Колебания пластины, при определённых условиях, переходят в другую среду, с которой она контактирует. С другой стороны, УЗК могут поступать на пластину из внешней среды. При этом на её электродах возникает переменное электрическое напряжение. Устройства, предназначенные для ввода, приема и преобразования УЗК, называют искательными головками или ультразвуковыми щупами.

Процесс поиска дефектов в металлах при помощи эхоимпульсного метода заключается в следующем. УЗ щуп помещается на предварительно смазанную поверхность исследуемого образца. Пока дефект не попадет в область распространения УЗ волны, прибор будет получать данные об отражении волны от противоположной стороны детали. Если же дефект оказался в радиусе излучения волны, а отраженная волна оказала влияние на пластину преобразователя, то прибор фиксирует новые данные, а именно разность интенсивности распространения УЗК для данной среды с заданными параметрами акустического сопротивления при

излучении и при отражении, то есть значение величины в момент «входа» и «выхода» [6].

Результаты измерения скорости звука в воздухе

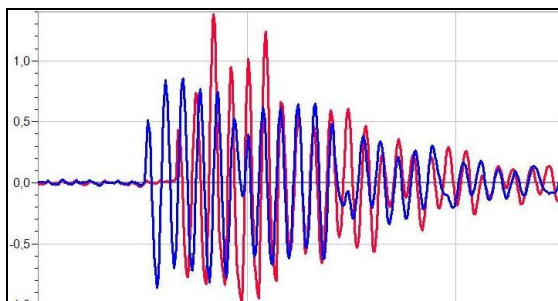


Рис. 5. Осциллограмма звукового импульса, измеренная двумя микрофонами.

Синий цвет – ближний микрофон, красный цвет – микрофон «запаздывания».

Схематическое изображение данного принципа было описано на рисунке 1.

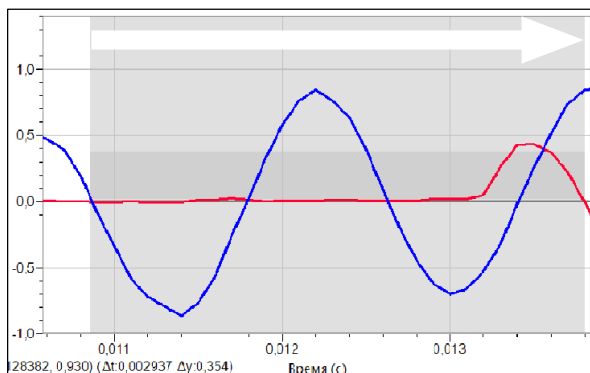


Рис. 6. Фронтальный (начальный) участок осциллограммы звукового импульса.

Фазовый метод

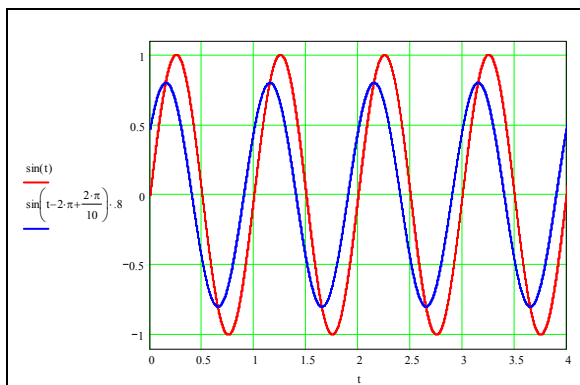


Рис. 7. Оциллограмма длительности звучания «динамика», записанная двумя микрофонами.

На данном рисунке сдвиг фаз между двумя колебаниями не кратен 2π . Подбором частоты добиваемся сдвига фаз между двумя колебаниями равного 2π . Для данного сдвига фаз и расстояния между микрофонами в один метр частота сигнала должна быть равна

$$\Delta\varphi = 2\pi f \cdot \frac{x}{v} = 2\pi \quad \rightarrow \quad f = \frac{v}{x} \approx 340 \text{ герц.}$$

«Встроенная» математика оциллограмм позволяет аппроксимировать полученные графики гармоническими функциями. Это позволяет с повышенной точностью определять частоту колебаний и сдвиг фаз между двумя колебаниями. Следующий модельный график (рис. 9) иллюстрирует эту идею.

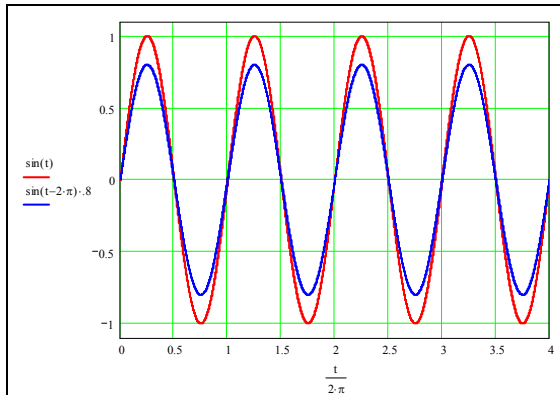


Рис. 8. Осциллограмма, соответствующая сдвигу фаз равному 2π .

При неточном сдвиге фаз в 2π скорость звука вычисляется по формуле

$$v = \frac{2\pi f \cdot x}{\Delta\varphi}.$$

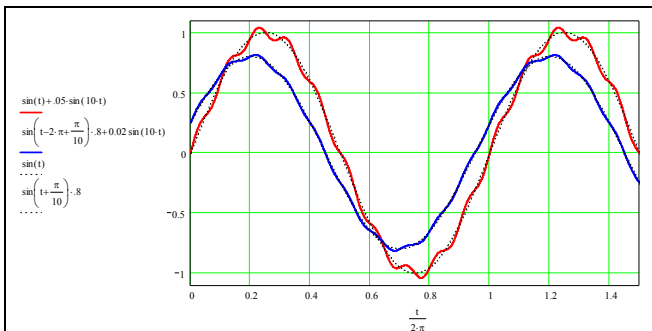


Рис. 9. График, иллюстрирующий аппроксимацию искаженных сигналов гармоническими функциями.

Экспериментальные данные по измерению скорости звука представлены в виде листингов MathCAD (а). Каждая

температурная точка измерялась три раза. В таблицах представлены усредненные результаты. В ходе эксперимента была выявлена зависимость показаний датчиков (микрофонов) от разности температур датчиков.

На листинге (рис. 10) представлены результаты двух методов измерения : импульсный метод и метод бегущей волны или метод фазы. На данном листинге первая колонка данных относится к методу импульса. Время в миллисекундах. Последующие данные относятся к методу фазы.

На графике сплошная синяя линия соответствует теоретической формуле Лапласа. Данные обозначенные кружком соответствуют методу импульса. Экспериментальные данные, отмеченные квадратом, соответствуют методу фазы. Следует отметить хорошее совпадение угла наклона экспериментальной линии (метода импульса) с наклоном теоретической линии.

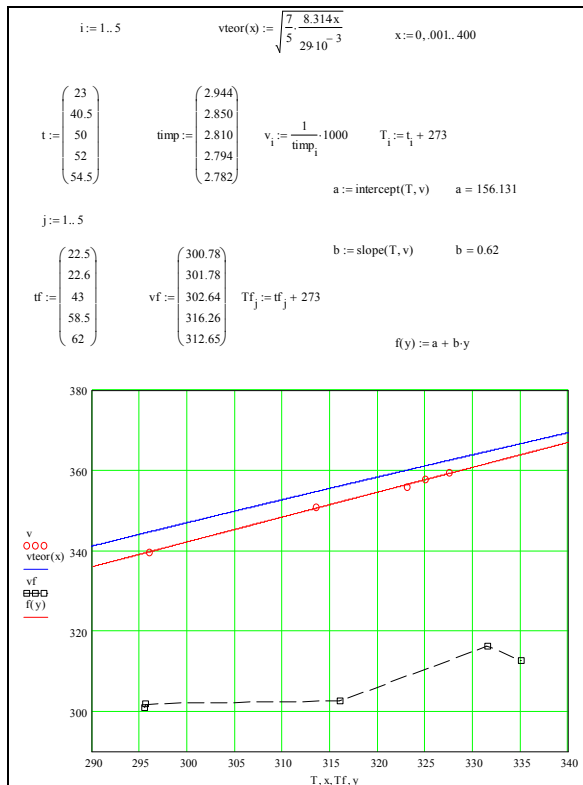


Рис. 10. Листинг результатов измерения методом импульса.

Результаты исследования акустических волн в металлических образцах.

В качестве исследуемых образцов использовали два металлических бруска равных габаритных размеров. В каждом из них были сделаны три отверстия равного диаметра, но на разной глубине. Таким образом, граница раздела сред лежит на глубинах 5мм, 15мм и 30мм, а площади этих границ – 2,5 и 5мм² в первом и втором бруске соответственно. Чертежи представлены на рисунках

11 и 12. Сорт металла – сталь-20. Подобные тела с отверстиями служат вспомогательными объектами для настройки и калибровки дефектоскопа. При известной глубине залегания плоского «дна» отверстия дефектоскоп настраивают на нужный показатель, тогда при дальнейших измерениях прибор сопоставит величины интенсивности УЗ волн, что повысит точность анализа вещества.

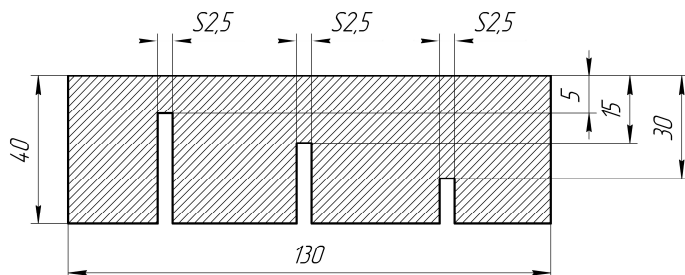


Рис. 11. Чертеж образца 1.

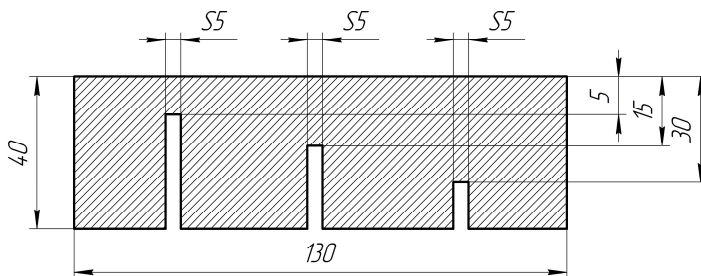


Рис. 12. Чертеж образца 2

На рис. 13 и 14 представлены показания прибора в исследовании отверстий площадью 5мм^2 и $2,5\text{мм}^2$ соответственно на глубине 5мм. График фиксирует сигнал, отраженный от границы

раздела сред. По горизонтальному сдвигу графика сигнала определяется глубина залегания дефекта.

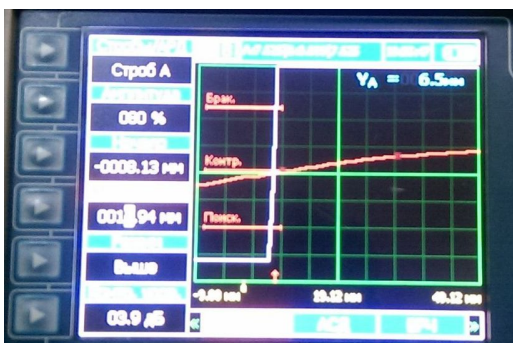


Рис. 13. Показание дефектоскопа при анализе отверстия на 5мм площадью 5 мм²

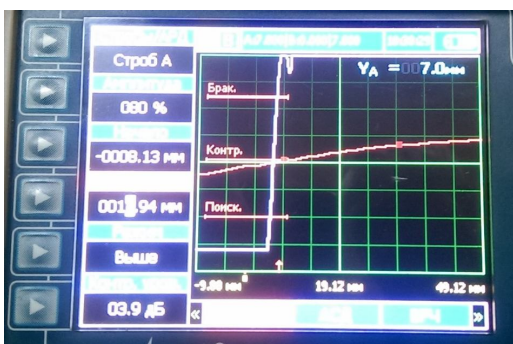


Рис. 14. Показание дефектоскопа при анализе отверстия на 5мм площадью 2,5 мм²

В углу экрана величина $У_A$ показывает расстояние от щупа на поверхности детали до глубины, на которой отражается УЗ волна, то есть глубины залегания дефекта. В данном случае эта величина равна 6,5мм и 7мм, что отличается от истинной глубины залегания отверстия – 5мм, причем для границы раздела сред площадью 5мм² значение ближе к истинной глубине. Это объясняется тем, что волна излучается не прямо вертикально, а с отклонениями на какой-то

угол. Поэтому на малой глубине и при малой площади границы раздела сред волна отражается не полностью, что вводит сильные искажения и, как следствие, погрешности в расчетах. Чем больше площадь, тем шире диапазон отражения волны, а значит и точнее показания прибора.

На глубине залегания 15мм и 30мм погрешности относительно малы, поскольку отклонение волны от вертикали меньше. На рисунках 15 и 16 показаны фотографии экрана прибора при исследовании отверстия на глубине 15мм.

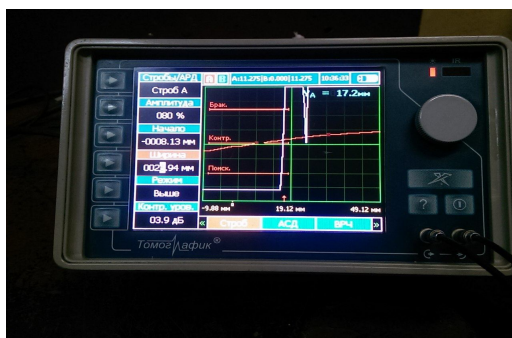


Рис. 15. Показание дефектоскопа при анализе отверстия на 15мм площадью 5 мм².

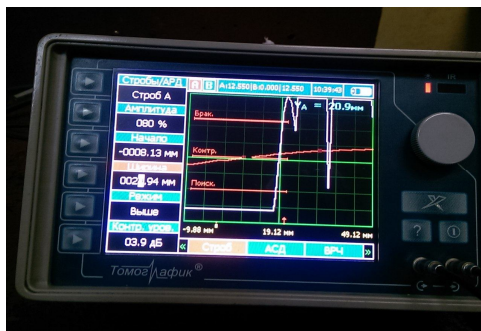


Рис. 16. Показание дефектоскопа при анализе отверстия на 15мм площадью 2,5 мм².

Видно, что на площади $2,5\text{мм}^2$ погрешность также больше, чем на площади 5мм^2 . На рисунках 17 и 18 видно, показания прибора для отверстий на глубине 30мм значительно точнее. Относительное отклонение волны в данном случае минимально, поэтому точность повышается. Теоретический механизм распространения акустической волны подтверждается при исследовании показаний дефектоскопа. Конусообразная траектория распространения волны в металлах является причиной искажения данных, получаемых прибором, об интенсивности волны в среде.



Рис. 17. Показание дефектоскопа при анализе отверстия на 30мм площадью 5мм^2

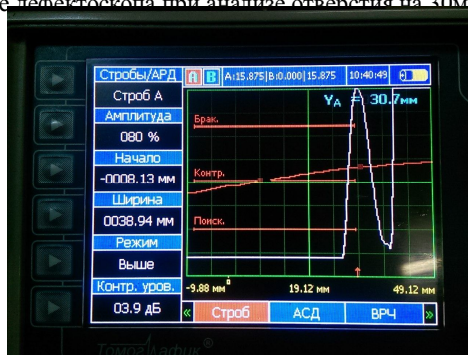


Рис. 18. Показание дефектоскопа при анализе отверстия на 5мм площадью $2,5\text{мм}^2$

Выводы:

1. В работе изучены основные методы измерения скорости звука.
2. Освоены компьютерные осциллографические методики измерения скорости звука (метод импульса, метод фазы).
3. Проведены экспериментальные измерения скорости звука методом компьютерного осциллографирования (импульсный режим, непрерывный режим) при различных температурах воздуха.
4. Проведен анализ экспериментальных результатов. Импульсный метод дает экспериментальные результаты, достаточно хорошо согласующиеся с теоретической зависимостью Лапласа. Метод сдвига фаз приводит к результатам с заметной систематической ошибкой.
5. Были проведены исследования металлических тел с дефектами на предмет изменения характеристик акустической волны в данной среде.
6. Подтверждены теоретические принципы распространения волны в твердой среде измерениями характеристик волны с помощью УЗ дефектоскопии.

Литература:

1. Техника – молодежи. №10-11 М.,1939.

2. Михайлов И. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964.
3. В. Н. Волченко Контроль качества сварки / Под ред. В. Н. Волченко. — Учебное пособие для машиностроительных вузов. — М.: Машиностроение, 1975. — 328 с.
4. Клюев В. В. Неразрушающий контроль. Том 3. П.5.1.3.1.
5. Лабораторные занятия по физике. Под редакцией Л.Л. Гольдина, М., Наука, 1983, с. 208.
6. Ультразвуковой эхо-импульсный метод неразрушающего контроля: методическое пособие/ Д.Ю. Киселев – Самара: СГАУ, 2010.

Исследования комбинированного пневматического привода

ШЕВЧЕНКО Виталий Александрович

г. Яхрома, СОШ №3, 11 класс

Научный руководитель:

*Степанов Степан Александрович,
ассистент кафедры «Электронные
технологии в машиностроении»
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Введение. В настоящее время электронная промышленность выпускает широкий ассортимент изделий и компонентов, в том числе полупроводниковые диоды. На НПП ТЭЗ в настоящее время производится широкий ассортимент полупроводниковых диодов. Главным элементом большинства из них является кремниевый диск-кристалл, со сформированным на нем р-п переходом. Такие диоды имеют пробойное напряжение порядка 400В.

Рассмотрим конструкцию типичного полупроводникового выпрямительного СВЧ-диода, выпускаемого предприятием, на примере диода Д273К телевизионной серии.

Общий вид диода Д237К представлен на рисунке 1. Строение диода представлено на рисунке 1б. Диод состоит из следующих элементов: кремниевого диска-кристалла 1, к которому через молибденовые штифты 2 крепятся металлические выводы 3. Полученная конструкция покрывается слоем стекла 4, обеспечивающего ему защиту от внешних воздействий.

Основным элементом диода является диск-кристалл. Он определяет 80% стоимости диода, что определяет высокое значение выхода годных для изготовления дисков-кристаллов. Поскольку и молибденовые штифты, и металлические выводы, имеют цилиндрическую форму, для удобства сборки диску-кристаллу также придается цилиндрическая форма.

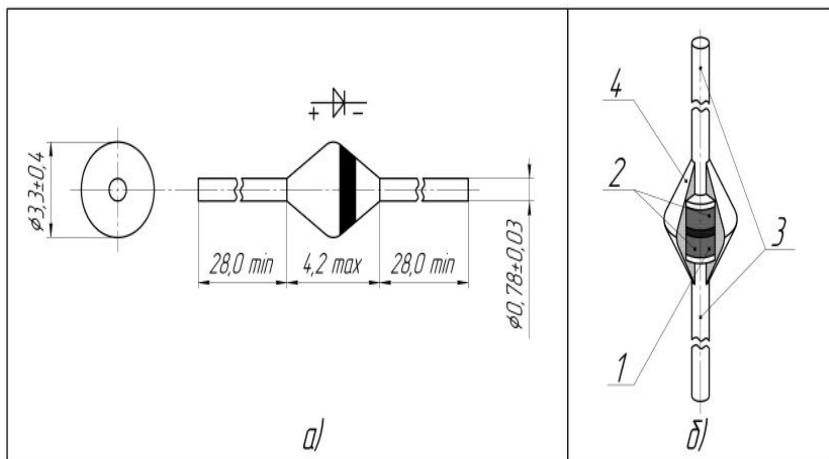


Рис. 1. Диод: а) общий вид диода; б) конструкция диода. Обозначения: 1 – диск-кристалл,

2 – молибденовые штифты, 3 – металлические выводы, 4 – слой стекла.

Краткая характеристика диода представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика диода Д273К.

Характеристика	Значение
Номинальный ток (А)	0,3
Повторяющееся импульсное напряжение (В)	400
Масса (не более), (г)	0,5
Допустимая рабочая частота	1,0

напряжения (кГц)	
Рабочая температура окружающей среды	+125°C – 60°C
Среднее прямое напряжение (при $I_{пр.}$ – номинальное), (В)	1,0
средний обратный ток (при нормальном значении импульсного обратного напряжения), (мкА)	≤ 50
- при $T_{ос.} = +25^\circ \text{C}$	≤ 100
- при $T_{ос.} = +125^\circ \text{C}$	
Средний прямой ток (мА)	300

1. Технология изготовления диска-кристалла.

1.1 Общая технология изготовления диска-кристалла.

Диск-кристалл изготавливается из кремниевых пластин диаметром 76 мм и толщиной 250...450 мкм, на которых путем легирования бором и фосфором сформирован р-п-р переход.

Пластину одной стороной наклеивают на стеклянную подложку. На другой стороне пластины наносится маскирующее покрытие из металлических дисков, диаметр которых соответствует требуемому размеру диска-кристалла. Затем пластина помещается в кассету и подвергается пескоструйной обработке. После обработки пластина (рис. 2) представляет собой набор полупроводниковых кремниевых дисков-кристаллов, нижней поверхностью приклеенных к стеклянной подложке, а на верхней поверхности сохранивших маскирующий металлический диск. После

пескоструйной обработки пластины подвергаются кратковременному травлению, которое устраняет мелкие дефекты на боковой поверхности диска-кристалла. В дальнейшем пластина помещается в ацетон для разрушения клеевого слоя. После чего стеклянную подложку и маскирующие диски удаляют, а полученные диски-кристаллы проходят контроль на соответствие размеру и отсутствие крупных дефектов. Оставшиеся кристаллы проходят контроль электрических параметров и отправляются на дальнейшее производство.

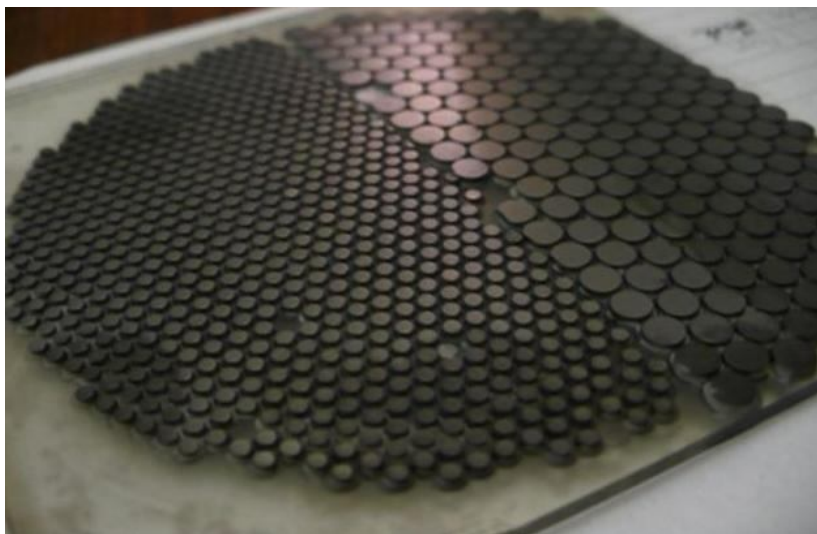


Рис. 2. Кремниевая пластина после пескоструйной обработки.

1.2. Пескоструйная обработка кремниевой пластины.

Принципиальная схема пескоструйной обработки представлена на рис 3. Для обработки маскированных пластин 8 в

пескоструйной камере 4 используют струйно-абразивные сопла 9. Абразивный материал всасывается в каждое сопло 9 из бункера 6 по гибкому трубопроводу за счет разряжения, создаваемого струей сжатого воздуха, выходящего из патрубка 3 в корпус сопла.

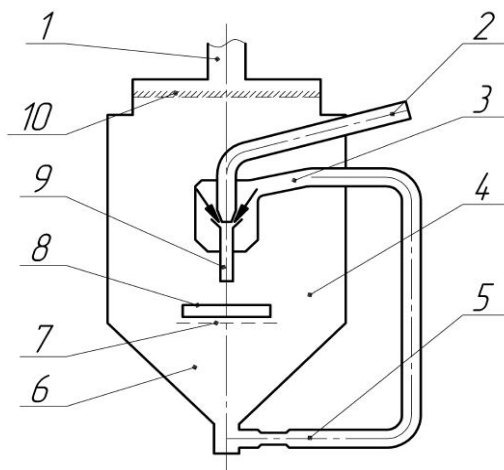


Рис. 3. Принципиальная схема пескоструйной обработки кремниевой пластины.

Обозначения: 1 – вытяжная вентиляция; 2 – гибкий трубопровод для подвода сжатого воздуха; 3 – трубопровод для абразивного материала; 4 – рабочая камера проходного типа; 5 – дозатор расхода абразивного материала; 6 – бункер для сбора абразива; 7 – механизм подачи пластин; 8 – обрабатываемая пластина; 9 – обрабатывающее сопло; 10 – фильтр осаждения абразивного порошка.

Для предотвращения выноса из камеры абразивных частиц с отработанным потоком воздуха на входе вытяжной вентиляции 1 установлен фильтр-отрагатель 10 потока абразива. Схема обработки осуществляется в установках обычно в режиме непрерывной подачи пластин 8 с помощью транспортера 7 через шлюзы рабочей камеры при быстром возвратно-поступательном движении обрабатывающих сопел 9. Кроме основного

технологического оборудования для процесса разделения пластин пескоструйным способом, требуется вспомогательное оборудование (установки): для маскирования кремниевых пластин, травления дисков-кристаллов после резки, их отделения от защитных экранов и сепарации.

1.3. Опытная установка пескоструйной резки кремниевых пластин.

Для разделения кремниевых пластин на диски-кристаллы на НПП ТЭЗ используется опытная установка пескоструйной резки, разработанная с участием специалистов кафедры МТ-11. Общий вид установки представлен на рис.4.



Рис. 4. Общий вид опытной установки пескоструйной резки, НПП ТЭЗ.

Данная установка пескоструйной резки имеет производительность 10-12 пластин/ч и позволяет за время обработки произвести удаление материала подложки между

защитными дисками на глубину на 40..50% большую её толщины. После резки, маскированная защитными дисками, подложка состоит из набора полупроводниковых дисков-кристаллов, закреплённых на стеклянной пластине и разделённых между собой промежутками не более 350 мкм.

Характеристика установки:

- давление сжатого воздуха на входе рабочих сопел:
не менее 0.30 МПа;
- скорость сканирования сопел:
0,05...0,07 м/с или 0,18...0,22 м/с;
- скорость транспортера:
0,25 мм/с;
- тип абразивный материал:
электрокорунд С80;
- объем загружаемого абразивного материала:
10 - 12 л;
- расход абразивного материала через рабочее сопло:
6-8 см³/с.

Схема установки представлена на рис. 5.

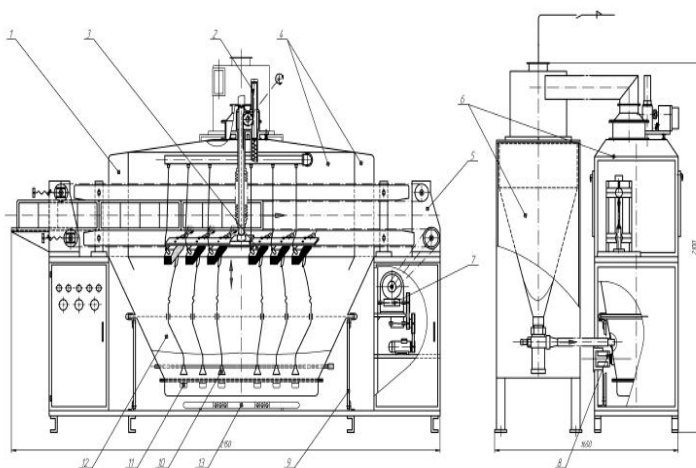


Рис. 5. Схема опытной установки пескоструйной резки, НПП ТЭЗ. Обозначения: 1 - кассеты с обрабатываемыми пластинами, 2 – механизм подачи рабочих сопел, 3 - кронштейн с рабочими соплами, 4 - рабочая камера с отсеками обеспыливания кассет на выходе, 5 - транспортер цепной для подачи кассет, 6 - центробежный циклон с пневмонасосом подачи абразивного порошка, 7 - привод цепного транспортера, 8 - электровибратор бункера, 9 - плоская пружина подвески бункера, 10 - заборники абразивного порошка, 11 - аэроднище бункера с дозаторами, 12 - бункер для сбора абразивного порошка, 13 - пневмораспределитель

Установка состоит из следующих функциональных блоков:

- механизм подачи рабочих сопел,
- кронштейн с рабочими соплами,
- рабочая камера с отсеками обеспыливания кассет на выходе,
- транспортер цепной для подачи кассет,
- центробежный циклон с пневмонасосом подачи абразивного порошка,

- привод цепного транспортера,
- электровибратор бункера,
- плоская пружина подвески бункера,
- заборники абразивного порошка,
- аэроднище бункера с дозаторами,
- бункер для сбора абразивного порошка,
- пневмораспределитель.

Рассмотрим каждый элемент установки по отдельности.

1) Механизм подачи рабочих сопел.

Задача механизма – придать блоку с рабочими соплами возвратно – поступательное движение в вертикальной плоскости.

2) Кронштейн с рабочими соплами.

На кронштейне равномерно размещены шесть рабочих сопел. Механизмом подачи рабочих сопел ему сообщается возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости.

3) Рабочая камера с отсеками обеспыливания кассет на выходе

В ее рабочем объеме находятся элементы цепного механизма для подачи кассет и механизма для подачи рабочих сопел вместе с самими соплами, закрепленными на кронштейне. В камере происходит непосредственная обработка маскированных кремниевых пластин, которые подаются в нее транспортером в кассетах по пять пластин. На выходе из камеры для уменьшения количества выносимого за ее пределы абразивного материала установлен механизм обеспыливания.

4) Транспортер цепной для подачи кассет.

Обеспечивает горизонтальное поступательное перемещение кассет по бункеру. Состоит из двух цепей – верхней и нижней, имеющих привод. Между ними и перемещается кассета. Каждое второе звено цепи снабжено специальной пластинкой для перемещения кассет с маскированными кремниевыми пластинами. Эти пластины изнашиваются через определенное количество смен. Происходит их стачивание из-за обработки абразивным материалом, когда цепь проходит в зоне резания. Транспортёр снабжен механизмом натяжения.

5) Центробежный циклон с пневмонасосом подачи абразивного порошка.

В циклон подается воздух, забираемый из рабочей камеры установки. В этом воздухе присутствует множество фракций таких материалов, как абразивный порошок, кремний или металл. Циклон используется для первоначальной очистки этого загрязненного воздуха. Отсеиваются зерна абразивного материала, которые попадают в нижний бункер. Воздух, прошедший первоначальную очистку, поступает в систему вытяжной вентиляции цеха, или же к фильтру (на других установках), где происходит его окончательная очистка. Из бункера, расположенного внизу циклона, пневмонасос перекачивает регенерированный абразивный материал в бункер установки.

6) Привод цепного транспортера.

Обеспечивает работу цепного транспортера. Состоит из электромотора, двух редукторов и двух ременных передач.

7) Электровибратор бункера.

Обеспечивает вибрацию бункера для сбора абразивного материала. Бункер расположен на подвеске, состоящей из четырех плоских пружин, расположенных вертикально. Вибромотор задает бункеру частоту колебаний, необходимую и достаточную для того, чтобы абразивный материал, находящийся в нем, не слеживался, а оставшийся на стенках – ссыпался на дно.

8) Плоская пружина подвески бункера.

Подвеска бункера состоит из четырех таких пружин, закрепленных по его углам. Противоположными концами они закреплены на раме установки.

9) Заборники абразивного порошка.

Задача – обеспечить транспортировку (подачу) абразивного материала к рабочим соплам. Каждый заборник размещен над соответствующим клапаном барбatera. Равномерность подачи абразива зависит от взаимного расположения оси заборника и клапана. Попавший в заборник абразивный материал по гибкому шлангу подается к рабочим соплам.

10) Аэроднище бункера с дозаторами (аэробарбатер).

Воздух, поступающий через шесть клапанов барбatera, встряхивает поступающий в бункер абразивный порошок. Это, наряду с нагревателем и колебаниями бункера, не позволяет абразиву слипаться. Над клапанами расположены заборники абразивного материала. Порошок поступает в них за счет поднимающего их воздуха, подведенного к клапанам.

11) Бункер для сбора абразивного порошка.

В бункер сыпается вырвавшийся из сопел и потерявший энергию абразивный порошок. В нем закреплены элементы и компоненты, обеспечивающие повторное использование попавшего в него абразивного материала. Барбатер, электровибратор вместе с системой подвески и нагреватель не дают порошку слеживаться. Через заборники абразивного материала и гибкие трубки порошок подается к рабочим соплам.

12) Пневмораспределитель.

Поступающий в него воздух подается на шесть клапанов барбатера через собственный выход и гибкую трубку. Контур пневмораспределителя выполнен в виде замкнутого контура с целью обеспечения одинакового давления во всем распределителе.

2. Анализ вариантов приводов механического перемещения сопел.

2.1 Зависимость результатов резания от равномерности перемещения сопел вдоль пластины.

Абразивный материал подается на обрабатываемую пластину через рабочее сопло, совершающее прямолинейное возвратно-поступательное движение вдоль обрабатываемого участка пластины (рис. 6) перпендикулярно направлению ее движения

Качество резания зависит от количества абразивного материала, попадающего на единицу поверхности в единицу времени. На этот параметр влияет скорость возвратно-

поступательного движения сопел и давление на входе рабочих сопел.

$$S_{\text{песка}} = f(V, S, t),$$

где S песка – количество попадающего на поверхность пластины песка за время t ;

t , с – время обработки пластины;

V , мм/с – скорость сканирования сопел;

S , мм³/с – количества песка, проходящее через сопло в единицу времени.

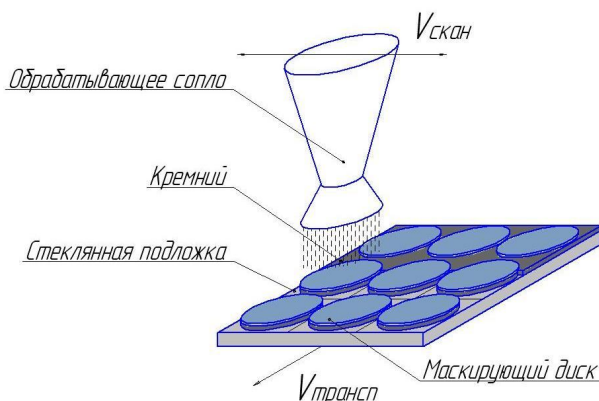


Рис. 6. Пескоструйная обработка маскированной кремниевой пластины.

Режим резки имеет следующие параметры:

Давление сжатого воздуха на входе рабочих сопел:

не менее 0.30 МПа.

Скорость сканирования сопел:

0,05...0,07 м/с или 0,18...0,22 м/с.

Скорость транспортера:

0,25 мм/с.

Величина зерен абразивного материала:

в

среднем - 29 мкм (20...40 мкм).

Таким образом, при прочих равных параметрах, качество обработки пластин обеспечивается постоянством скорости перемещения сопел вдоль нее, то есть равномерностью перемещения исполнительного звена привода механизма сканирования, к которому монтируется планка с обрабатывающими соплами.

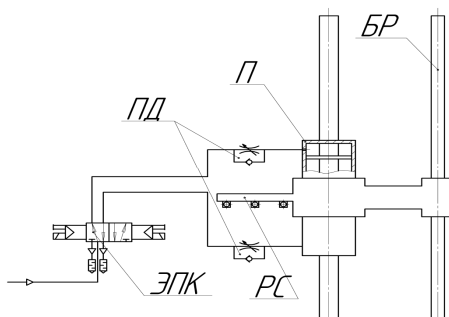
Проанализируем конструкции трех приводов механизма сканирования для установки: пневматический, электромеханический и пневматический комбинированный.

2.2. Пневматический привод.

Общий вид привода и комплексно-принципиальная схема привода представлен на рис 7. Привод состоит из поршня П, в который через электропневматический клапан ЭПК и два пневмодросселя ПД подается сжатый воздух. Поршень совершает возвратно поступательные движения по штоку. На каждом поршне крепится по три рабочих сопла РС, которые уравниваются балансировочной рейкой БР.



а)



б)

Рис. 7. Пневматический привод: а) общий вид, б) комплексно-принципиальная схема.

Краткие характеристики привода:

- скорость сканирования, мм/с: 0,2;
- тяговое усилие на кронштейне с соплами, Н: не менее 50;
- амплитуда сканирования, мм: 100;
- неравномерность скорости при поднимании/опускании, %: до 50;
- ресурс работы, год: 2.

К плюсам привода можно отнести: простота конструкции.

К минусам привода можно отнести:

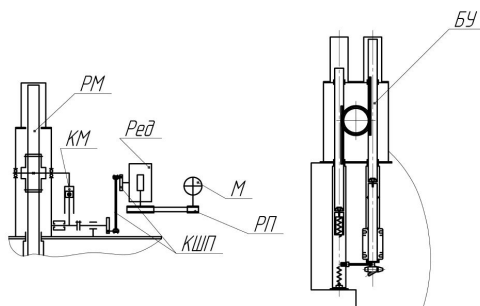
- необходимость размещения двух приводов в установке;
- неравномерность скорости подачи сопел, увеличивающейся с течением эксплуатации;
- большое время зависания в крайних точках;
- быстрый износ деталей (в течение одного года).

2.3. Электромеханический привод.

Общий вид электромеханического привода представлен на рис 8.



а)



б)

Рис. 8. Электромеханический привод.

Привод (рис. 8,б) состоит из электромотора М, ременной передачи РП, червячного редуктора Ред, кривошипно-шатунной передачи КШП, кулисного КМ и реечного РМ механизмов, соединенных последовательно. Вращательное движение вала электромотора преобразуется в возвратно-поступательное движение реечного механизма, на котором закреплены обрабатывающие сопла. На кронштейне реечного механизма закреплены все шесть обрабатывающих сопел, уравновешенных балансирным устройством.

Краткие характеристики привода:

Скорость сканирования кассет с пластинами (max), м/с: 0,2;
Тяговое усилие на кронштейне с соплами, Н: не менее 100;
Амплитуда сканирования, мм: 100;
неравномерность скорости при поднимании/опускании, %: до 5;
Ресурс работы, год: не менее 7;
Необходимое количество на одну установку: 1.

К плюсам привода можно отнести:

- высокую надежность привода (работает без замены элементов уже семь лет);
- равномерность скорости сканирования;
- простота конструкции и эксплуатации.

К минусам привода можно отнести:

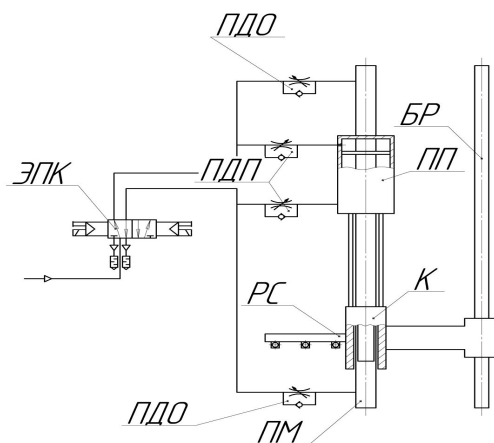
- невозможность увеличить частоту сканирования привода без кардинальной замены его элементов.

2.4. Комбинированный пневматический привод

Общий вид и схема комбинированного пневматического привода представлены на рис 9.



а)



б)

Рис. 9. Комбинированный пневматический привод: БР – балансирная рейка, ПД – пневмодрессель, ПП – поршень, ПДО – пневмодрессель обратный, ПДП – пневмодрессель прямой, РС – рейка с соплами, ЭПК – электропневматический клапан, ПМ – пневмоцилиндр с магнитным поршнем.

Привод разработан в рамках НИОКР, направленных на создание привода на основе стандартных элементов. Привод состоит из двух поршней – обычного пневматического и пневмоцилиндра с магнитным поршнем.

Краткие характеристики привода:

Скорость сканирования кассет с пластинами (max), м/с: 0,2;
 Тяговое усилие на кронштейне с соплами, Н: не менее 200;
 Амплитуда сканирования, мм: 60...120;
 неравномерность скорости при поднимании/опускании, %: 5;
 Ресурс работы, год: не известно;
 Необходимое количество на одну установку: 1.

К плюсам привода можно отнести:

- простота конструкции и эксплуатации;
- легко регулирующаяся амплитуда сканирования (в рамках возможностей реечного механизма).

К минусам привода можно отнести:

- задержки в крайних точках траектории движения сопел.

2.5 Сравнительная характеристика приводов.

Сравнительные характеристики всех трех приводов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика приводов сканирования.

Параметр	Пневматический	Электромеханический	Комбинированный пневматический
Скорость сканирования кассет с	0,2	0,2	0,2

пластинами (max), м/с			
Тяговое усилие на кронштейне с соплами, Н, не менее	50	100	200
Амплитуда сканирования, мм:	100	100	60...120
Неравномерность скорости при поднятии/опуск ании, %	от 50	до 5	до 5
Необходимое количество на одну установку	2	1	1
Трудоемкость изготовления	высокая	средняя	средняя
Процент унификации узлов и деталей, %	10	15	70
Трудоемкость изменения амплитуды сканирования	высокая	высокая	высокая
Удобство эксплуатации	низкое	высокое	высокое
Расход воздуха, не более	0,1 м ³ /мин при Р=0,5 МПа		0,01 м ³ /мин при Р=0,5 МПа
Стоимость, тыс. руб.	-	100	50

Пневматический привод сложен в производстве и регулировке, имеет самый низкий по сравнению с остальными привода ресурс работы. К тому же требуется два таких привода на одну установку сухого травления. Поэтому его применение

признаем нерациональным. Остальные два привода обладают сопоставимой надежностью.

Комбинированный пневматический привод имеет регулируемую, по сравнению с электромеханическим, амплитуду сканирования в пределах 120мм. Однако, при появлении необходимости получить амплитуду сканирования в 200...250 мм и более оба привода потребует доработки конструкции. Для обоих вариантов необходимо будет изготовить реечный механизм с требуемой максимальной амплитудой и изменить максимальный угол, на который привод сможет повернуть вал реечного механизма. Однако, если в случае с электромеханическим приводом эта проблема будет, скорее всего, решена добавлением в конструкцию дополнительного редуктора, что затруднит дальнейшую перенастройку привода, то для комбинированного пневматического привода при изменении длины хода поршня достаточно будет изменять положение датчиков положения.

В настоящий момент встает актуальный вопрос унификации элементов промышленного оборудования, что значительно упрощает его эксплуатацию. Электромеханический привод состоит из большого числа оригинальных деталей, что делает его ремонт при поломке довольно затруднительным, т.к. завод не имеет собственного машиностроительного производства необходимого уровня.

Комбинированный пневматический привод, напротив, базируется на стандартных узлах и деталях, производимых

компанией FESTO, с которой у завода налажено сотрудничество, что значительно упрощает ремонтные работы. Унификации деталей (включая механизм сканирования) можно довести до 75%.

Таким образом, комбинированный пневматический привод выглядит более предпочтительным.

3. Эксперимент.

3.1. Устройство и работа экспериментального стенда на основе комбинированного пневматического привода.

Общий вид экспериментального стенда для исследования работы комбинированного пневматического привода представлен на рис. 10. Привод закреплен на основании (1), изготовленном из тонкостенного профиля квадратного сечения. На основании закреплен пневмоцилиндр с магнитным поршнем (2) и кареткой (8) фирмы Festo AG & Co. KG. К каретке жестко прикреплена зубчатая рейка (7), которая передает движение на зубчатое колесо (5), расположенное на одном валу с зубчатым колесом (не показано), которое приводят в движение две зубчатые рейки (6). Одна рейка перемещает блок из шести сопел, а вторая соединена с возвратной пружиной, которая уменьшает время реверса. Каретка (8) движется поступательно, скользя по пневмоцилиндру, а поступательное движение обеспечивается роликом (10), катящимся по основанию.

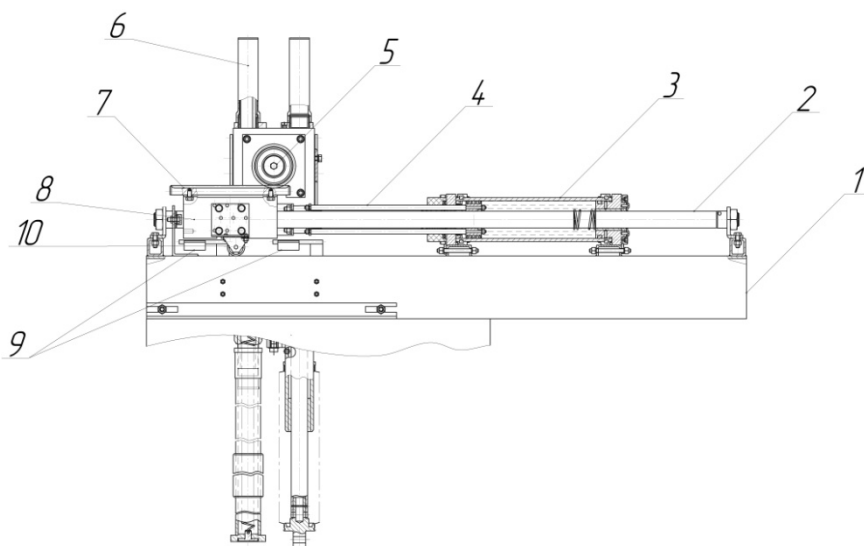


Рис. 10. Общий вид экспериментального стенда для исследования работы комбинированного пневматического привода.

Каретка тянет за собой при помощи тяг (4) поршень пневмоцилиндра (3), который за счет отверстий в поршне обеспечивает равномерность перемещения каретки, работая по принципу амортизатора. Положение каретки фиксируется герконовыми датчиками положения (9). При срабатывании одного из герконовых датчиков происходит переключение пневматического распределителя (12), который через дроссели осуществляет подачу воздуха в полости пневмоцилиндра (2), разделенные магнитным поршнем (14). Магнитный поршень за счет силы магнитного сцепления связан с кареткой (8), скользящей по пневмоцилиндру (2).

Нагрузка привода (имитация работы в составе установки) осуществляется за счет реечного механизма, аналогичного тому, что используется на установке струйно-абразивной резки.

Пневмогидравлический привод и реечный механизм представлен на рис. 11.



Рис. 11. Пневмогидравлический привод и реечный механизм.

3.2. План эксперимента.

Методика проведения эксперимента.

При помощи разработанного приспособления будут получены графики зависимости перемещения каретки от времени при разных значениях подаваемого в цилиндры давления. График заносится в среду MathCad. С помощью программы предполагается получить графики скорости и ускорения. Предполагаемые графики представлены на рис. 12-15.

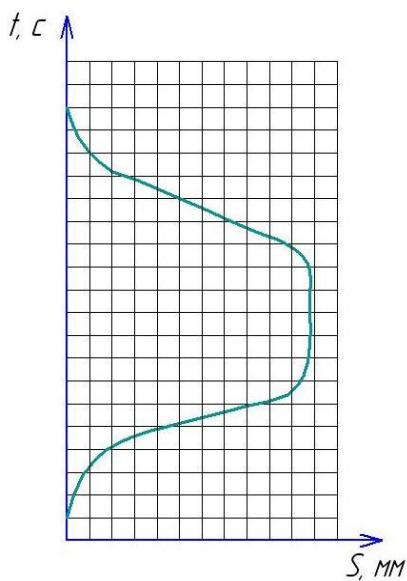


Рис. 12. Предполагаемый график движения каретки.

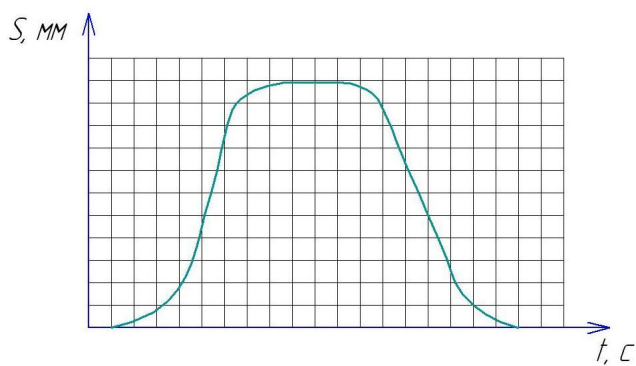


Рис. 13. График в электронном виде.

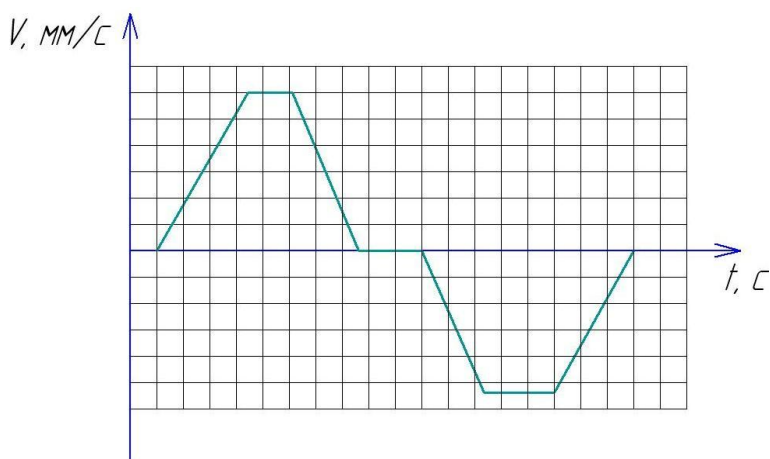


Рис. 14. Предполагаемый график скорости.

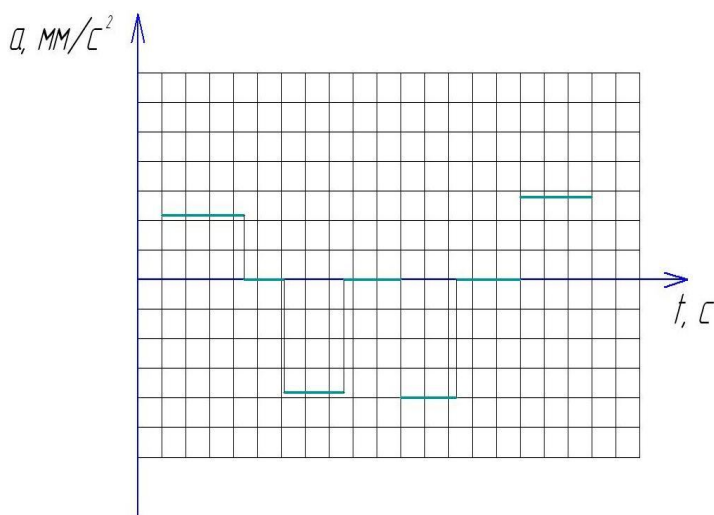
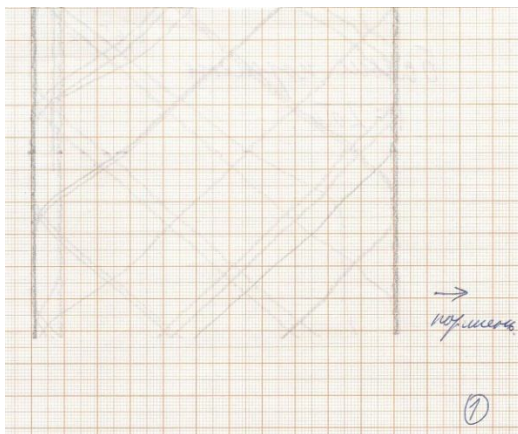


Рис. 15. Предполагаемый график ускорения.

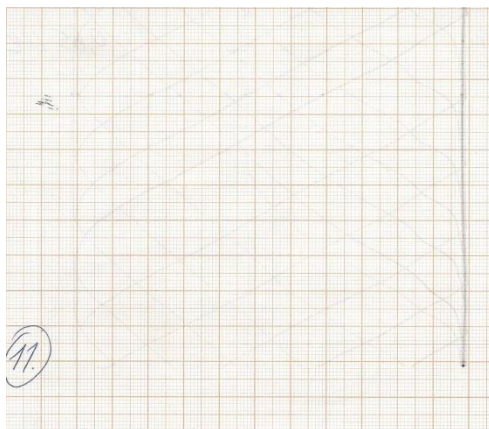
3.3. Результаты эксперимента.

В результате проведения эксперимента были получены графики перемещения каретки комбинированного пневматического привода для следующих случаев (рис. 16):

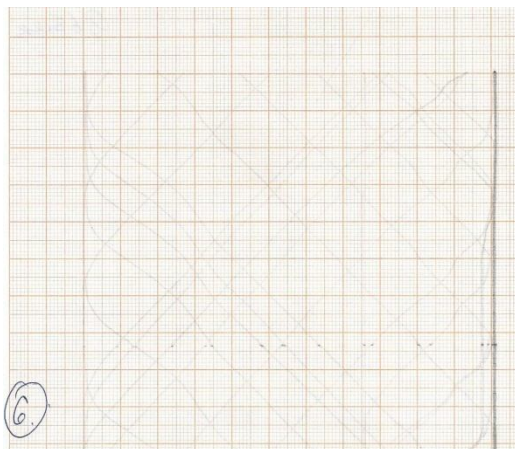
- при работе штокового цилиндра при $P_{\text{сист}} = 2; 2,5; 3; 3,5; 4$ атм. (рис. 16,а),
- при работе цилиндра с магнитным зацеплением при $P_{\text{сист}} = 6$ атм. (рис. 16,б),
- при работе обоих цилиндров при $P_{\text{сист}} = 2; 2,5; 3; 3,5; 4$ атм (рис. 16,в).



а)



б)



в)

Рис. 16. График зависимости перемещения каретки от времени: а) основной поршень, $P=2$ атм.; магнитный поршень, $P=6$ атм.; в) комбинированный привод, $P=2$ атм.

Анализ графика перемещения каретки представлен на рис. 17.

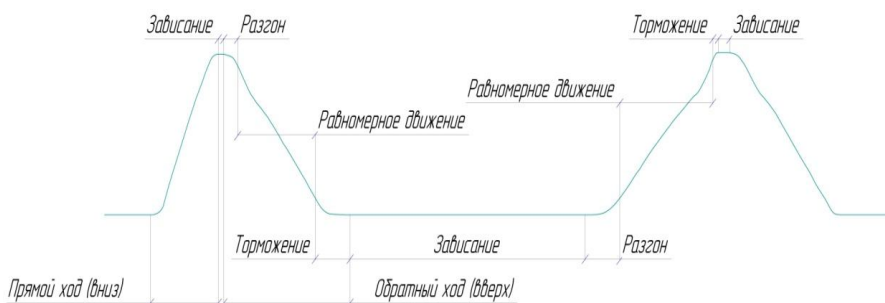


Рис. 17. Зоны графика перемещения каретки привода.

Данные с графиков были занесены в таблицу. Данные о перемещении каретки при работе штокового цилиндра при $P_{\text{сист}}=2$ атм. представлены таблицах 3 и 4.

Таблица 2. Перемещение каретки в прямом направлении.

t, с	S, мм	t, с	S, мм	t, с	S, мм	t, с	S, мм
0	0	0.192	26	0.372	59,5	0.564	96,5
0.006	0,5	0.198	27,5	0.378	61	0.570	98
0.012	0,5	0.204	28,5	0.396	62	0.576	99
0.018	1	0.210	30	0.402	63	0.582	100
0.024	1	0.216	31	0.408	64	0.588	100,5
0.030	1,5	0.222	32	0.414	65	0.594	101
0.036	2	0.228	33	0.420	66	0.600	102
0.042	2,5	0.234	34	0.426	67	0.606	103,5
0.048	3	0.240	35	0.432	68	0.612	105
0.054	3,5	0.246	36	0.438	69	0.618	106,5
0.060	4	0.252	37	0.444	70,5	0.624	107,5
0.066	4,5	0.258	38	0.450	71	0.630	108,5
0.072	5,5	0.264	39	0.456	73	0.636	109

Сборник лучших работ

0.078	6,5	0.270	40	0.462	74	0.642	109
0.096	7,5	0.276	41	0.468	75	0.648	109,5
0.102	8,5	0.282	42	0.474	76	0.654	109,5
0.108	9,5	0.288	43,5	0.480	77	0.660	109,5
0.114	10,5	0.294	45	0.486	78	0.666	110
0.120	11,5	0.300	46	0.492	79,5	0.672	
0.126	13	0.306	47	0.498	81	0.680	
0.132	14	0.312	48	0.504	82		
0.138	15	0.318	49	0.510	83		
0.144	16,5	0.324	50,5	0.516	84		
0.150	18	0.330	52	0.522	86		
0.156	19	0.336	53	0.528	87,5		
0.162	20	0.342	54	0.534	89		
0.168	21	0.348	55	0.540	90,5		
0.174	22,5	0.354	56	0.546	92		
0.180	23,5	0.360	57	0.552	93,5		
0.186	24,5	0.366	58	0.558	95		

Таблица 3. Перемещение каретки в обратном направлении.

t, с	S, мм	t, с	S, мм	t, с	S, мм	t, с	S, мм
0	110	0.192	81	0.372	50	0.564	15,5
0.006	109	0.198	80	0.378	48,5	0.570	14,5
0.012	108	0.204	79	0.396	47,5	0.576	13

0.018	107	0.210	78	0.402	46,5	0.582	11,5
0.024	106	0.216	76, 5	0.408	45,5	0.588	10
0.030	105	0.222	75	0.414	44,5	0.594	8,5
0.036	104	0.228	74	0.420	43,5	0.600	7,5
0.042	103	0.234	73	0.426	42,5	0.606	6
0.048	102	0.240	72	0.432	41,5	0.612	5
0.054	101	0.246	71	0.438	40,5	0.618	4,5
0.060	100	0.252	70	0.444	39,5	0.624	3,5
0.066	99	0.258	69	0.450	38,5	0.630	3
0.072	98	0.264	68	0.456	37,5	0.636	2,5
0.078	97	0.270	67	0.462	37	0.642	2
0.096	96	0.276	66	0.468	36	0.648	1,5
0.102	95	0.282	65	0.474	35	0.654	1
0.108	94	0.288	64	0.480	34	0.660	1
0.114	93,5	0.294	63	0.486	33	0.666	0,5
0.120	92,5	0.300	62	0.492	32	0.672	0,5
0.126	91,5	0.306	61	0.498	31	0.680	0
0.132	91	0.312	60	0.504	30		
0.138	90,5	0.318	59	0.510	28,5		
0.144	89,5	0.324	58	0.516	27,5		
0.150	88,5	0.330	57	0.522	26		
0.156	87,5	0.336	56	0.528	24,5		
0.162	86,5	0.342	55	0.534	23		

0.168	85,5	0.348	54	0.540	21,5		
0.174	84,5	0.354	53	0.546	20		
0.180	83,5	0.360	52	0.552	18,5		
0.186	82,5	0.366	51	0.558	17		

Данные были занесены в программу Mathcad и обработаны. Были получены графики перемещения и уравнения движения каретки для каждого из участков: разгона (рис. 18), равномерного движения (рис. 19) и торможения (рис. 20). Графики скорости и ускорения представлены на рис. 21 и 22.

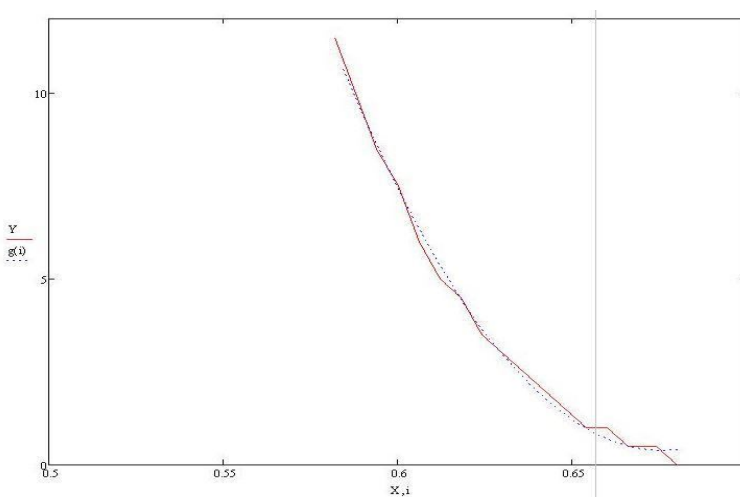


Рис. 18. Участок разгона.

$$S = 1231t^2 + 562t - 1663(\text{мм})$$

$$V = 1231t + 562\left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right)$$

$$a = 2462\left(\frac{\text{мм}}{\text{с}^2}\right)$$

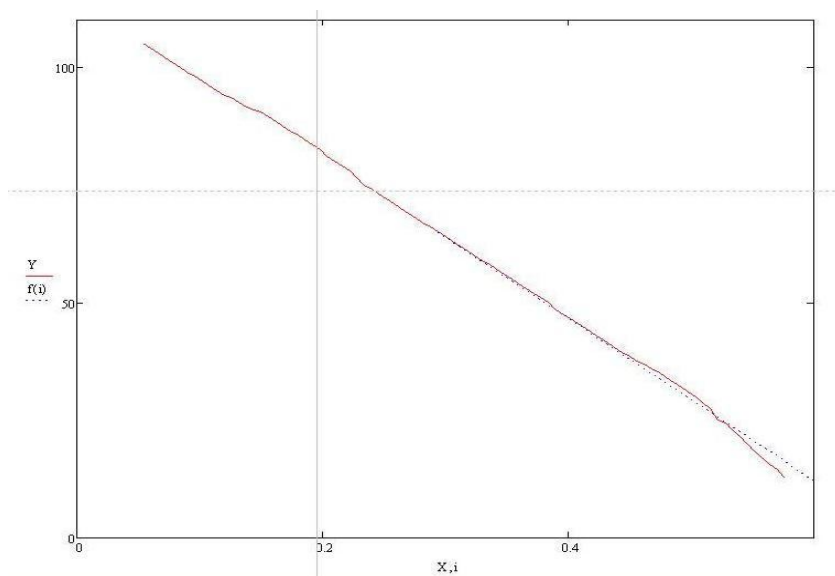


Рис. 19. Участок равномерного движения.

$$S (\text{мм}) = -177 * t + 116$$

$$V = -177 \text{ мм/с}$$

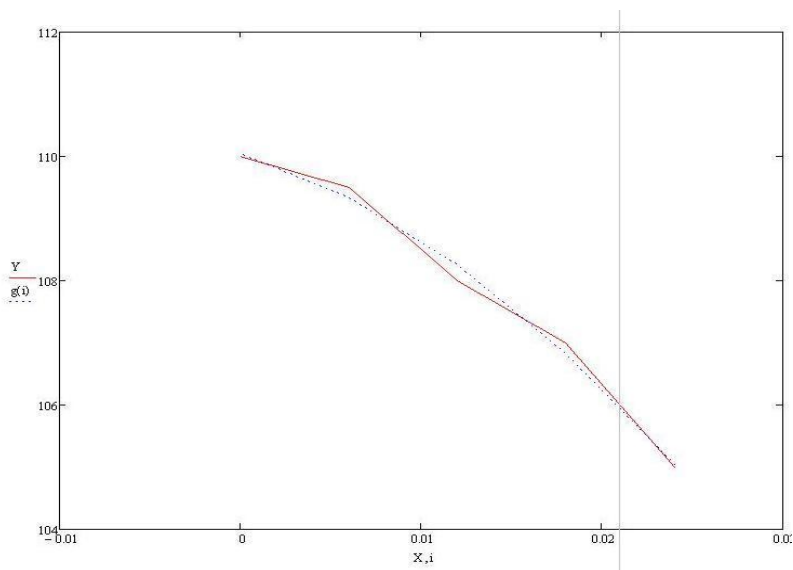
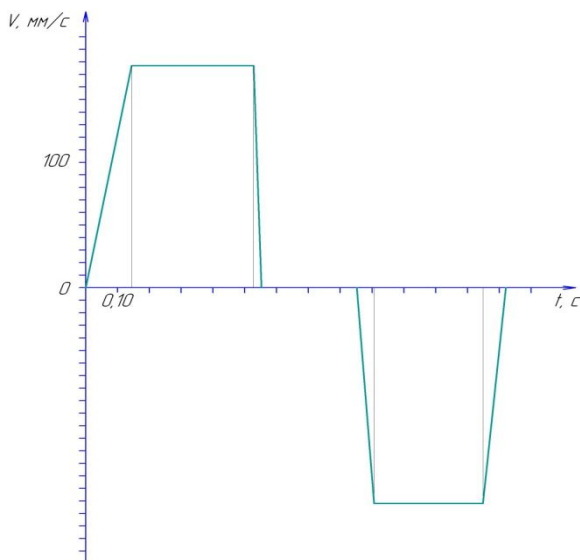
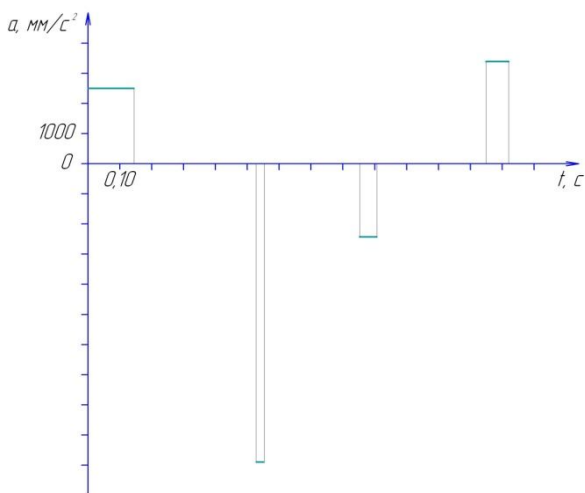


Рис. 20. Участок торможения.

$$S = -4960t^2 + 110t - 89(\text{мм})$$

$$V = -9920t + 110\left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right)$$

$$a = -9920\left(\frac{\text{мм}}{\text{с}^2}\right)$$

**Рис. 21.** График скорости.**Рис. 22.** График ускорения.

Полученные данные были сведены в таблицу 5, в которой показаны:

- скорость перемещения каретки в прямом и обратном направлении;
- длина пути, пройденного с одинаковой скоростью;
- время зависания перед началом движения.

Таблица 4. Результаты экспериментов.

Привод	Р _{сист.} атм	Прямой ход (вниз)			Обратный ход (вверх)		
		V, мм/с	l, мм	t _{зав.} , с	V, мм/с	l, мм	t _{зав.} , с
Штоковый поршень	2	177	85	0,552	172	85	0,6
	2,5	215	86	0,312	205	86	0,36
	3	267	89	0,096	258	89	0,12
	3,5	290	100	0,06	283	100	0,09
	4	325	102	0,042	309	102	0,06
Поршень с магнитным зацеплением	6	185	95	0,156	167	95	0,246
Комбинированный привод	2	185	88	0,138	179	88	0,27
	2,5	261	89	0,06	254	89	0,108
	3	285	92	0,054	278	92	0,072
	3,5	302	98	0,048	296	98	0,054
	4	350	103	0,036	348	103	0,036

Графики изменения скорости каретки и времени зависания представлены на рис. 23. и 24.

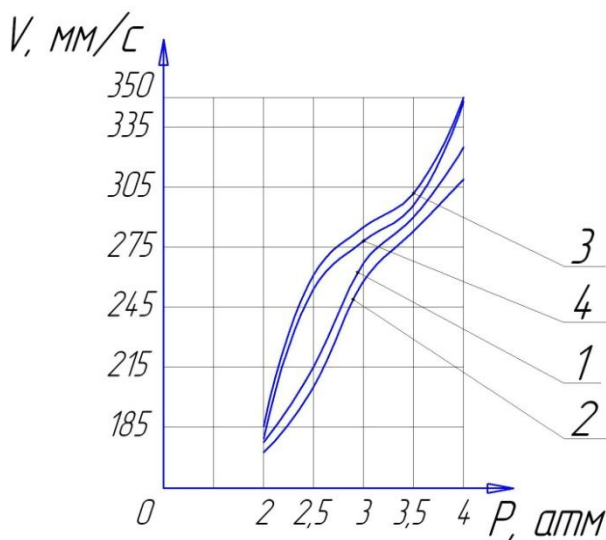


Рис. 23. Графики изменения скорости каретки: 1 – поршень, прямой ход; 2 – поршень, обратный ход; 3 – привод, прямой ход; 4 – привод, обратный ход.

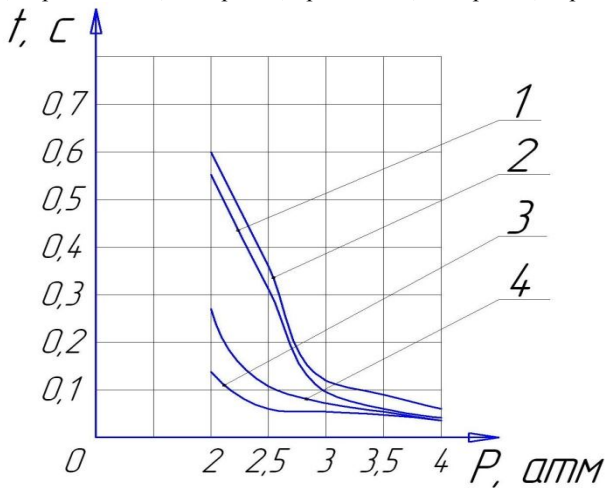


Рис. 24. Графики изменения времени записания каретки: 1 – поршень, прямой ход; 2 – поршень, обратный ход; 3 – привод, прямой ход; 4 – привод, обратный ход.

Выводы. Собранный из стандартных узлов, комбинированный пневматический привод имеет преимущество перед существующим пневматическим и электромеханическим приводами. Отдельно включенный поршень с магнитным зацеплением каретки может обеспечить работу системы только при $P \geq 6$ атм. При этом штоковый поршень и комбинированный пневматический привод могут обеспечить равномерное перемещение каретки на дистанции более 80 мм при $P \geq 2$ атм. При этом с увеличением давления в системе увеличивается скорость движения каретки и снижается время зависания каретки. У штокового поршня, работающего отдельно, время зависания каретки больше, чем у комбинированного привода, что негативно скажется на качестве пескоструйной обработки. Таким образом, комбинированный пневматический привод обеспечит лучшую работу опытной установки. Рекомендуемое давление системы – 3 атм., так как при этом обеспечивается необходимая скорость перемещения сопел.

Заключение. В результате выполнения работы была изучена опытная установка струйно-абразивной резки маскированных кремниевых пластин НПП ТЭЗ, рассмотрен ряд факторов, влияющих на качество разделения пластины, среди которых была выделена равномерность перемещения рабочих сопел вдоль пластины. Были изучены и проанализированы конструкции приводов механизма сканирования сопел.

В результате проведенного анализа был выбран пневмогидравлический привод, как наиболее отвечающий

предъявленным к нему требованиям. Была проведена подготовка к проведению экспериментов для изучения работы данного привода (модернизирован испытательный стенд, разработана методика сбора данных и их обработки), а также проведен эксперимент с целью изучения работы привода и его отдельных механизмов при различных параметрах системы.

Во время выполнения работы был освоен САПР Компас-3D и Mathcad.

Литература:

1. «Номенклатурный каталог НПП ТЭЗ» - 2005. –80 с. 2-е издание, переработанное и дополненное.
2. «Полупроводниковые приборы» / Под общ. редакцией Б. В. Миллера, - Прага; 1960. –570 с.
3. Каталог компании Festo.
4. Консультации специалистов ОАО НПП “ТЭЗ”, Томилино.

**Исследование процессов послойного синтеза трехмерных
объектов методом лазерной стереолитографии**

РОЖКОВ Семён Геннадьевич

г. Химки, МБОУ Лицей №7, 10 класс

Научный руководитель:

Малов Илья Евгеньевич,

*к.н., доцент кафедры «Лазерные
технологии в машиностроении»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Польза создания копий археологических раскопок заключается в более подробном изучении объекта без физического контакта. Таким образом, мы не наносим повреждений настоящему объекту и сохраняем его первоначальный вид. Далее мы можем не использовать оригинал, а хранить его в нейтральной среде, для продления его сохранности. Археологическую раскопку можно тиражировать в музеи и выставки для повышения культурных ценностей людей, в школы для изучения школьниками определённых эпох жизни человека, его быта. Преимущество в том, что объект можно потрогать, понять, как он должен лежать в руке, получить опыт его использования предками. Также копии археологических раскопок можно продавать потребителям, коллекционерам и получить от этого прибыль. Из нескольких археологических раскопок можно создать интерьер определённой эпохи. Чтобы любой мог почувствовать себя человеком того

времени, попробовать пожить в этой эпохе. Из археологических раскопок можно создавать копии с большим размером, чем оригинал и использовать их в качестве памятников определённому событию, если подходящие раскопки найдутся.

На электронных носителях информации, можно хранить археологические раскопки в 3D моделях. Из моделей можно создавать виртуальные музеи с описанием каждого объекта, его истории. Посредством всемирной сети можно обмениваться моделями с научно-исследовательскими институтами, таким образом ускорить темп изучения археологических находок, истории человека.

Наша цель - разработать процесс для получения копий археологических находок с использованием стереолитографии. Для этого потребуется решить несколько задач:

- Изучить методы получения компьютерных моделей,
- Изучить способы получения полимерных деталей,
- Подготовить модель к выращиванию.

Методы получения компьютерных моделей. Контактный метод.

При данном методе объект сканируется сенсором, в роли которого выступает механическое приспособление, называемое щупом. Перед сканированием на объект наносится сетка. На пересечении линий сетки образуются точки, с помощью щупа производится замер этих точек, которые потом вводятся в компьютер. Такой способ используется при ручной обводке поверхности объекта. Но вскоре процесс сканирования стал

автоматизированным. Щуп движется по поверхности объекта и в компьютер заносятся координаты о его положении.

Исходя из этих координат, в компьютере строится модель сканируемого объекта [1].

Преимущества контактного 3D сканирования:

- процесс автоматизирован,
- высокая точность при сканировании ребристых поверхностей,
- независимость от условий освещения.

Недостатки:

- не сканируется текстура объекта,
- сложность сканирования объектов больших или слишком маленьких размеров,
- невозможность сканирования внутренней структуры объекта.

Бесконтактный метод.

Делится на пассивный и активный метод.

Пассивный метод.

Используется имеющийся окружающий свет. Сканером анализируется отражение этого света от объекта. По сути этот метод сканирования представляет собой либо съемку объекта обычными видеокамерами при разной освещенности и восстановление их в 3D, либо съемку силуэта объекта на высококонтрастном фоне при помощи стереоскопических видеокамер.

Короткобазисная фотограмметрия.

Короткобазисная фотограмметрия подразумевает использование структурированной подсветки, который реализован в виде слайдов необходимой структуры, проецируемых стандартным проектором (рис. 1).

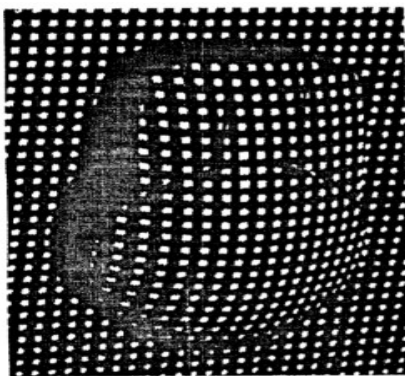


Рис. 1. Структурированная подсветка.

При структурированной подсветке объект освещается определенным “узором” (сеткой), по искажениям которой камера формирует 3d модель. Съёмка производится видеокамерами высокого разрешения, изображения преобразуются в цифровой вид платой захвата и оцифровки изображения.

При необходимости создания пространственной компьютерной модели (восстановления поверхности объекта) проводится процедура триангуляции вычисленных трехмерных координат объекта, которая представляет поверхность объекта в виде набора пространственных треугольников. Выбор вершин треугольника из массива точек, спроектированных на заданную

плоскость, производится по критерию минимума периметра формируемого треугольника [2].

Преимущества короткобазисной фотограмметрии:

- низкая стоимость сканирования,
- сканирование производится по бесконтактной технологии,
- высокая точность сканирования.

Недостатки:

- сложность или невозможность сканирования прозрачных и зеркальных поверхностей,
- сложность сканирования объектов больших или слишком маленьких размеров,
- невозможность сканирования закрытых внутренних полостей объекта,
- процесс не автоматизирован.

Активный метод

Активный метод основывается на регистрации отраженных сигналов от объекта сканирования. При этом используется активный 3d сканер, обладающий способностью генерировать свой лазерный сигнал. Принцип данного метода основывается на измерении расстояния от сканера до точек объекта сканирования. Данными точками могут являться светоотражающие маркеры.

Лазерное сканирование.

Это метод, позволяющий создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с

пространственными координатами. Сканер измеряет расстояние до объекта и два угла, что дает возможность вычислить координаты. Пучок лазера исходит из излучателя, расположенного в измерительной головке сканера, отражается от поверхности объекта и возвращается в приемник также расположенный в измерительной головке (рис. 2).

Пользователь задает шаг сканирования, и вращающаяся призма распределяет лазерный пучок по вертикали, а сервопривод, поворачивая блок измерительной головки, обеспечивает распределение пучка по горизонтали с этим шагом. Данные измерений автоматически записываются на внешний или внутренний носитель памяти. После того, как произведены измерения, начинается процесс обработки. Изначально, «сырые» измерения представляют собой «облако» точек, которые необходимо представить в виде чертежей, схем в CAD формате [3].

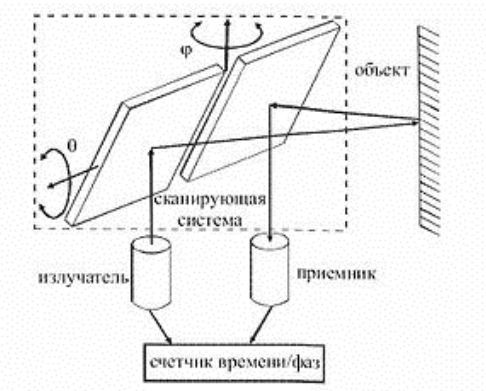


Рис. 2. Принцип работы лазерного сканера.

Преимущества лазерного сканирования:

- возможность применения вне помещения,
- использование при различной освещенности,
- не требуется наносить структурированную сетку на объект,
- сканирование производится по бесконтактной технологии,

Недостатки:

- высокая стоимость сканирования,
- сложность или невозможность сканирования прозрачных и зеркальных поверхностей,
- сканирование мелкоразмерных изделий требует использование более точной оптики, а соответственно более дорогих 3d сканеров,
- сложность сканирования внутренних полостей объекта.

Компьютерная томография.

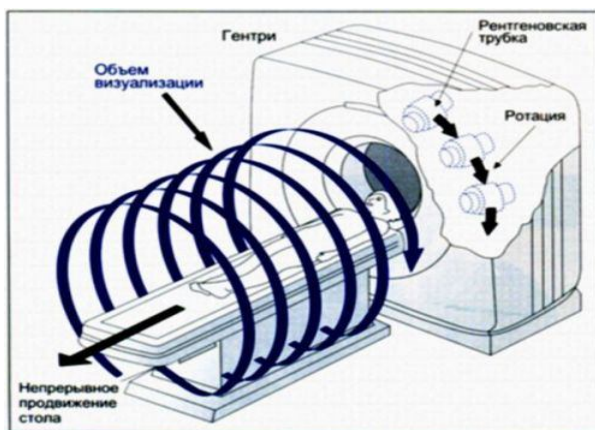


Рис. 3. Принцип работы компьютерной томографии.

Компьютерная томография - метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта. Он основан на измерении и сложной компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями [4]. С помощью этого метода можно изучить внутренние полости объекта при невозможности его вскрытия, что очень актуально при работе с археологическими находками. Последнее поколение томографов имеет огромное количество датчиков, расположенных по всей подвижной кольцевой части аппарата (рис. 3). Благодаря этому методу время вращения рентгеновской трубки сократилось до 0,7 с.

Стоимость сканирования составляет от 4500 до 10500 рублей (на 2015 год).

Преимущества сканирование объекта методом компьютерной томографии:

- сканирование внутренней структуры объекта,
- высокая разрешающая способность,
- использование при различной освещенности,
- сканирование производится по бесконтактной технологии,
- процесс автоматизирован,
- высокая скорость сканирования.

Недостатки:

- сложность сканирования объектов, содержащих металлы,
- не сканируется текстура объекта,

- стоимость сканирования.

Вывод: Рассматриваемый нами объект для сканирования (рис. 4) имеет оригинальный относительно средний размер 25.78 x 36.87 x 23.95 см, не содержит внутренней структуры, не прозрачен, не содержит металлов. По результатам исследования методов сканирования для такого объекта оптимально использовать пассивный метод сканирования, а именно короткобазисную фотограмметрию, использующую структурированную подсветку.



Рис. 4. Сканируемый объект.

Способы получения полимерных деталей

Стереолитография (SLA - Stereo Lithography Apparatus) (рис. 5).

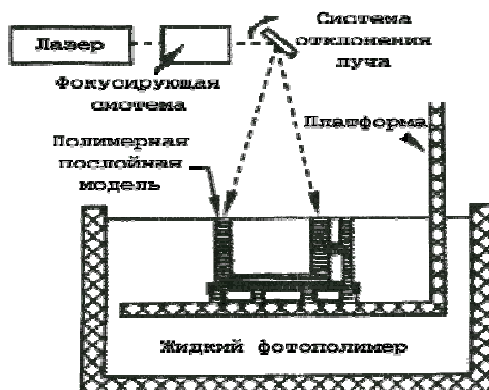


Рис. 5. Принцип работы SLA установки.

Лазерная стереолитография включает в себя создание компьютерного образа детали, его разбиение на тонкие слои, расчет траектории движения лазерного луча, заполняющего каждое сечение и последовательное воспроизведение соответствующих поперечных сечений на поверхности жидкой фотополимеризующейся композиции сфокусированным пучком инициирующего полимеризацию лазерного излучения. Коэффициент поглощения излучения достаточно велик, оно практически полностью поглощается в тонком (0,1-0,2 мм) слое фотополимеризующейся композиции (ФПК). В облученной области образуется пленка твердого полимера. Для позиционирования лазерного луча в заданную точку на поверхности ФПК и его перемещения по рассчитанной траектории с заданной скоростью обычно используют управляемый компьютером двухкоординатный гальваноэлектрический сканатор. Такой подход использует метод прямого лазерного рисования. Переход от одного слоя к другому

осуществляется путем перемещения платформы, на которой выращивается деталь, в емкости с жидкой ФПК на глубину, равную толщине следующего слоя. Платформа, на которой "выращивается" деталь, устанавливается ниже поверхности ФПК на расстоянии, равном толщине первого слоя. На поверхности ФПК формируется изображение, соответствующее первому сечению объекта. В облучаемой области образуется пленка твердого полимера. После завершения формирования первого слоя платформа с пленкой опускается на расстояние, равное толщине следующего слоя и на поверхности ФПК воспроизводится изображение, соответствующее второму сечению детали. Параметры инициирования выбираются таким образом, чтобы второй слой надежно "приклеился" к первому. Далее платформа перемещается на расстояние, равное толщине следующего слоя и процесс повторяется до тех пор, пока не будут изготовлены все слои (рис. 5). После завершения формирования последнего слоя платформа поднимается над поверхностью ФПК, послойно выращенная деталь снимается с платформы, с поверхности детали удаляются следы жидкой ФПК и деталь сушится [5].

Преимущества:

- высокая точность печати,
- разные механические свойства изделия, в зависимости от характеристик используемого фотополимера,
- создание деталей высокой сложности,

Недостатки:

- высокая стоимость фотополимеризующейся композиции,
- высокая стоимость стереолитографической установки.

Лазерное спекание порошковых материалов (SLS - Selective Laser Sintering)

Технология (SLS) подразумевает использование одного или нескольких импульсных лазеров для спекания частиц порошкообразного материала до образования трехмерного физического объекта. В качестве расходных материалов используются пластики, металлы, керамика или стекло.

Лазерный луч выборочно сплавляет частицы порошка в рабочей зоне, получая данные о форме детали путем сравнения с виртуальной моделью, сгенерированной компьютером. После завершения обработки слоя, деталь погружается в порошок и процесс повторяется (рис. 6).

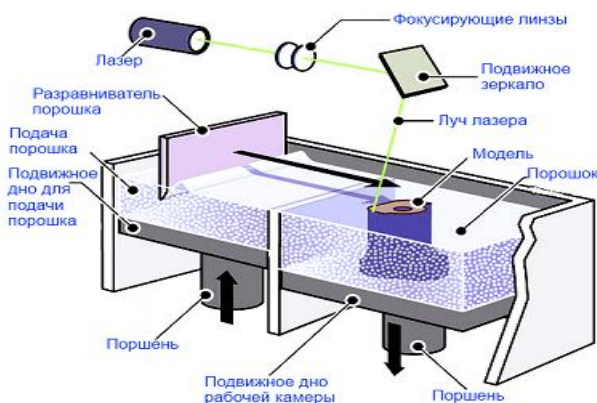


Рис. 6. Принцип работы SLS принтеров.

Примерно такой же способ используется в лазерной стереолитографии, где рабочим материалом выступает жидкий фотополимер, затвердевающий под лучом лазера. Поскольку плотность детали зависит от мощности лазера, а не от продолжительности нагрева, SLS-принтеры используют импульсные лазеры (например, лазеры на диоксиде углерода). При этом исходный материал предварительно нагревается до состояния, близкого к температуре плавления, чтобы облегчить лазеру достижение пиковой точки. На выходе получается деталь с пористой и шероховатой поверхностью [6].

Преимущества:

- не требует построения опорных структур,
- универсальность расходных материалов,
- высокая скорость печати.

Недостатки:

- шероховатая структура моделей,
- затрачивается время на подготовку принтера к работе.

Послойное наложение расплавленной полимерной нити (FDM – Fused Deposition Modeling) (рис. 7).

Технология FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек

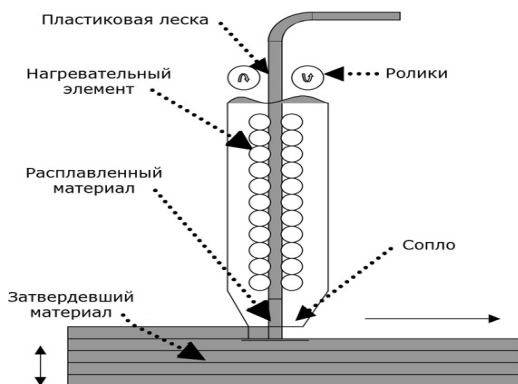


Рис. 7. Принцип работы FDM установки.

нитей или прутков. Производственный цикл начинается с обработки трехмерной цифровой модели. Модель в формате STL делится на слои и ориентируется наиболее подходящим образом для печати. При необходимости генерируются поддерживающие структуры, необходимые для печати нависающих элементов. Некоторые устройства позволяют использовать разные материалы во время одного производственного цикла. Например, возможна печать модели из одного материала с печатью опор из другого, легкорастворимого материала, что позволяет с легкостью удалять поддерживающие структуры после завершения процесса печати. Альтернативно, возможна печать разными цветами одного и того же вида пластика при создании единой модели. Пластиковая нить разматывается с катушки и переходит в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия.

Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель. Как правило, верхняя часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала. Экструдер перемещается в горизонтальной и вертикальной плоскостях под контролем алгоритмов, аналогичных используемым в станках с числовым программным управлением. Сопло перемещается по траектории, заданной системой автоматизированного проектирования. Модель строится слой за слоем, снизу-вверх. Технология FDM отличается высокой гибкостью, но имеет определенные ограничения. Хотя создание нависающих структур возможно при небольших углах наклона, в случае с большими углами необходимо использование искусственных опор, как правило, создающихся в процессе печати и отделяемых от модели по завершении процесса. В качестве расходных материалов доступны всевозможные термопластики и композиты, включая ABS, PLA, поликарбонаты, полиамиды, полистирол, лигнин и многие другие. Как правило, различные материалы предоставляют выбор баланса между определенными прочностными и температурными характеристиками [7].

Преимущества:

- низкая стоимость печати,
- высокая скорость прототипирования,
- использование широкого спектра полимеров.

Недостатки:

- ограничение по допускам размерности печати,
- необходимость в постобработке изделия,
- сложность процесса постобработки готового изделия.

Вывод:

Проведено сравнение методов получения полимерных деталей. Наша модель требует высокой точности прототипирования и имеет сложную внешнюю структуру, поэтому был выбран метод стереолитографии. В дальнейшем будет разрабатываться процесс подготовки модели к выращиванию для получения копии нашей археологической раскопки.

Подготовка модели к выращиванию

Подготовка модели к выращиванию подразумевает:

- выбор установки,
- изменение масштаба,
- размещение модели на поверхности установки,
- верификацию,
- разбиение на слои,
- создание подпорок.

Для подготовки модели будет использоваться программа “Magics 18.03”.

Выбираем стереолитографическую установку на которой будет производиться прототипирование модели. Нажимаем Scenes->Machine Library. Для добавления установки из библиотеки в

открывшемся окне нажимаем Add from Library. В библиотеке есть две папки Inch-settings и mm-settings, установки с единицей измерения в дюймах и миллиметрах соответственно. Выбираем mm-settings, т.к. в нашем STL файле единица измерения – миллиметры. Выбираем установку 3D Systems SLA 250 (mm), нажимаем “>>”, теперь установка добавлена в категорию My Machines, нажимаем Close. Создаём сцену для установки, нажимаем Scenes->Create Scene from Modeler Scene, выбираем нашу установку в списке Select Machine, нажимаем OK.

В нашем случае масштаб у модели нужно изменить, для того чтобы поместить на платформу стереолитографической установки, снизить стоимость изготовления модели за счёт объёма израсходуемого фотополимера и время для её прототипирования. Открываем нашу модель в программе, для изменения масштаба откроем Position->Rescale, включаем параметр Uniform Rescale, тогда модель будет масштабироваться по всем осям. В поле для координаты x изменяем масштаб. Для нашей модели был выбран масштаб 1:2, представим в виде десятичной дроби, тогда масштаб будет равен 0,5. Нажимаем OK. Теперь модель имеет размеры 12.89 x 18.44 x 11.98 см.

Следующим шагом будет размещение модели на поверхности установки. Наша модель имеет ребристую поверхность со всех сторон. Чтобы в процессе генерации подпорок распределить массу изделия на поддерживаемой структуре и сократить высоту подпорок нужно расположить модель наиболее горизонтально. В

окне View Pages во вкладке View выбираем фронтальный просмотр - Front View, это позволит нам смотреть на объект со стороны. Наш объект имеет ребристую поверхность со всех сторон, чтобы видеть проекцию объекта в той же вкладке выбираем режим просмотра объекта Bounding Box, сторонами прямоугольника является проекция объекта. Откроем Position->Interactive Rotate. С помощью этой функции можно наглядно поворачивать объект. Поворачиваем объект так, чтобы высота и ширина проекции модели была наименьшей, тогда объект будет лежать наиболее горизонтально (рис. 8). В нашем случае поворот объекта относительно оси у составил 40 градусов, х: 10 градусов.



Рис. 8. Горизонтальное расположение модели.

Чтобы убедиться в наиболее горизонтальном расположении объекта рассматриваем его с нескольких боковых сторон: Front View, Back View, Right View, Left View. Далее размещаем объект на поверхности стереолитографической установки, с помощью аналогичной функции Position->Interactive Translate можно наглядно перемещать объект. Переходим в Top View, перемещаем

объект на поверхность установки, перемещение по оси x составило 124 мм, y: 119 мм (рис. 9). Переходим в Front View, размещаем объект на 10 мм над поверхностью установки.

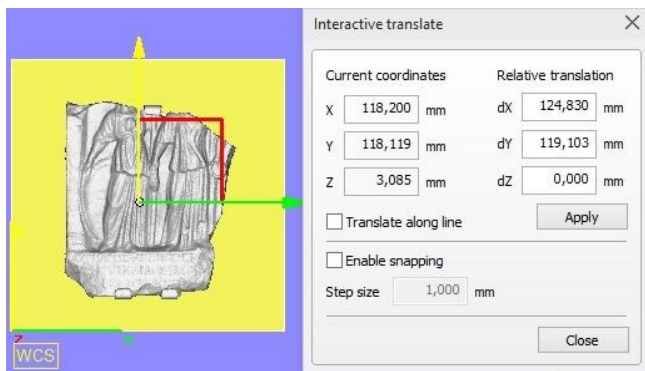


Рис. 9. Расположение модели на установке.

Системы стереолитографии обычно не имеют встроенных средств создания математической модели выращивания изделия, а читают эти модели из внешнего формата STL. Этот формат представляет собой описание множества ориентированных треугольников. Однако, в системах, формирующих STL файлы, могут возникать ошибки, приводящие к нарушению твердотельности полученной модели. Ошибками являются вырожденные, взаимопересекающиеся, накладывающиеся друг на друга треугольники, отсутствие одного или треугольников нескольких треугольников. Это приводит к необходимости проверять данные модели и по возможности исправлять обнаруженные ошибки. Откроем в программе Fixing->Fix Wizard, во вкладке Diagnostics для полной верификации модели отметим

параметр Full Analysis, чтобы обновить данные нажимаем Update. После верификации модели всего обнаружилось 63 ошибки.

Из них:

- 28 ошибок – перевёрнутые нормали;
- 22 ошибки – накладывающиеся треугольники;
- 5 ошибок – образовались отдельные объекты из треугольников, не относящиеся к модели;
- 4 ошибки – возможный шум на модели;
- 4 ошибки – пересекающиеся треугольники.

Во вкладке Combined Fix запустим функцию Automatic Fixing. После автоматической верификации осталось 15 ошибок, связанных с треугольниками, наложенными друг на друга. Автоматическая верификация не всегда может справиться со всеми ошибками, поэтому их придётся устранять вручную. Чтобы увидеть все накладывающиеся треугольники откроем вкладку Overlaps, в окне Manual нажмём Detect Overlapping, эти треугольники выделятся на модели зелёным цветом с красным контуром. С помощью инструментов Delete и Create удаляем их и создаём новые. После ручной обработки ошибок, проводим полную верификацию модели ещё раз. Результат работы показан на рисунке 10.

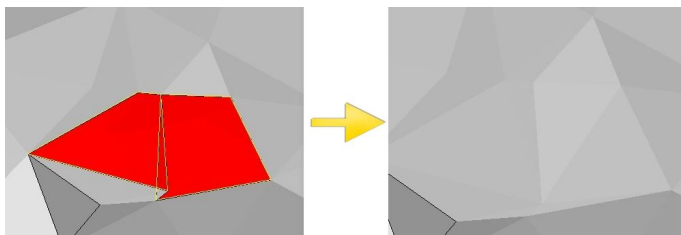


Рис. 10. Устранение ошибок на модели.

Далее модель следует разбить на слои. Откроем Export->Slicing->Slice All, выставим в Slice Parameters толщину слоя в параметре Layer Thickness. Указываем путь для сохранения файла в Slice Files Folder, нажимаем ОК.

Так как послойно выращиваемый объект находится в жидкости, его необходимо жестко зафиксировать на платформе, чтобы избежать смещений и даже отрыва от платформы в результате действия гидродинамических сил, которые появляются при движении платформы или при смещении центра масс выращиваемого объекта. Кроме того, большая площадь контакта изделия с платформой затрудняет его отделение от платформы и зачастую приводит к повреждению выращенного изделия при съеме его с платформы. Чтобы избежать этого, необходимы подпорки, на которых создается изделие. Подпорки, как правило, представляют собой тонкие (0.1-0.5 мм) стенки, которые, пересекаясь друг с другом, образуют жесткую конструкцию. После съема изделия с платформы остатки подпорок удаляются вручную путем отламывания [8]. Создадим подпорки, откроем Build Preparation->Support Generation->Generate Support, программа автоматически

создаёт подпорки. Виды подпорок, генерирующиеся в программе, представлены на рисунках 11 - 14.

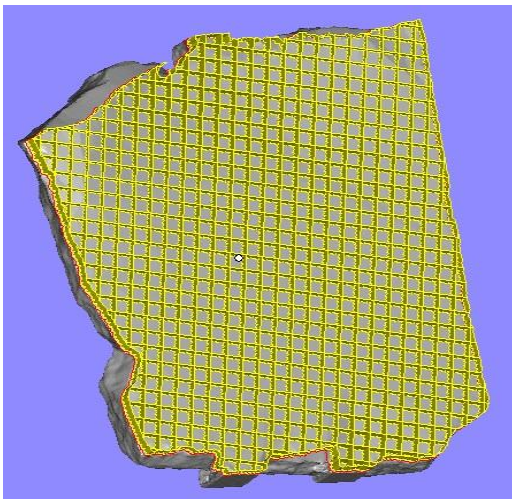


Рис. 11. Блочные подпорки.

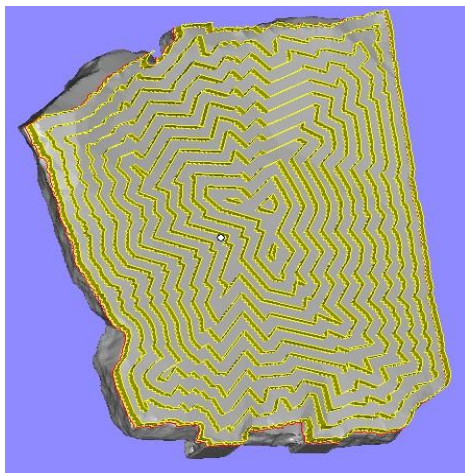


Рис. 12. Подпорки в виде контура.

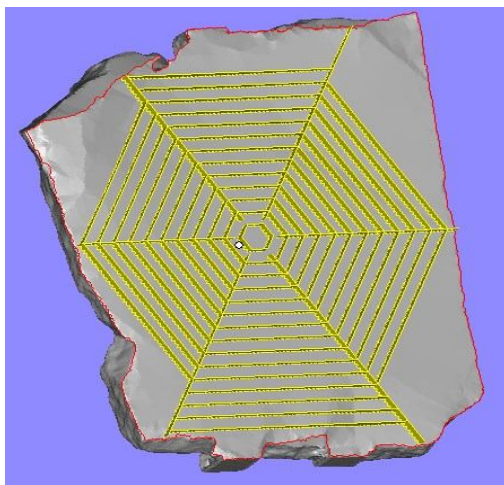


Рис. 13. Подпорка в форме паутины.

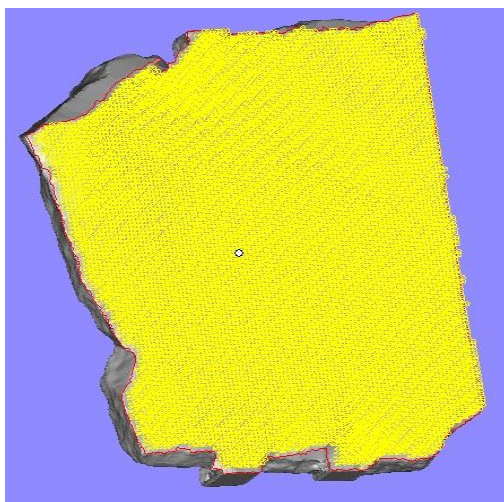


Рис. 14. Подпорка состоит из отдельных конусов.

Вывод по работе:

В результате был разработан процесс получения копии археологической раскопки. Модель была размещена на стереолитографической установке, верифицирована, разбита на слои, созданы подпорки для поддержки модели в жидком фотополимере. Модель готова к выращиванию.

Литература:

1. 3d-daily.ru
2. Журнал “Оптическая техника” / №1 (13), 1998. (с. 54)
3. print3d.ru
4. ru.wikipedia.org
5. Журнал “Оптическая техника” / №1 (13), 1998. (с. 7)
7. 3dpr.ru
8. 3dtoday.ru

СЕКЦИЯ III. Информатика и системы управления

Применение речевого диалога при управлении техническими средствами

*ЯСЕНКОВ Ярослав Геннадьевич
г. Москва, лицей №1580, 11 класс.*

*Научный руководитель:
Жигулёвцев Юрий Николаевич
к.н., доцент кафедры «Системы
автоматического управления»
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Введение

Существует множество способов организации общения человека с машиной. Но наиболее эффективным методом, а также наиболее естественным для человека является речевой диалог. Именно поэтому внедрение речевого общения с машиной - очень актуальная задача. Применение такого способа управления несёт множество преимуществ: остаются свободными руки оператора, не имеют значения условия освещения, механической вибрации, проста методика наблюдения за реакцией на команду, в систему «человек-машина» могут быть включены люди с физическими недостатками. [2]

Речевое общение может быть отнесено к одной из проблем искусственного интеллекта. Полное решение проблемы речевого

диалога возможно лишь в рамках создания искусственного интеллекта, но множество практических задач решено уже на современном уровне. Сложившаяся к настоящему времени структура задач может быть представлена в виде схемы (рис. 1) [1].

Как видно из схемы, основными направлениями исследований в области речевого общения помимо распознавания речи являются работы по синтезу речевых сообщений, а также по распознаванию индивидуальности говорящего: идентификации (определению, кто говорит из известного круга лиц) и верификации (подтверждению личности говорящего). Много внимания также уделяется и медицинским приложениям проблемы речевого общения, позволяющим осуществлять диагностику психических и соматических заболеваний, приводящих к тем или иным отклонениям в речевой функции.

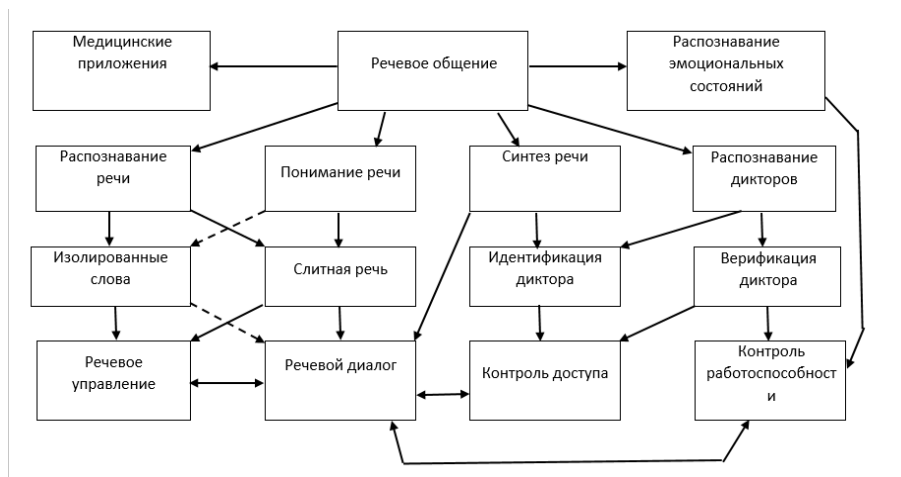


Рис. 1. Структура задач.

Основные варианты приложения методов речевого общения, предназначенные для использования в автоматизированных системах управления (АСУ) движущимися объектами, представлены нижним рядом блоков на рис.1. Двухнаправленные связи указывают на возможность организации управления, контроля доступа и работоспособности в режиме диалога (с помощью тестов, предлагаемых системой) [1].

Анализ существующих систем.

В настоящее время научное сообщество вкладывает огромное количество денег в научно-исследовательские разработки для решения проблем автоматического распознавания речи. Это стимулируется практическими требованиями, ведь системам распознавания речи можно найти широкое применение как в военной, так и в гражданской сфере. Некоторые компании смогли достичь определённых успехов. Самым качественным распознавателем английской речи стал продукт компании Dragon Systems, называемый Dragon Naturally Speaking Preferred. Он обеспечивает безошибочность распознавания на уровне 95%. Широкую известность в последнее время получил сервис Google Voice Search. Изначально этим сервисом поддерживались только короткие поисковые запросы длиной до 35-40 слов и только английский язык. Сегодня доступно распознавание непрерывной речи и множество языков, включая русский. В 2014 году был запущен Google Speech API, доступный для широкого круга разработчиков. Сервис основан на облачной технологии, то есть на

компьютере или мобильном устройстве происходит только запись звука. После обработки записи голосового сообщения, компьютер или смартфон отправляет данные на сервер Google, где происходит непосредственное распознавание, после чего распознанный запрос возвращается на устройство в виде текста [3]. Среди распознавателей русской речи, хотелось бы отметить сервис компании Yandex, SpeechKit. Работа этого сервиса организована аналогично сервису Google Speech API. Но между ними есть существенные различия:

- SpeechKit изначально поддерживает русский язык;
- Яндекс предоставляет русскоязычную документацию;
- Google Speech Recognition API предоставляется только на коммерческой основе (количество бесплатных запросов ограничено 50 в сутки);
- SpeechKit Cloud API для исследовательских целей предоставляется бесплатно;

Именно из-за этих различий я выбрал сервис SpeechKit Cloud для своей работы.

Описание процесса распознавания.

Рассмотрим, как происходит распознавание. Звук – это физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде [5]. Основными характеристиками звуковых колебаний являются частота и амплитуда. При цифровой записи звука производится его временная дискретизация и квантование.

Дискретизация представляет собой разбивку непрерывной звуковой волны на короткие участки, для каждого из которых измеряется величина амплитуды. Квантование заключается в разбиении диапазона амплитуд на подуровни. Затем каждому измеренному значению амплитуды присваивается номер подуровня, которому соответствует это значение. То есть звук записывается в виде массива значений амплитуд. Теоретически можно сравнивать полученную запись поэлементно с образцом, текст которого уже известен. Но такой подход совершенно неустойчив к малейшему изменению тембра голоса, громкости и скорости произношения. В реальной системе распознавания происходят следующие преобразования, которые можно представить в виде схемы (рис. 6).

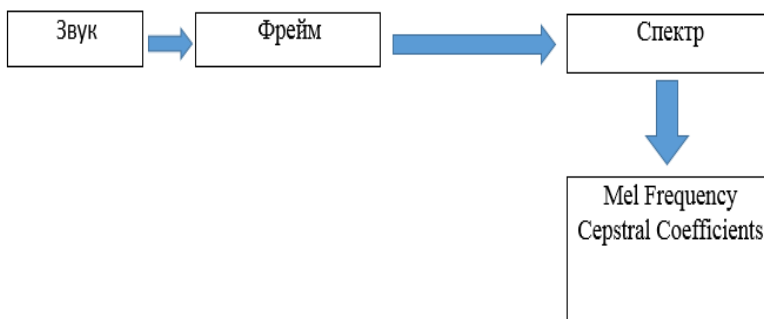


Рис. 6. Схема распознавания.

Сначала звук разбивается на небольшие временные промежутки – фреймы. Один фрейм это участок длиной в 10мс. Каждый

следующий фрейм накладывается на предыдущий с «нахлёстом» в 50%. Такое наложение позволяет сгладить результаты анализа. В качестве численной характеристики фрейма можно использовать средний квадрат его значений, но такая характеристика несет крайне мало информации.

Для последующего анализа используются Мел-частотные кепстральные коэффициенты (Mel-frequency cepstral coefficients) [6]. Рассмотрим процесс вычисления MFCC для некоторого фрейма. Как описывалось выше, сигнал в дискретном виде можно записать так:

$$x[k], 0 \leq k < N,$$

где N – размер фрейма.

Далее к записанному сигналу применяем преобразование Фурье, чтобы получить спектр сигнала (рис. 7).

$$X_a[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}, \quad 0 \leq k < N$$

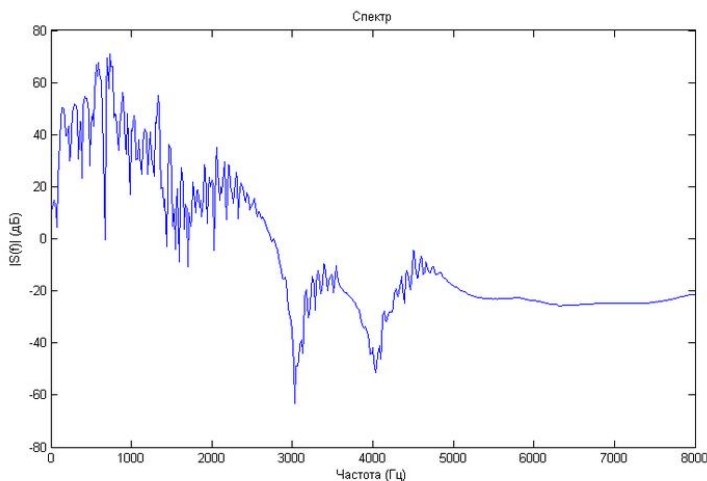


Рис. 7. Спектр сигнала.

Для того, чтобы разложить полученный выше спектр по мел-шкале, нам потребуется создать “гребёнку” фильтров. По сути, каждый мел-фильтр — это треугольная оконная функция, которая позволяет просуммировать количество энергии на определённом диапазоне частот и тем самым получить мел-коэффициент.

Если диапазон интересующих нас частот звука равен $[300; 8000]$, то по формуле $M = 1127 * \log(1 + F/700)$ на мел-шкале этот диапазон превращается в $[401.25; 2834.99]$. Далее, для того, чтобы построить 10 треугольных фильтров нам потребуется 12 опорных точек:

$m[i] = [401.25, 622.50, 843.75, 1065.00, 1286.25, 1507.50, 1728.74, 1949.99, 2171.24, 2392.49, 2613.74, 2834.99]$.

Теперь с помощью формулы

$F = 700 * (e^{M/1127} - 1)$ переведём шкалу обратно в герцы.

$h[i] = [300, 517.33, 781.90, 1103.97, 1496.04, 1973.32, 2554.33, 3261.62, 4122.63, 5170.76, 6446.70, 8000]$

На рисунке 8 заметно, что окна «собираются» в области низких частот, обеспечивая более высокое «разрешение» там, где оно необходимо для распознавания.

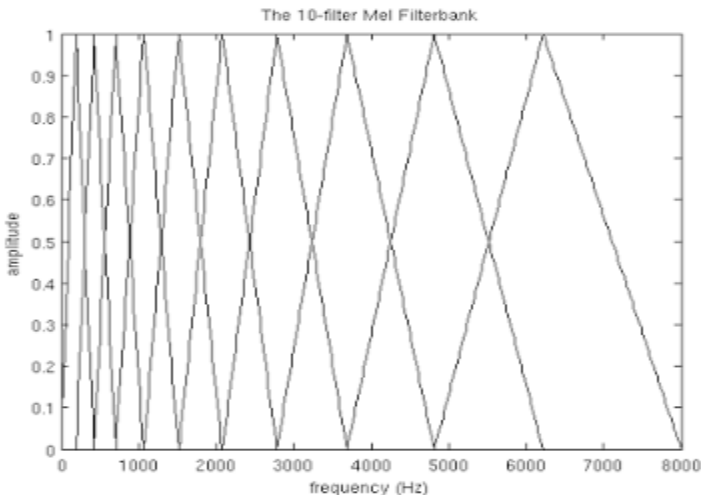


Рис. 8. График частот.

Теперь необходимо наложить полученную шкалу на спектр фрейма. Применив формулу

$$f(i) = [(frameSize+1) * h(i) / sampleRate]$$

получим опорные точки. Зная опорные точки, легко построить необходимые фильтры по формуле

$$H_m(k) = \begin{cases} 0 & k < f(m-1) \\ \frac{k - f(m-1)}{f(m) - f(m-1)} & f(m-1) \leq k \leq f(m) \\ \frac{f(m+1) - k}{f(m+1) - f(m)} & f(m) \leq k \leq f(m+1) \\ 0 & k > f(m+1) \end{cases}$$

Применение полученного фильтра заключается в попарном перемножении его значений со значениями спектра:

$$S[m] = \log\left(\sum_{k=0}^{N-1} |X[k]|^2 * H_m[k]\right), 0 \leq m < M$$

Результатом этой операции является спектральный мел-коэффициент.

Дискретное косинусное преобразование (DCT) используется для того, чтобы получить кепстральные коэффициенты.

$$C[l] = \sum_{m=0}^{M-1} S[m] * \cos\left(\pi * l * \left(m + \frac{1}{2}\right) / M\right), 0 \leq l < M$$

Теперь для каждого фрейма имеется набор из M MFCC-коэффициентов, которые могут быть использованы для дальнейшего анализа.

В современных системах распознавания речи, в частности Yandex SpeechKit, для анализа используются скрытые марковские модели (СММ). Скрытая марковская модель позволяет соотнести набор наблюдаемых величин (звук) и скрытые состояния (фонемы). Схематически СММ изображена на рисунке 9.

На схеме y_1, y_2, y_3 – наблюдаемые значения, x_1, x_2, x_3 – скрытые состояния, a_{12}, a_{23}, a_{21} – вероятности переходов, b_1, b_2, b_3 – вероятности результатов. Чтобы однозначно задать скрытую марковскую модель, необходимо знать распределение вероятностей состояний и матрицу вероятностей переходов. Распределение вероятностей состояний на данном фрейме возвращает акустическая модель (сравнивающая полученные MFCC с коэффициентами известной фонемы). А матрицу вероятностей переходов получается задать на основе статистических данных. Известно, что одни сочетания фонем произносятся легко и встречаются часто, другие – сложнее для произношения, и на практике используются реже. Таким образом, имея словарь, в котором задано множество марковских моделей, можно определить, какая из гипотез распознавания наиболее вероятна.

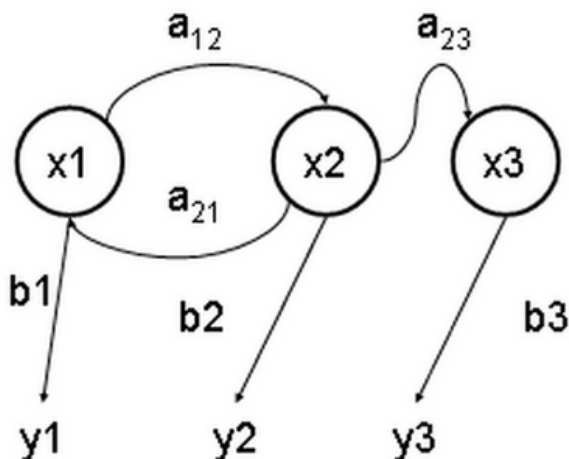


Рис. 9. Скрытая марковская модель (схема).

Качество распознавания.

В зависимости от тематики голосовых запросов сервис SpeechKit обеспечивает достаточно высокое качество, так для queries (короткие фразы на различную тематику) безошибочность заявлена на уровне 88%, для maps (адреса, географические объекты) 95%, для notes (свободно диктуемый текст) 82%. Достижение 100% безошибочности на сегодняшний день затруднено по целому ряду причин. Наиболее серьёзные проблемы возникают при условиях [8]:

- спонтанная речь, сопровождаемая аграмматизмами и речевым «мусором»;
- наличие акустических помех и искажений, в том числе меняющихся;

-наличие речевых помех.

В своей работе я исследовал зависимость качества распознавания сервиса Yandex.Speechkit от акустических помех (шума).

Описание работы.

Количество приложений, распознающих русскую речь, мало на рынке программного обеспечения, а эффективность многих из них находится на низком уровне. Поэтому в моей работе и ставилась цель – создать эффективную систему распознавания речи. В качестве инструмента разработки было решено использовать среду Visual Studio. В качестве языка программирования был выбран C++.

Структуру программы можно представить в виде схемы (рисунок 10).

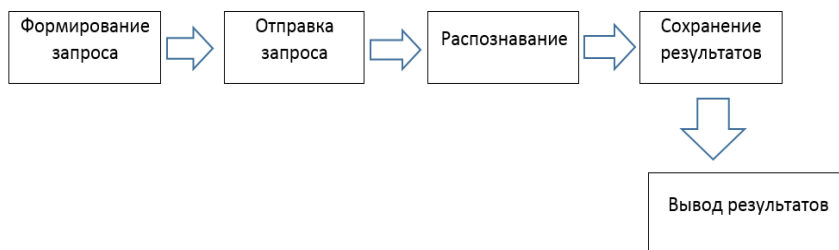


Рис. 10. Структура программы.

На начальном этапе разработки было решено использовать возможности библиотеки Libcurl для отправки речевых сообщений. Библиотека Libcurl – это свободно распространяемая и простая в использовании клиентская библиотека, позволяющая работать со

множеством различных протоколов с синтаксисом URL, чем и объясняется её применение. Библиотека Libcurl была собрана посредством компилятора Visual Studio и подключена к проекту.

Для отправки речевого сообщения необходимо сначала записать аудиофайл при помощи звукового редактора. На начальном этапе разработки название записанного файла приходилось вводить в консоли, что затрудняет пользование приложением. Сейчас эта задача решена при помощи библиотеки MFC. Создано диалоговое окно, в котором по нажатию кнопки пользователь выбирает необходимый для отправки файл. В случае если распознавание прошло успешно, будет выведен результат с оценкой достоверности, в ином случае будет выведено сообщение «не распознано». В ходе работы были сделаны независимые оценки качества распознавания. Для проведения оценки были использованы таблицы фраз из ГОСТ Р 50840-95. Используемые фразы состоят из 3-4 слов, произносятся в нормальном темпе речи (4 слога в секунду) в среднем за 2,5 секунды и носят бытовой характер. Уровень звукового давления в помещении, в котором проводился эксперимент, составлял 26 дБ, что соответствует условиям указанного стандарта при проведении оценки. Результаты оценки можно представить в виде диаграммы (рис.11).

Для языковой модели queries процент распознанных слов составил 62%, для модели notes 80%. Несколько худшие результаты, чем заявлено, можно объяснить несколькими причинами: непрофессиональные дикторы, использование иного записывающего оборудования (микрофон ноутбука), неидеальные

шумовые условия. Для изучения влияния шума на качество распознавания были отобраны только точно распознанные фразы. Для оценки использовались разные виды шума. Так зависимость качества от уровня звукового давления белого шума представлена на рисунке 12.

Результаты анализа.

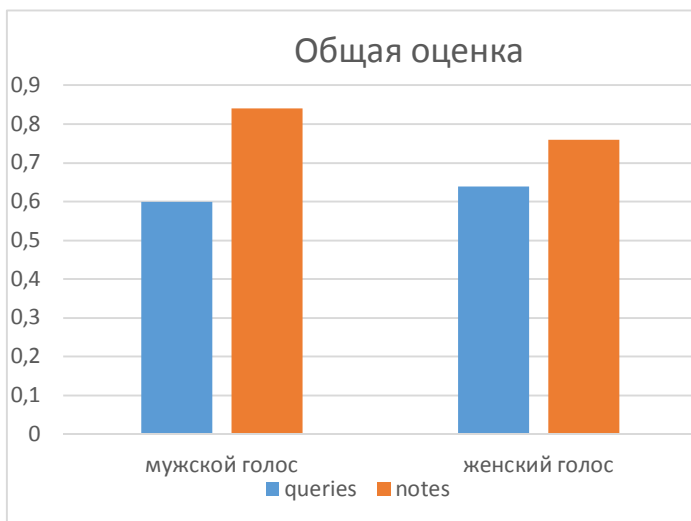


Рис. 11. Результаты оценки.



Рис. 12. Зависимость качества от уровня звукового давления белого шума.

При наложении на аудиозапись белого шума с уровнем -20 дБ качество падает до 75%, при дальнейшем повышении уровня звука до -17 дБ наблюдается падение в 2 раза, вплоть до -11 дБ. При -11 дБ правильно распознанных фраз нет, лишь отдельные слова. При наложении розового шума распознавание затруднено уже при -20 дБ. Наложение броуновского (коричневого) шума никак не влияет на качество при уровнях ниже 0 дБ (максимально возможный уровень шума в редакторе cool edit pro, 0 дБ – это максимальный уровень громкости, который данное устройство может отобразить без искажений).

В ходе исследования также была обнаружена зависимость качества распознавания от голоса говорящего. Она представлена на

рисунке 13. Так для мужского голоса на фоне белого шума количество распознанных фраз почти в два раза больше.

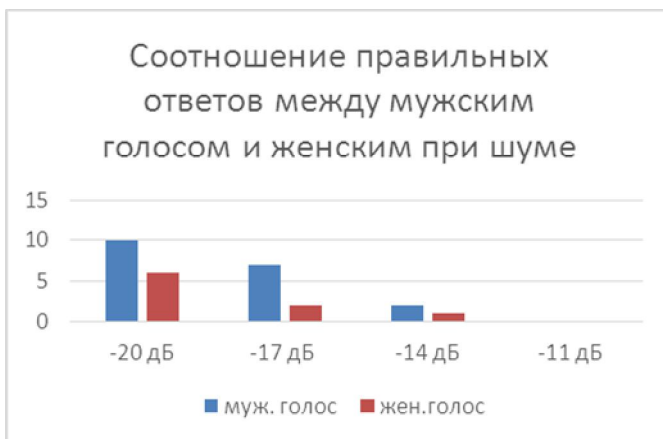


Рис. 13. Зависимость качества распознавания от голоса говорящего.

Как заявляют разработчики SpeechKit, при распознавании учитывается распределение вероятностей, которое дает языковая модель (n-gram language model). То есть наличие фиксированного контекста «мама мыла ...» задает распределение вероятностей для следующего слова, которое отражает как семантику, так и морфологию [4].

Для исследования семантического уровня было решено использовать длинные запросы, длиной около 50 слов (около 25 секунд), представляющие собой фрагменты радиопередачи. Было выявлено, что, как и указывалось разработчиками, для диктовки длинных текстов необходима модель notes. Так для одного фрагмента при модели notes количество слов в неправильной форме

(неправильный падеж или число) составляет 4, а количество слов, распознанных неверно 1. Для модели queries 6 слов имеют неправильную форму и 5 слов распознаны неправильно. Из всего этого можно сделать вывод, что языковая модель на сегодняшний день ещё недостаточно натренирована.

Выводы.

1. Рассмотрен процесс распознавания речи на примере сервиса компании Yandex. Реализован эффективный распознаватель речи, основанный на облачной технологии, и не требующий больших вычислительных мощностей. Проанализированы возможности сервиса Yandex SpeechKit, в ходе которых выявлены несколько худшие результаты распознавания: 62% против заявленных 88% у модели queries, и 80% против 82% у модели notes. Выявлена сильная зависимость от шума. Так при уровне белого шума в -11 дБ распознавание прекращается, хотя человек легко понимает сказанное. Наложение розового шума (близкого к природным шумам) вызывает ухудшение результатов уже при уровне в -20 дБ.

2. Применение такого распознавателя возможно в разных сферах:

- управление мультимедийной и навигационной системой автомобиля;
- голосовое управление такими устройствами как персональный компьютер или смартфон;
- управление «умным домом».

На сегодняшний день применение такой системы на борту летательных аппаратов затруднено по ряду причин:

- недостаточно высокое качество распознавания в реальных условиях;
- недостаточная устойчивость к разного вида акустическим шумам;
- сложности в локальном размещении системы.

Литература:

1. В.Н. Плотников, В.А. Суханов, Ю.Н. Жигулевцев «Речевой диалог в системах управления»;
2. Р.К. Потапова, «Речевое управление роботом»
3. <http://old.kv.by/index2010381103.htm>
4. Блог компании Яндекс
<http://habrahabr.ru/company/yandex/blog/198556>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%83%D0%BA>
6. <http://habrahabr.ru/post/226143/>
7. Д. Либерти «Освой самостоятельно C++ за 21 день.»
8. «Система управления распознаванием речевой информации» К.П. Нарян

Конвертоплан. Разработка интегрированной винтомоторной группы и амортизационной платформы для модуля управления

СУХОЦКИЙ Дмитрий Владимирович

г. Красноармейск, МАОУ Гимназия №6, 11 класс

Научный руководитель:

Селиванова Людмила Михайловна,

*к.т.н., доцент кафедры «Приборы и системы
ориентации, стабилизации и навигации»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Компания Цуру разрабатывает многоцелевой беспилотный конвертоплан. Для реализации проекта предусмотрена разработка простого в производстве и не сложного в обслуживании конвертоплана, рассчитанного на дальность полета в 90 км, полезный груз весом 5 кг, быструю подготовку к полету и автономный полет по заданному маршруту. Максимальное полетное время 180 минут.

Автору было предложено, используя опыт конструирования роботов, выполнить любую часть проекта в совершенно не знакомой для него области техники – конструировании беспилотных летательных аппаратов.

Конвертопланы обладают рядом ключевых характеристик, дающим им преимущество перед другими типами БПЛА – самолетами и мультикоптерами (многороторными вертолетами).

Конвертоплан совмещает большой радиус действия и время полета (режим самолета) с возможностями зависания в воздухе, вертикального взлета и посадки практически на любой поверхности (режим мультикоптера). Переход из режима самолета в режим мультикоптера и обратно происходит за счет независимого поворота винтомоторных групп (ВМГ).

Это открывает ранее недоступные сферы применения малых БПЛА, такие как доставка небольших грузов в удаленные точки без подготовленных взлетно-посадочных полос, наблюдение за объектами (долететь до объекта и зависнуть над ним), а также другие задачи сбора и передачи информации, видеосъемки, оперативного мониторинга, например, в условиях чрезвычайных ситуаций.

Анализ литературы позволил найти новое направление в конструировании БПЛА - это создание универсальных модулей, которые позволили бы собирать аппараты различного назначения. Так, например, винтомоторную группу в виде готового модуля можно использовать как для конвертопланов, так и для квадрокоптеров. Грузоподъемность аппаратов можно менять в зависимости от количества пар ВМГ.

Современный уровень развития беспилотных летательных аппаратов позволяет использовать их как средство для доставки товара от склада до потребителя. Доставка товаров квадрокоптерами, примеры которой все чаще появляются в СМИ, пока еще находятся на уровне тестовых вариантов. Кроме

технических вопросов, существует много нерешенных правовых аспектов. Тем не менее, торговый гигант Amazon сообщил о начале работы над проектом «Amazon Prime Air». Это доставка товаров мультикоптерами, которая предполагает прием товара, автоматическую погрузку, автоматическую доставку и автоматическое возвращение летательных аппаратов (ЛА) на базу. Заявление такого крупного игрока на рынке торговых услуг подготовит общественное мнение и активизирует создание правовой базы.

Остается открытым вопрос сравнительно высокой цены ЛА, из-за малых объемов производства и безопасности полетов в населенных пунктах.

Технический уровень развития систем управления ЛА позволяет обеспечить требования по безопасности. Для снижения цены необходимо начать серийное производство ЛА.

Оптимальным вариантом для серийного производства является модульная конструкция ЛА. Модульность дает возможность начать не только серийное, но и массовое производство, автоматизировать сборку и предполетную подготовку без участия человека, что немаловажно при массовой эксплуатации ЛА.

Чтобы исследовать и подтвердить возможность создания модульного аппарата, необходимо было разработать и провести летные испытания в составе конвертоплана, наиболее ответственного элемента конструкции - модуля интегрированной

винтомоторной группы (ИВМГ), включающего в себя ключевые элементы двигательной установки конвертоплана - бесщеточные двигатели, контроллеры бесщеточных двигателей, механизм поворота двигателей (быстрого изменения вектора тяги), а также специализированные разъемы для быстрого подключения/отключения ИВМГ, элементы крепления к корпусу.

Цель проекта - исследовать возможность создания модульной конструкции конвертоплана.

Задачи:

- сконструировать опытный образец модуля универсальной винтомоторной группы (данный модуль является наиболее сложным и ответственным элементом всей конструкции);
- провести летные испытания модуля в составе конвертоплана.

В ходе первых испытаний выявилась повышенная вибрация из-за дисбаланса винтов, которая нарушала работу инерциальной навигационной системы. Были проведены необходимые исследования, по результатам которых разработана платформа для виброизоляции системы управления.

В работе параллельно решались задачи повышения энергоэффективности ЛА:

- применены в конструкции ИВМГ новые легкие материалы;
- улучшена аэродинамическая схема аппарата.

Проектирование и изготовление ряда деталей выполнены в лаборатории робототехники московского Дворца пионеров на Воробьевых Горах. Консультации по разработке виброзащиты для

системы инерциального управления проводились на кафедре ИУ2 МГТУ им Н. Э. Баумана. Сборка конструкции и летные испытания проведены в рамках проекта по созданию конвертоплана компанией Цуру Роботикс.

2. Основная часть.

Проектирование всех элементов конструкции проводилось в системе автоматизированного проектирования SolidWorks. Это дало возможность согласовать размеры деталей в сборках и усилить нагруженные места деталей.

2.1. Конструкция ЛА.

Разрабатываемый конвертоплан будет состоять из следующих модулей:

- модуль интегрированной винтомоторной группы «ИВМГ»;
- модуль «Крыло»;
- модуль «Корпус», который позволит соединять все модули в единый моноблок.

В корпусе будет размещаться система управления, груз и аккумуляторные батареи.

Для транспортировки грузов разного веса будет предусмотрена возможность увеличения количества пар винтомоторных групп до требуемой грузоподъемности.

Время на подготовку к полету будет включать соединение с корпусом необходимого количества ИВМГ (до 8 модулей исходя из веса доставляемого груза) и подключение аккумуляторных батарей. Все это составит примерно 5 минут при ручной сборке. Взлет

возможен через 30 секунд после включения конвертоплана. На фотографии (рис. 1) показан общий вид тестового варианта конвертоплана. В этом варианте аппарата были проведены летные испытания ИВМГ и виброзащитной платформы системы инерциального управления.

При взлете конвертоплана передние винты направлены вверх, а задние вниз. Переход в «самолетный» режим и обратно осуществляется поворотом ИВМГ. При этом передние винты работают как тянущие, задние – как толкающие.

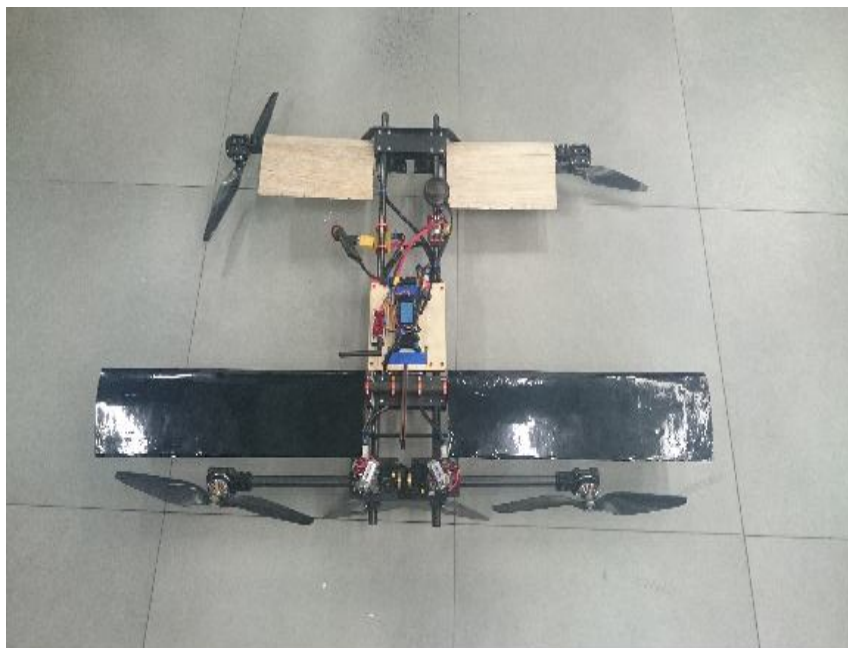


Рис. 1. Общий вид тестового варианта конвертоплана.

Вертикальные взлет и посадка выполняются при положении ИВМГ под углом не менее 85 градусов к продольной оси. Поступательный полет происходит при положении ИВМГ в пределах от 0 до 85 градусов. Полет «по-самолетному» выполняется практически на нулевом угле. Результаты летных испытаний показали стабильную работу системы управления и приводов ИВМГ.

2.2. Модуль ИВМГ.

Модуль ИВМГ представляет собой консоль, на которой смонтирован бесколлекторный двигатель с цифровой системой управления, сервопривод поворота с обратной связью, универсальные электрические разъемы, элементы крепления к корпусу.

Винты двухлопастные, изготовлены из композитных материалов (КМ) на основе графита и стекловолокна, диаметр винта 400мм.

Несколько вариантов конструкторской проработки позволили создать единый модуль ИВМГ, который можно использовать в качестве заднего- толкающего и переднего- тянущего.

Разработка универсального модуля ИВМГ оказалась более сложной задачей, чем это представлялось в начале проекта. Ниже приведены некоторые задачи, которые решались в ходе проектирования и испытаний.

2.2.1. Обдув крыльев вихревым потоком от винтов.

Одна из проблем, которую удалось решить только частично,

это обдув крыльев вихревым потоком от винтов.

В большинстве конструкций конвертопланов крылья не поворачиваются вместе с винтомоторной группой. В результате при взлете и посадке крыло затеняет воздушный поток от винтов. Поток при этом направлен на значительную площадь крыла. Часть энергии расходуется не рационально – тратится на обдув плоскости крыла. В конвертопланах схемы tilt-wing («поворотное крыло») этот недостаток устранен. Но узел поворота крыла значительно утяжеляет аппарат.

Не лишены этого недостатка и конвертопланы «Panther» [1] и Эра 100 [2]. В конвертоплане «Project Zero» [3] проблема, на первый взгляд, решена. Однако схема расположения ВМГ внутри крыльев так же не является аэродинамически «идеальной». Этот вариант оправдан только при взлете и посадке. На переходных режимах и при горизонтальном полете обдув крыльев будет энергетически затратным.

Обдув крыльев – очевидная проблема и не решена она, вероятно, из-за сложной конструкции поворотной консоли крепления ВМГ. Для конвертопланов массой более 1000 килограмм конструкция поворота в любом случае будет громоздкой и тяжелой. В легких аппаратах консоли выполнены из современных композитных материалов на основе карбона. Узел поворота практически не утяжелит конструкцию.

Первые варианты модуля предусматривали расположение ВМГ под углом к консоли (рис. 2). Это позволяло сместить винты

относительно крыльев, что в значительной мере уменьшало обдув. Для реализации были проработаны несколько вариантов механизмов поворота винтомоторных групп, в которых использовались карданные передачи и гибкие валы (рис. 3).

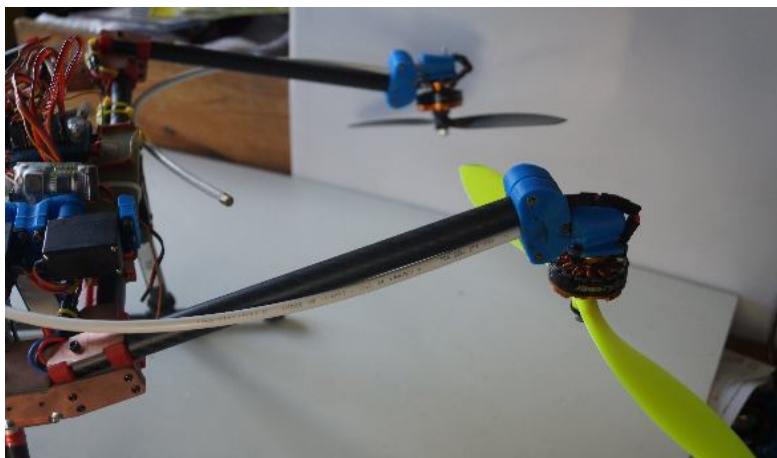


Рис. 2. Расположение ВМГ под углом к консоли.



Рис. 3. Поворотный механизм на гибком валу.

Варианты с карданной передачей увеличивали количество элементов конструкции, вес и габариты модуля.

Допуски на скручивание гибких валов, даже очень коротких, позволяли ВМГ при малом усилии поворачиваться на небольшой угол. По отношению к задним толкающим винтам при переходных режимах и горизонтальном полете конвертоплан находится в состоянии неустойчивого равновесия. В результате небольшого поворота вектор тяги одного из винтов резко перенаправляется, конвертоплан начинал проворачиваться вокруг продольной оси и «заваливался». По этим причинам в дальнейшем пришлось отказаться от углового расположения ВМГ.

В результате был разработан вариант привода с прямым валом, расположенным внутри консоли, который обеспечил вращение без люфтов.

В окончательный вариант конструкции заложена аэродинамическая схема, приведенная на рис. 1. При взлете и посадке вихревой поток направлен вниз от крыльев. При этом крылья частично затеняют только поток входящего воздуха.

В дальнейшем исследования по усовершенствованию аэродинамической схемы планируется провести в направлении создания конструкций «монокрыло» и «корпус-крыло».

Так же на испытаниях выявилась недостаточная мощность привода поворота ВМГ. Это проявлялось в потере устойчивого управления конвертопланом уже на половинной тяге двигателей ВМГ. Маломощные электроприводы не обеспечивали необходимый

момент удержания и допускали повороты ВМГ на небольшой угол (качение) относительно заданного положения. В результате на валу редуктора возникали радиальные нагрузки, превышающие предельно допустимые. Проблему удалось решить при использовании приводов поворота, в котором момент удержания, превосходил расчетный в 2,5 раза.

В процессе разработки ИВМГ были устранены люфты в шестеренчатых зацеплениях приводов за счет пружинных свойств листового карбона, из которого изготавливались элементы конструкции.

2.2.2. Материал консоли.

Повышать прочность конструктивных элементов целесообразно, используя новые материалы, в данном случае карбон. Это наиболее подходящий материал по прочности, весу и соотношению цена/качество. Он широко используется в производстве элементов летательных аппаратов, яхт и других транспортных средств. В массовом производстве прочностные характеристики профилей стабильны и соответствуют заявленным. При единичном производстве, когда требуются детали нестандартной формы, возможен брак, который сложно выявить визуально и при упрощенных испытаниях. Чаще всего дефекты материалов выявляются при эксплуатации при низких температурах. Поэтому на этапе проектирования использовались массово выпускаемые профили. В окончательном варианте для консоли использована трубная заготовка. При серийном

производстве в качестве консоли целесообразно использовать деталь в форме крыла, которое при горизонтальном полете будет давать дополнительную подъемную силу.

2.3. Модуль инерциальной навигационной системы.

В этой части проекта основное внимание было уделено снижению вибрационных воздействий на инерциальную систему управления, что позволяет повысить безопасность полетов.

Первые тестовые испытания показали стабильную работу систем навигации только на малых оборотах электродвигателей. На средних оборотах конвертоплан уже на взлете терял устойчивость. В данном случае начинала сказываться вибрация, вызванная дисбалансом винтов, которая по жестким опорным связям передавалась корпусу и далее модулю инерциальной системы управления.

Для обеспечения точностных характеристик работы системы управления необходимо было проанализировать уровень суммарной вибрации от всех четырех ИВМГ и разработать для модуля управления платформу с виброзащитой.

2.3.1. Система управления.

Для управления ЛА необходима система не только с малыми габаритами, но и с малой массой, энергопотреблением, имеющая наряду с этим невысокую стоимость. Этим требованиям в значительной мере отвечают инерциальные навигационные системы на базе микроэлектромеханических сенсоров (МЭМС) [4].

За основу системы управления конвертоплана взята система

управления и навигации, которая серийно выпускается и используется в мультикоптерных БПЛА. Программное обеспечение доработано с учетом переходных режимов и горизонтального полета.

Бортовое оборудование состоит из платы распределения питания, датчика расхода энергии, GPS+ГЛОНАСС приемника, модуля радиосвязи для ручного управления, модуля радиосвязи для телеметрии, аналоговой камеры, радиомодуля для видеокamеры. Для управления на вертолетных режимах полета используется серийно выпускаемая система управления, которая объединяет 3х осевой гироскоп, 3х осевой акселерометр, магнитометр и барометр. В состав модуля инерционного управления входят гироскоп + акселерометр Invensense MPU-6000, компас Honeywell HMC5883L-TR, барометр MS5611-01BA03. Гироскоп и акселерометр служат для стабилизации полета, компас как дополнение для спутниковой навигации.

2.3.2. Виброизоляция системы управления.

При полете аппарата присутствуют три вида нежелательных динамических воздействий на систему управления:

- вибрация, вызываемая дисбалансом винтов;
- тряска корпуса и крыльев, связанная с воздушными потоками;
- раскачивание аппарата при маневрировании.

Дополнительно ошибки могут вносить люфты в креплениях элементов конструкции и шестеренчатых редукторах приводов управления ИВМГ.

В микромеханических датчиках чувствительный элемент (ЧЭ) связан с корпусом гироскопа упругим подвесом. Все динамические воздействия, которые получает корпус ЛА, передаются модулю системы управления. Система управления должна, как можно точнее, анализировать динамику перемещения ЛА. Отсюда вытекает задача - максимально снизить «паразитные» динамические воздействия на модуль системы управления.

Чтобы понять физический смысл влияния вибрация на систему управления, были проведены упрощенные тесты в домашних условиях. Замеры проводились с помощью осциллографа с рабочей частотой 50 МГц. Гироскоп и микроконтроллер установлены на макетной плате (рис. 4).

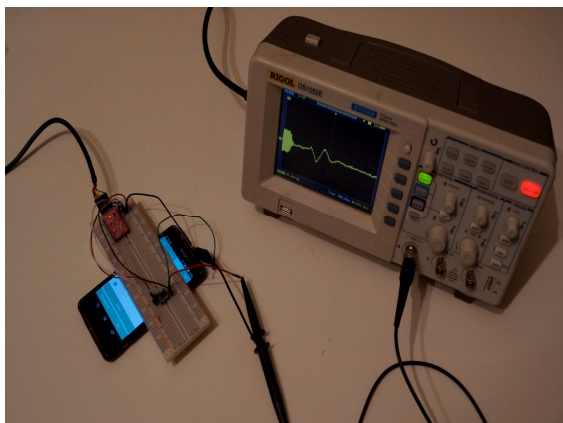


Рис. 4. Приборы для тестирования.

В качестве источника вибрации использовался вибровывозв телефона. На графиках (рис. 5) показан момент отключения вибровывозова - амплитуда колебаний падает практически мгновенно.

На графике (рис. 6) приведены показания гироскопа при перемещении макетной платы. В начале графика видно перемещение гироскопа до момента включения вибровызова и после. Здесь гироскоп, даже при наличии вибрации, с помощью программных фильтров будет в состоянии отслеживать динамику перемещения. На графике (рис. 7) показана ситуация, когда гироскоп в состоянии отслеживать перемещения только при отсутствии вибрации, так как амплитуда вибрации полностью перекроет его возможности.

Вибрацию, как любую другую энергию невозможно устранить, её можно только преобразовать. Наиболее простой и недорогой метод - это использование в креплениях эластичных промежуточных элементов-виброизоляторов, которые деформируются под действием вибрации, при этом демпфируют и снижают амплитуду колебаний. Виброизолятор частично рассеивает энергию - переводит в тепло и преобразует в колебания на другой частоте, которую система управления в состоянии отфильтровать. Прежде всего, это вибрация, вызываемая дисбалансом винтов. При серийном производстве дисбаланс винтов неизбежен. Суммарная вибрация от всех ВМГ по жестким связям передается микромеханическим элементам бортовой системы управления. Системе управления не всегда удастся вычленить суммарную вибрацию винтов ИВМГ. Это вызывает сбои в работе системы, что иногда, приводит к падению аппарата. При работе ЛА на разрешенных территориях это сравнительно безопасно. Для

работы в населенных пунктах необходимы повышенные требования к безопасности полетов.

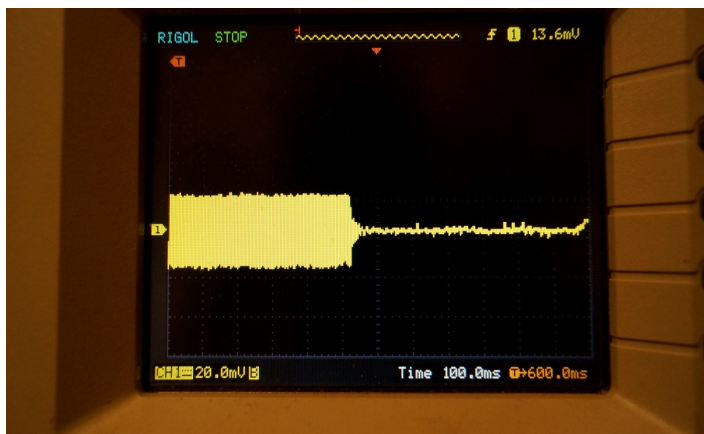


Рис. 5. Амплитуда колебаний телефона при вибровызове.

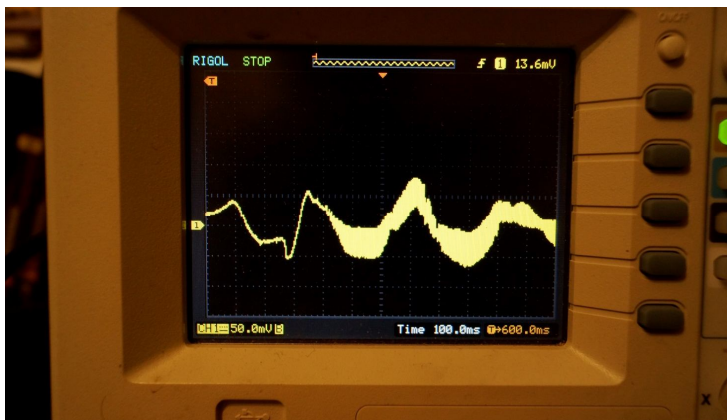


Рис. 6. Амплитуда вибрации меньше величины замеряемой амплитуды.

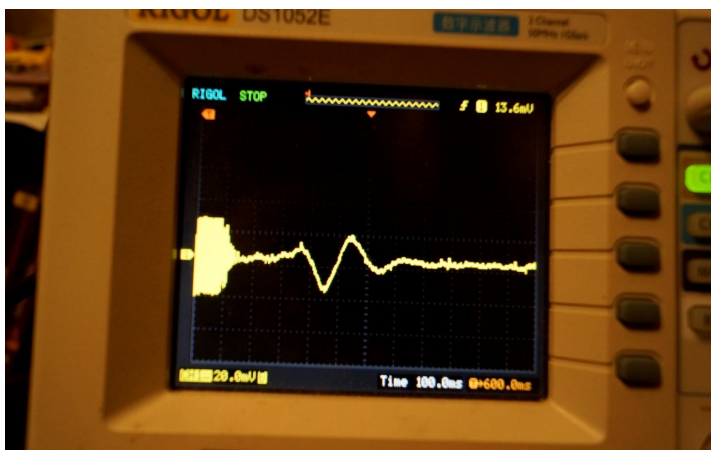


Рис.7. Амплитуда вибрации перекрывает величину измеряемой амплитуды.

При единичном производстве проводится балансировка винтов различными методами. При массовом производстве это увеличивает трудозатраты и удорожает конструкцию в целом.

Консоль крепления ИВМГ передает от каждого мотора продольную и угловую вибрацию. Частота вибрации определяется скоростью вращения ротора мотора. Скорость вращения может достигать 14000 оборотов в минуту. Следовательно, частота вибрации от одной ИВМГ будет находиться в пределах от 0 до 230 Гц. В корпусе вибрация от четырех винтов, из-за разной скорости вращения, неопределенно суммируется и передается на модуль управления.

На первом этапе были рассмотрены варианты амортизаторов, встроенных в модуль ИВМГ. Но это значительно удорожает и утяжеляет аппарат. Поэтому дальнейшая работа проводилась только в направлении снижения вибрационных

воздействий непосредственно на модуль системы управления.

Конструктивно решение вопросов виброизоляции осуществляют по нескольким схемам [5]. Одна из наиболее распространенных и дешевых схем реализуется следующим образом:

- модуль размещают на жесткой монтажной платформе;
- монтажную платформу устанавливают на амортизаторы;
- амортизаторы подбирают таким образом, чтобы исключить частоты, которые сложно отфильтровать.

Для того, чтобы проверить действие виброизоляторов, под макетную плату были установлены амортизаторы - четыре полукольца из пористой резины. Амортизаторы практически полностью погасили колебания, но, в свою очередь, внесли погрешность в замеры. Из-за малой жесткости они легко деформировались при незначительных ускорениях и искажали реальные значения перемещений.

В дальнейшем были проанализированы различные варианты пассивных амортизаторов:

- пружинный подвес;
- резиновые опоры (коническая, круглая, плоская, клиновидная, сферическая, приборная, бочкообразная, и др);
- эластичные материалы (поролон - небольшая долговечность, раскрашивание и слипаемость, небольшое количество циклов нагрузки. Применяемый эластомер должен обладать свойством поглощать энергию вибрации, не разрушаясь при этом);

-герметики (требуется специальная оснастка для придания нужной формы).

В конечном итоге были подобраны серийно выпускаемые эластичные виброизоляторы, деформируемые под действием вибрации, которые снижали амплитуду колебаний до приемлемых значений. На монтажной платформе они расположены диагонально по углам и работают одновременно на сжатие (растяжение) и в небольшой степени на изгиб и кручение.

Платформа с амортизаторами для крепления модуля приведена на рис.8.

В первом варианте планировалось изготовить платформу из листового карбона методом фрезерования. Но прорисовка сборки с крепежными элементами модуля и амортизаторами показала целесообразность ее изготовления из пластика. Первый вариант был изготовлен на 3D принтере из пластика ABS. В сравнении с вариантом из карбона при той же цене, во-первых, удалось упростить конструкцию - исключить промежуточные элементы крепления. Во- вторых, пластик ABS более эластичен в сравнении с карбоном и его слоёная конструкция повышает демпфирующие свойства платформы.

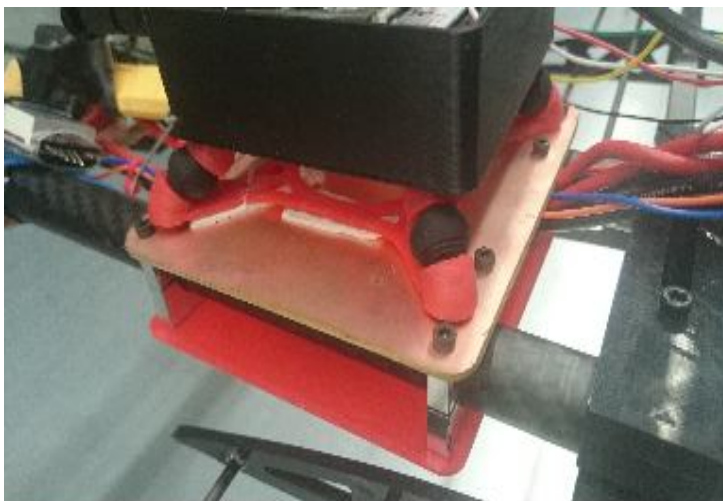


Рис. 8. Модуль системы управления на амортизационной платформе.

Замеры суммарных динамических воздействий на модуль проведены в программе Matlab® с помощью акселерометра при скорости вращения винтов около 4000 оборотов в минуту в стационарном положении при нежестком закреплении конвертоплана на горизонтальной поверхности. Винты расположены горизонтально. Показания акселерометра представлены на графиках. На графике рис. 9 показаны значения, когда акселерометр закреплён в корпусе жесткими связями.

Наибольшие значения вибрации в поперечном направлении - по оси Y. Причина в том, что консоль из карбона в этом направлении работает как стержень при сжатии и растяжении и практически не обладает свойствами амортизатора. По осям X и Z консоль работает на изгиб и частично снижает амплитуду колебаний.

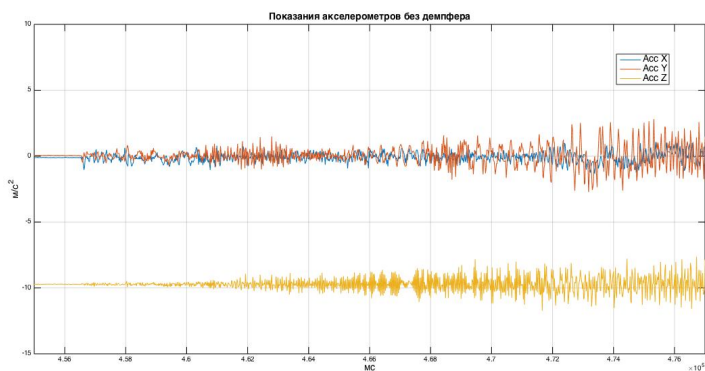


Рис. 9. График амплитуды колебаний без виброзащиты.

На графике рис. 10 показаны колебания, когда акселерометр установлен на виброзащитной платформе. Установка амортизаторов позволила компенсировать вибрацию по оси Y более, чем в 3 раза.

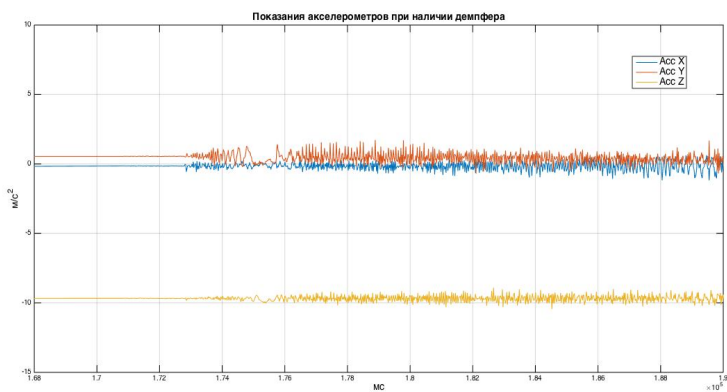


Рис. 10. График амплитуды колебаний при использовании виброзащиты.

Дальнейшие летные испытания показали стабильную работу системы инерциального управления на переходных режимах и при максимальных оборотах винтов. На данном этапе разработки, из-за

отсутствия надежного канала телеметрии, замеры в условиях полетане проводились.

Изготовление деталей конвертоплана.

В связи с ограниченными сроками выполнения проекта практически все детали изготавливались на имеющемся в лабораториях оборудовании.

Это универсальные металлорежущие станки:

- токарно-винторезный станок ИЖ250ИТВМ-01;
- фрезерные станки: УФ 200, НГФ- 110;
- фрезерный станок с ЧПУ Modela MDX-15;
- лазерные граверы RABBIT HX-1290SC и другие;
- 3D принтеры разных производителей.

На фрезерном станке Modela MDX-15 изготавливались тестовые детали из фольгированного текстолита и листового карбона. Листовой карбон обрабатывался твердосплавными фрезами при 3000 оборотах шпинделя. Часть 3D деталей, которые не выдержали нагрузок при испытаниях, были выполнены из алюминиевых сплавов на универсальных металлорежущих токарных и фрезерных станках (рис. 11, 12).



Рис. 11. Обработка детали на токарном станке.



Рис. 12. Детали конвертоплана.

Дальнейшее развитие проекта.

По результатам первого этапа проекта запланировано усовершенствование конвертоплана в следующих направлениях:

- усовершенствование аэродинамической схемы (исследования планируется провести в направлении создания конструкций «монокрыло» и «корпус-крыло»);
- разработка консоли ИВМГ из карбона в форме крыла под условия серийного производства, что улучшит аэродинамическую схему аппарата;
- разработка быстроразъёмного безлюфтового соединения модулей ИВМГ и крыльев с корпусом ЛА;
- усовершенствование системы навигации при полете на низкой высоте с учетом ландшафта местности в режиме автопилота.

Выводы.

Проведенные летные испытания модуля ИВМГ подтвердили возможность создания конвертоплана модульной конструкции.

Конвертоплан в модульном варианте позволит перейти к массовому производству, что в значительной степени снизит затраты и удешевит аппарат. Кроме того, модульность дает возможность автоматизировать сборку и проводить предполетную подготовку ЛА без участия человека, что немаловажно для массового использования ЛА, например, при доставке грузов потребителю со складов - аэродромов.

Были выявлены причины потери устойчивости конвертоплана при полете, которые заключались в вибрационном воздействии на модуль системы управления, вызываемом дисбалансом винтов. Для снижения вибрации, распространяемой по жестким связям, разработана виброзащитная платформа, которая дала возможность

отфильтровывать паразитные колебания и обеспечить качество пилотажа, соответствующее чувствительности элементов модуля управления.

Литература:

1. «Военное обозрение». Модификация израильского беспилотника «Panther»– палубный тактический конвертоплан Panther с VTOL
2. <http://topwar.ru/19337-modifikaciya-izrailskogo-bespilotnika-panther-palubnyy-takticheskiy-konvertoplan-panther-s-vtol.html>
3. «Военное обозрение» Безымянный беспилотник-конвертоплан компании «Новые технологии»
4. <http://topwar.ru/33113-bezimyanny-bespilotnik-konvertoplan-kompanii-novye-tehnologii.html> .
5. «Военное обозрение» AgustaWestland представила конвертоплан "Project Zero"
6. <http://topwar.ru/25602-agustawestland-predstavila-konvertoplan-project-zero.html>
7. Коновалов С.Ф., Никитин Е.А., Селиванова Л.М. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем, Ч.III «Акселерометры, датчики угловой скорости, интегрирующие гироскопы и гиринонтеграторы». – М.: Высшая

школа, 1980. – 128 с.

8. Суконкина М.Л., Гайнов С.И. Обзор методов и устройств
виброзащиты приборных платформ.
<http://www.nntu.ru/trudy/2013/04/311-319.pdf>

Построение паттернов саморазвивающихся многоагентных систем

ЛЕВЕН Дмитрий Олегович

г. Москва, ГБОУ Лицей №1537, 11 класс

Научный руководитель:

Минченко Михаил Михайлович,

к.э.н., учитель информатики,

ГБОУ Лицей №1537

Цель работы – разработка паттернов проектирования и развертывания способных к самоорганизации интеллектуальных многоагентных систем как основы агентно-ориентированного языка программирования с использованием эволюционного моделирования, адаптированной синтетической теории эволюции и принципов синергетики.

Одной из практических задач проекта является снижение трудозатрат на разработку и отладку интеллектуальных систем. Достичь этого можно за счет разработки паттернов, стандартизирующих решение задач в данной области программного проектирования.

Разработка многоагентных интеллектуальных систем в настоящее время активно используется для решения широкого спектра задач. Данный подход продемонстрировал высокую эффективность в различных областях программного проектирования, поэтому представляется важным найти

универсальную методику проектирования и обучения таких систем. Универсализация подхода к проектированию позволит упростить создание и отладку саморазвивающихся интеллектуальных систем, что позволит использовать их при решении более широкого спектра задач, в частности тех, для решения которых многоагентные интеллектуальные системы не применялись из-за высокой трудозатратности ранних этапов их разработки, связанных с формированием базовых алгоритмов. Всё это определяет чрезвычайную актуальность разработок, направленных на упрощение проектирования и обучения интеллектуальных систем.

Методологическая основа разработки.

Данная работа предполагает более гибкий подход к проектированию интеллектуальных систем за счет использования дополнительных методик, таких, как логическая и субъектная парадигмы.

В настоящее время наиболее удобной и универсальной методикой решения задач, встающих перед разработчиками интеллектуальных систем, является генетическое программирование как один из подвидов генетических алгоритмов, подразумевающий эволюцию сгенерированного программного кода. Оно может применяться для решения широкого круга проблем: символьной регрессии (*symbolic regression*), анализа данных (*data mining*), оптимизации и исследования поведения появляющегося потомства (*emergent*

behavior) в биологических сообществах, анализа поведения социальных сообществ.

Генетическое программирование относится к классу технологий, называемых эволюционными алгоритмами. Эволюционные алгоритмы основаны на понятиях, изучаемых современной теорией эволюционного синтеза. При решении проблем с помощью эволюционных алгоритмов вместо классического проектирования применяют методику, близкую к естественному отбору.

При использовании генетического программирования для решения проблемы генерируется множество случайных программ – возможных вариантов решения проблемы. Каждый вариант запускается и оценивается согласно критериям приспособленности, заданным разработчиком, в виде функции или системы тестов. Эволюционный алгоритм выбирает из текущего поколения лучшие варианты решения и получает от них потомство, используя генетические операторы (мутацию и скрещивание).

Процесс повторяется до тех пор, пока не найдено решение или не получено приближение к решению, заданное программистом, что аналогично естественному отбору в природе, являющемуся двигателем эволюции. Правильно запрограммированные генетические алгоритмы могут быть суперэффективны, что подтверждается рядом совершенных с их

помощью открытий. Пример перечня самых значимых работ:
<http://www.genetic-programming.com/humancompetitive.html>.

В *генетических алгоритмах* применяется кодирование признаков особей - «решений» в форме строк в некотором формате. Эти строки обрабатываются программой моделирования, и лучшие из них смешиваются, образуя новое поколение, согласно перечисленным выше принципам.

В *генетическом программировании* применяется другой подход. Здесь в селекции участвуют не закодированные представления решений, а исполняемые компьютерные программы, представленные либо в виде синтаксических деревьев, либо нейронных сетей или конечных автоматов. Основа эволюционно-генетического программирования обладает существенной универсальностью, что обуславливает возможность применения данной методики для решения практически любых задач, связанных с оптимизацией и поиском нетривиального решения.

В то же время создание «с нуля» алгоритма эволюционно-генетического программирования для решения задачи средней сложности часто оказывается неэффективным в силу достаточно высоких затрат на написание и тестирование. В этой связи представляется целесообразным создание паттернов, позволяющих применить генетическое и метагенетическое программирование для построения многоагентных интеллектуальных систем.

В данном проекте подразумевается адаптация используемого языка программирования для решения практических задач с использованием авторского эволюционно-генетического алгоритма. С опорой на использование эволюционного моделирования и основанного на логической парадигме метаязыка применяются эволюционные алгоритмы к интеллектуальной системе, состоящей из агентов-актеров, каждый из которых представлен в виде отдельного процесса, выполняющего программу, полученную генетическим наследованием от базового алгоритма (агента-родителя). В работе представлен паттерн, основанный на абстрактной реализации авторской гибридной модели эволюционно-генетического алгоритма. В рамках данного паттерна разрабатывается система отладки, которая позволяет управлять работой генетического алгоритма. С помощью этой системы можно отслеживать, как создаются следующие друг за другом поколения агентов, а также исследовать любого агента из любого поколения и посмотреть сгенерированный для него программный код.

Инструментарий и принципы программной разработки.

В качестве метаязыка применяется авторская модификация языка Prolog, реализованная на языке C# с добавлением поддержки дополнительных конструкций метапрограммирования. Использование логической парадигмы в дополнение к функциональной позволяет значительно

уменьшить число бесперспективных мутаций в процессе эволюции. В реализации паттерна важную роль играет акторная модель и использование субъектно-ориентированного подхода. Субъекты используются в качестве основы механизма принятия агентом решения и, одновременно, применяются в качестве одной из моделей представления «знаний» агента.

Координация представлений и действий агента в различных ситуациях требует развития единого подхода к формализации описаний и предписаний. Для решения этой проблемы в контексте данного проекта используется авторский «метаязык» PrologMeta. Вместо обычной бинарной логики, используемой классическим вариантом языка Prolog, в данной модификации для определения истинности суждений, построения и доказательства предположений используется четырехзначная логическая семантика Данна-Белнапа. В рамках данной семантики используются четыре истинностных значения: «истина», «ложь», «противоречие», «неопределенность» (см. Приложение).

Подобный подход обеспечивает системе большую гибкость, предоставляя возможность формализованно описывать мнение автономного агента, которое может касаться состояния среды, других агентов и самого агента. Мнения носят не достоверный, а правдоподобный характер, зависят от ситуации и нередко могут пересматриваться, следовательно, знание агента всегда является частичным, неточным, неоднозначным, а подчас

и противоречивым. Это означает, что в основу представления мнений следует положить аппарат многозначных логик, одной из которых и является семантика Данна-Белнапа.

Для представления мнений и оценок агента также используется *теория полезности* (утверждающая, что истинность есть прагматическая оценка полезности или пригодности) и *теория согласованности (когерентности)*, согласно которой высказывание агента считается истинным, если оно согласуется с остальной частью его знания. Это связано с тем, что выдвижение агентом некоторых предположений требует проверки их практической полезности, а их оценка может быть связана с анализом согласованности этих предположений с имеющимися знаниями.

Еще одним важным изменением, внесенным в Prolog, следует назвать введение субъектного механизма. В отличие от "неразумного" объекта, субъект наделен возможностью выбирать необходимый путь решения, корректируя последовательности своих действий для достижения поставленной цели. В основу субъектного механизма при реализации паттерна положено следующее:

1) субъект – это объект-потомок некоторого нулевого субъекта, от которого он унаследовал метод-реакцию: субъект приобретает свойство реагировать на присваивание его полям новых значений;

2) субъект - целое обладает одним методом-реакцией: если ему присваивают новое значение, он активирует все субъекты, элементом которых он является;

3) экземпляр субъекта-целого может быть элементом многих субъектов верхнего уровня.

Одним из основных применений субъектов в проекте является использование их для представления «знаний» и предположений агента, выраженных с помощью обогащенной четырехзначной логической семантики Данна-Белнапа. Совмещение субъектной парадигмы и четырехзначной логической семантики дает нам право более гибко подходить к формированию «суждений» агентов об окружающей среде. В данном контексте субъектные механизмы позволяют проводить логические рассуждения, построенные на допущениях, исключая при этом риск нарушения функционирования агента из-за парадоксальности выводов, так как наличие в рассуждении логического противоречия (парадокса) автоматически приведет к перевычислению связанных с данным рассуждением предположений и, соответственно, к признанию ложными тех допущений, которые привели к парадоксу. По сути, классическая для Prolog методика поиска решения, в рамках которой для представления логических высказываний, из которых потом формировалось доказательство предложенной пользователем «теоремы», использовались объекты, заменена на субъектно-ориентированную, в рамках которой каждое предположение-

субъект напрямую связано с теми высказываниями, из которых оно сформировано (субъектов-родителей) и теми, при доказательстве которых оно использовалось само, причем переоценка истинности данного высказывания влечет за собой перевычисление родительских и дочерних высказываний.

Структура программной реализации.

Для работы с интеллектуальной системой паттерн позволяет создать изолированную среду (*sandbox*), в рамках которой инициализируется многоуровневая распределенная интеллектуальная система, состоящая из сегментов, на каждом из которых вычисления выполняются параллельно. Инициализацию сегментов среды, эффективность их распределения по узлам вычислительного комплекса контролирует субъект-координатор системы. Он же анализирует общую эффективность многоагентных сообществ, формирующихся в отдельных средах, отбирая среди них наиболее приспособленные, и производит обмен эффективными агентами между сообществами, выполняющимися в разных сегментах среды. В рамках каждого сегмента среды выполняется программный субъект-координатор сегмента, а также агенты, эволюцию которых он контролирует.

Субъект-координатор системы реализует выполнение эволюционного алгоритма в рамках всей среды. Такой субъект реализует «островную» модель эволюционных алгоритмов, предоставляя неограниченные возможности для распараллеливания. Помимо инициализации среды (процесс

выбора программистом параметров эволюции и последующей программной генерации начального поколения на основе предложенных фрагментов кода) и контроля эффективности параллелизма, данный субъект осуществляет контроль «миграции», т. е. процесс копирования наиболее эффективных агентов из одного сегмента среды в другие. Кроме того, в рамках данного субъекта реализована система, позволяющая программисту наблюдать текущее состояние эволюционного процесса.

Субъект-координатор сегмента реализует выполнение эволюционного алгоритма в рамках своего сегмента среды. Этот субъект основан на классической схеме эволюционно-генетического алгоритма и выполняет следующие основные функции:

- 1) инициализация процесса эволюции в данном сегменте;
- 2) вычисление коэффициента приспособленности (вычисление *fitness*-функции);
- 3) генерация нового поколения (включает в себя основные операторы, присущие генетическим алгоритмам, т.е. оператор мутации и оператор скрещивания);
- 4) селекция – в зависимости от значения коэффициента приспособленности может выполняться, как по принципам, характерным для генетических алгоритмов, так и для эволюционных. Т. е. в зависимости от конкретных значений *fitness*-функции может как удаляться наименее приспособленная

часть популяции, так и формироваться промежуточная популяция на основе отбора и скрещивания эффективных агентов.

Используемый в данном паттерне "подпаттерн" эволюционного агента представляет собой вид интеллектуального обучающегося агента, имеющего ряд специфических особенностей. По своей архитектуре, он состоит из следующих программных компонентов:

- 1) модуль «Модель мира»;
- 2) модуль «Система переоценки модели мира»;
- 3) модуль «мРНК»;
- 4) модуль «ДНК»;
- 5) язык (методы) взаимодействия с окружающей средой.

Программный модуль «Модель мира» представляет собой совокупность информации об окружающей среде, записанную в виде причинно-следственных связей на разработанном автором логическом субъектно-ориентированном метаязыке. При взаимодействии с модулем «ДНК» «Модель мира» создает обратные отрицательные связи (ООС) и обратные положительные связи (ОПС), позволяющие стабилизировать интеллектуальную систему на этапе отладки.

Программный модуль «Система переоценки модели мира» позволяет агенту гибко реагировать на несоответствие полученных экспериментальным путем сведений об окружающей среде данным, заложенным в программу изначально, уточняя

методы предсказания реакции окружающей среды на воздействия со стороны агента.

Интерпретатор синтаксического дерева (модуль «мРНК») – по аналогии с биологическими функциями матричной РНК – отвечает за стабилизацию мутаций при наследовании. В модуле «мРНК» реализуется применение генетического алгоритма к набору процедур - «генов», содержащихся в «ДНК». Данный модуль, используя ОПС и ООС, влияет на эквивалентность (помехоустойчивость) интеллектуальной системы, когда возникшие отклонения на этапе развертывания нейтрализуются благодаря запущенным ООС регуляторным процессам. В рамках модуля «мРНК» при эволюционном наследовании выполняются основные генетические операторы (кроссинговер и мутация), и получившийся код сохраняется в «ДНК» агентов-потомков.

Программный модуль хранения промежуточного функционального множества, представленного в форме синтаксических деревьев (модуль «ДНК») – при исполнении программы выполняет функции, близкие к тем, что выполняет ДНК при синтезе белков, и представляет из себя структуру для накопления и хранения «генов» – фрагментов кода агента (синтаксических поддеревьев), использующихся при процедурной генерации кода в момент работы программного модуля «мРНК». В модуле «ДНК» код хранится в форме многоуровневого синтаксического дерева, каждый узел которого содержит функцию, а каждый лист – операнд. Модуль «ДНК» состоит как

из участков, исполняющихся агентом, так и из участков, сгенерированных в процессе эволюции «предков» агента, но не активных в данный момент. Это приводит к возникновению такого свойства кода, как коопция, позволяющего использовать в процессе мутации существовавшие ранее признаки и модули – применение их не по изначальному назначению позволит многократно использовать написанный программистом код для дальнейшего развития программы.

Модуль «Язык взаимодействия с окружающей средой» содержит в себе реализованное программистом множество методов, с помощью которых агент может воздействовать на окружающую среду и считывать из нее информацию (*терминальное множество*). Модуль реализован таким образом, чтобы обеспечить удобство отладки интеллектуальной системы в виртуальной среде и ее полную кроссплатформенность: обеспечена возможность легкой замены методов на те, что подходят к конкретной среде, без необходимости комплексной отладки. Данный модуль предполагает адаптацию под решение конкретной задачи за счет формирования первичного терминального и функционального множеств.

Выводы и область применения.

Реализованный в программе паттерн был апробирован на ряде классических для генетического программирования задач, в том числе на задаче «искусственного муравья», а также некоторых ее модификациях (постановка задачи приведена в

Приложении). Выполненная апробация позволяет сделать вывод о том, что реализованный паттерн обладает существенными преимуществами по сравнению с аналогами:

1) используемый интеллектуальный агент является наследником субъекта, а не прямым наследником объекта, что позволяет ему проявлять большую гибкость при принятии решений;

2) паттерн представляет собой описание универсального эволюционно-генетического алгоритма с использованием метаязыка, что позволяет программисту легко адаптировать паттерн для решения конкретных задач;

3) «островная» модель эволюционно-генетического алгоритма предоставляет неограниченные возможности для распараллеливания, позволяет избежать локальных экстремумов и многократно снижает риски, связанные с неудачным выбором зерна генерации начального поколения;

4) самоорганизация агентов, функционирующих в рамках одного сегмента среды, может рассматриваться как диссипативная структура второго порядка. Это позволяет использовать паттерн для создания эффективных сверхмасштабных распределенных асинхронных интеллектуальных систем.

Дальнейшее развитие паттернов для построения интеллектуальных систем целесообразно, поскольку подобные системы могут найти практическое применение при решении

широкого класса задач, таких, как оптимизация, моделирование адаптивного поведения, а также исследование эволюционных процессов в различных технических и социальных системах, которые в силу своей специфики склонны к самоорганизации.

Литература:

1. Аверченков В.И. Эволюционное моделирование и его применение. – М.: ФЛИНТА, 2011.
2. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG. – М.: Вильямс, 2004.
3. Карпов В.Э. Эволюционное моделирование. Проблемы формы и содержания // Новости искусственного интеллекта, 2003, №5.
4. Найдич В.А. Компьютерное моделирование биологической дивергентной эволюции в однородной среде: <http://citysoft.mosmap.ru/evolutcomp/evolutcomp.htm>
5. Редько В.Г. Моделирование когнитивной эволюции // Математическая биология и биоинформатика, 2010, т. 5, №2.
6. Шилдт Г. C# 4.0: Полное руководство.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011.
7. Luke S. Essentials of Metaheuristics. 2009.
8. Holland, J.H. "Adaptation in Natural and Artificial Systems", 1975.
9. Darrell Whitley. A genetic algorithm tutorial. Statistics and computing, 4, 1994.

10. MacDonald M. Pro WPF in C# 2010: Windows Presentation Foundation in .NET 4.0. – L.: Apress, 2010.

Приложение.

Четырехзначная логическая семантика Данна-Белнапа

T – «истина»;

F – «ложь»;

B – «истина и ложь одновременно» (противоречие);

N – «ни истина и ни ложь» (полная неопределенность).

Отметим, что в случае бирешетки 4 условие связи между порядками $\mathfrak{f}t$ и $\mathfrak{f}i$ выражается через отрицание Белнапа:

p	T	B	N	F
$\neg p$	F	B	N	T

Таблицы истинности для конъюнкции и дизъюнкции Белнапа задаются следующим образом:

$p \dot{\cup} q$	T	B	N	F
T	T	B	N	F
B	B	B	F	F
N	N	F	N	F
F	F	F	F	F
$p \dot{\cup} q$	T	B	N	F

T	T	T	T	T
B	T	B	T	B
N	T	T	N	N
F	T	B	N	F

Постановка задачи "искусственного муравья", использованной при апробации выполненной программной реализации

Наиболее распространенная формулировка данной задачи: разработка интеллектуальной стратегии поведения простого искусственного муравья, в том случае, если муравей перемещается по тору некоторой заданной площади. То есть, если он выходит из сетки с одной стороны, то возвращается с другой.

На сетке имеется выходящая дорожка, на которой находится пища. Дорожка начинается в ячейке, из которой и выходит муравей. Каждая ячейка на пути может быть пустой, с пищей или с индикатором, который указывает, что данная ячейка является промежутком между областями, где есть пища. Дорожка по условию непрерывна, начиная с исходной ячейки. Каждая ячейка с пищей смежна минимум с одной ячейкой, которая тоже содержит пищу или помечена как промежуточная.

У простого муравья две переменных, полностью описывающие его состояние. Первая — текущая позиция муравья в сетке. Вторая — направление, в котором он смотрит: влево, вправо, вверх или вниз. Муравей может делать три вещи: повернуть налево,

повернуть направо или перейти в квадрат, на который он смотрит. У него лишь одно средство восприятия окружающей среды — функция, сообщающая, есть ли пища в квадрате, на который смотрит муравей.

Когда муравей перемещается в квадрат с пищей, она удаляется из сетки, а общий объем пищи, собранный муравьем, увеличивается на 1. Когда муравей поворачивается или передвигается, счетчик ходов, потребовавшихся на сбор пищи, тоже увеличивается на 1.

Задача в том, чтобы создать муравья, способного на осмысленную последовательность поворотов и переходов в соответствии со значениями функции определяющей наличие перед ним еды. Эта задача очень часто применяется для тестирования эволюционных и генетических алгоритмов.

Задача "Муравей в лабиринте"

Эта задача аналогична во многом предыдущей задаче, основана на том, что муравей должен найти выход из некоторого количества случайно сгенерированных алгоритмов за минимальное время.

Копии экранных форм представлены на рис. 1.

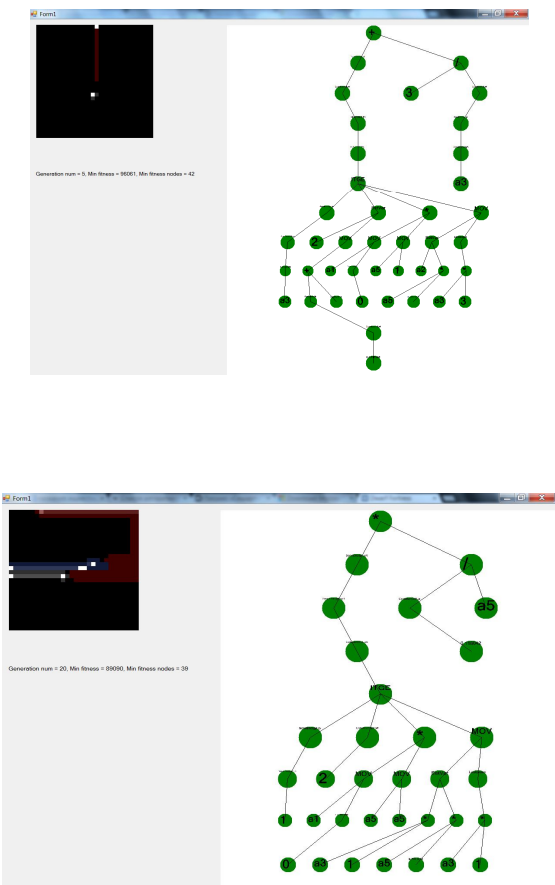


Рис.1. Копии экранных форм.

Разработка системы управления колесной машиной.

ОГОЛЬЦОВ Павел Александрович

г. Москва, ГБОУ Лицей №1581, 11 класс

Научный руководитель:

Власов Андрей Игоревич,

*к.т.н., доцент кафедры «Конструирование
и производство электронной аппаратуры»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Работа посвящена разработке системы дистанционного управления мобильной платформой со смартфона на базе ОС Android. Система включает в себя блок управления, устанавливаемый на платформу, минимизированный по массогабаритным и стоимостным характеристикам и пакет оптимизированного программного обеспечения (ПО) для смартфона с удобным и понятным интерфейсом.

Актуальность. В настоящее время самоходные машины на дистанционном управлении находят обширное применение. Многие из них не ставят перед собой задачи управления с дальних дистанций, т.е. предполагают возможное нахождение оператора в непосредственной близости. Примером могут служить строительные роботы-тележки, подставки для кинокамер на съемках, крупные любительские роботы-платформы. Для управления этими машинами необходимы электронное устройство,

устанавливаемое непосредственно на борт платформы, и пульт дистанционного управления, учитывающий все её функции. Для большинства ныне существующих платформ не существует распространенных решений в виде готового продукта, и электроника разрабатывается отдельно для каждой задачи. К тому же активно развивается концепция техники на смартфон-управлении, ввиду их распространенности в жизни.

Данная система может решить несколько проблем:

- универсальность блока управления – небольшие размеры (12см*8см), поддержка электродвигателей различной мощности – позволяет применять её на прототипах от крупных игрушек до различных мобильных платформ;

- управление с помощью Android устройства значительно упрощает работу, в силу их распространенности: оператору необходимо всего лишь установить удобное приложение на смартфон или планшет.

Постановка задачи: Разработать систему дистанционного управления мобильной платформой, использующую смартфон в качестве пульта ДУ. Система должна иметь возможность регулирования скорости движения и крутизны поворота в реальном времени, поддерживать установку на обширный круг колесных или гусеничных платформ на электроприводе с реверсной системой поворота, использование, по возможности, любого смартфона на базе ОС Android.

Целью работы является разработка универсальной, удобной системы дистанционного управления различными колесно-гусеничными платформами, обладающей минимальными стоимостными и оптимальными техническими характеристиками.

В рамках работы были решены следующие научно-технические задачи:

- определена оптимальная технология передачи данных со смартфона на устройство;
- реализация оптимальной схемотехники устройства управления, минимизирующей возможные помехи в связи с наведенными токами от силовой части;
- отработана методика проектирования устройств на микроконтроллерах, проведен анализ архитектуры микроконтроллеров AVR;
- исследовано внутреннее устройство ОС Android, базовые принципы, необходимые для создания приложения;
- рассмотрена технология Bluetooth и ее использование для обмена данными;

Положения, выносимые на защиту:

- принцип управления мобильными платформами с помощью смартфона значительно более удобен в работе, чем ныне существующие;
- при использовании полевых МОП-транзисторов в силовой части устройства повышается КПД устройства;

- разделение силовой и логической земли в плате устройства управления повышает помехоустойчивость устройства.

Методы исследований. В ходе работы при проектировании основных функциональных узлов для определения оптимальных параметров устройства использовались следующие методы исследования:

1. Моделирование. Производилось макетирование нескольких вариантов основных функциональных узлов схемы. По результатам тестовых испытаний и проведенных замеров выходных характеристик выбирались наиболее подходящие варианты строения и компоновки различных узлов.
2. Подробный оценочный анализ схем в САПР (ISIS Proteus, DipTrace).

Научная новизна работы заключается в предложенном принципе управления, примененном к колесно-гусеничным аппаратам.

Апробация работы. Апробация работы проведена на семинаре по информатике и программированию, посвященному показу работ выпускников в Лицее №1581 при МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Структура и объем работы. Работа состоит из четырех основных разделов.

В первом разделе рассматриваются возможные способы передачи управляющего сигнала со смартфона на устройство. Рассматриваются ныне существующие устройства концепции смартфон-управления, освещаются их достоинства и недостатки.

Дается технико-экономическое обоснование целесообразности разработки данной системы.

Во втором разделе рассматривается предложенный принцип передачи управляющего сигнала. Описывается модель формирования и обработки управляющих данных. Дается описание необходимого интерфейса и функционала Android приложения.

Третий раздел посвящен конструкторской части. Показан анализ принципиальной и функциональной схем с описанием элементной базы. Рассматривается схемотехника платы управления и программа микроконтроллера на ее базе. Дается краткое предметное описание разработки ПО смартфона. Проведены необходимые тесты и исследования, на основе которых получена окончательная компоновка платы управления с ее последующим разведением в САПР. Показаны этапы изготовления опытного образца устройства управления.

В четвертом разделе показан ряд тестовых испытаний системы в целом, путем установки опытного образца устройства управления на экспериментальную модель колесной платформы и анализ их результатов.

Отмечен ряд возможных дальнейших усовершенствований системы. На основе вышеизложенных знаний сделано заключение о результате проделанной работы.

Результатом работы явилась построенная и объединенная система: сконструированное устройство управления и созданное ПО для любого смартфона на базе ОС Android. Данная работа имеет

практическую ценность. Реализованная система позволяет управлять различными колесными и гусеничными платформами, используемыми на практике. Для управления можно использовать любой Android смартфон, что избавляет оператора от необходимости в отдельном специальном пульте ДУ, который имеет потребность в зарядке или может выйти из строя. Система поддерживает возможность управления скоростью вращения и углом поворота платформы, контроля бортового освещения, в системе реализована возможность обратной связи, поэтому возможно применение на сложных, технологичных платформах.

Реализация результатов выражена в виде изготовленной печатной платы устройства управления, установленная на экспериментальную колесную платформу для тестирования характеристик устройства в целом и его систем, и разработанное Android приложение. Устройство управления уже сейчас может быть смонтировано на необходимой платформе и, в совокупности с ПО для смартфона, может активно использоваться по назначению.

1. ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМОЙ.

1.1. Анализ существующих мобильных платформ и их систем управления.

В настоящее время, как в быту, так и в промышленности активно применяются различные колесные или гусеничные устройства на электроприводе. Их основная функция – заменять

или дополнять труд человека в различных, в том числе бытовых, областях. Условно такие устройства можно разделить на два класса: управляемые с больших расстояний и работающие в непосредственной близости от оператора. Первые применяются, когда выполняемые работы могут быть опасны или неосуществимы непосредственно для человека, например, роботы-саперы, устройства телеприсутствия, планетоходы и др. Вторые же, в силу специфики решаемых задач, не нуждаются в управлении с дальних дистанций. К ним можно отнести промышленные роботы-тележки, различные бытовые управляемые аппараты: роботы-пылесосы, крупные автомодели и т.д. В качестве наглядного примера рассмотрим колесный снегоуборщик на дистанционном управлении американской компании SuperDroidRobots (рис. 1.1) [11].



Рис. 1.1 SuperDroid – дистанционно управляемый снегоуборщик.

SuperDroid – полноценная снегоуборочная машина на дистанционном управлении. Ходовая часть состоит из 4 мотор-редукторов с двигателями 24 В, 250 Вт каждый. Машина оснащена ковшем на пневмоприводе и двумя мощными лампами для освещения очищаемого участка. Благодаря большой тяге мотор-редукторов и повышенной проходимости ходовой части машина способна справиться с серьезными снеговыми завалами. Машина управляется с помощью стандартного пульта ДУ для моделизма, позволяющего задавать направление движения и поворота машины, а также контролировать положение ковша.

На практике существует и применяется немало подобных управляемых машин. В таблице 1.1 приведены варианты таких платформ, их основные характеристики и способы управления.

Таблица 1.1 Существующие платформы, их системы управления и характеристики.

Платформа	Характеристики
Пылесос для чистки бассейнов на управлении Zodiac Vortex 3 [13]	Силовая установка – 2 двигателя постоянного тока 24В общей мощностью 150 Вт. Управление – пульт ДУ на проводе.
Многофункциональная транспортная платформа ISODESIGN RC Robot Tractor [14]	Силовая установка – два двигателя постоянного тока 24 В, 350 Вт. Управление – стандартный модельный пульт ДУ
Радиоуправляемый снегоуборщик SuperDroid [12]	Силовая установка – четыре двигателя постоянного тока 24 В, 250 Вт. Управление – стандартный модельный пульт ДУ

Рассмотрим достоинства и недостатки способов управления платформами, приведенных в таблице 1.1:

1. Управление по проводному каналу. Способ обладает вполне очевидными недостатками: провод громоздок, неудобен, имеет весьма ограниченную длину. Кроме того, провод может запутаться или быть порван. Несмотря на это у такого решения есть и достоинства: системы проводной передачи информации технологически проще и дешевле беспроводных.

2. Беспроводное управление с помощью пульта ДУ. Достаточно распространенный способ, обладающий массой очевидных преимуществ относительно других решений: свободное перемещение управляемого устройства, отсутствие ограничения дальности, обусловленного длиной провода и др. Из недостатков стоит отметить технологически трудный процесс преобразования, передачи и приема управляющего сигнала при беспроводных технологиях, требующий наличия соответствующих узлов в составе системы (приемник, передатчик, преобразователи). К тому же пульт ДУ – отдельное устройство, потребляющее энергию, а, как следствие, требующее замены элементов питания или подзарядки.

1.2 Анализ существующих решений и возможных методов передачи управляющего сигнала.

Использование беспроводного пульта ДУ для управления устройствами обладает рядом преимуществ. Однако недостатком такого метода является наличие самого пульта ДУ. Он требует подзарядки или замены батарей питания, к тому же оператору

управляемой платформы необходимо постоянно носить его с собой. Тем временем, почти каждый человек имеет мобильное средство связи. В наше время в большинстве случаев это смартфон. Использование его в качестве пульта ДУ избавило бы решение от ряда недостатков, Человек все равно заряжает и носит с собой мобильное устройство, к тому же, ряд задач по формированию и преобразованию управляющего сигнала переходит на ПО устройства.

В настоящее время идея смартфон-управления различной техникой сильно распространена. При этом используются различные способы передачи сигнала. Проведем анализ нескольких существующих решений.

Любительские модели компании iHelicopters управляются по ИК каналу при помощи выносного трансмиттера, использующего разъем для наушников. Также похожее решение применяют для управления бытовой техникой, использующей ИК канал в качестве управляющего, например, телевизорами. Для этого производятся специальные выносные трансмиттеры, такие как Universal Infrared Remote Controller, iRed [18] и др.

Основными недостатками данного метода являются весьма ограниченная дальность управления (2-3 м) и необходимость постоянного направления пульта ДУ в сторону управляемого устройства. Эти недостатки непосредственно связаны с физикой самой ИК передачи: используемые в данных целях инфракрасные лучи имеют длины волн порядка 950 нм (ИК передача является

разновидностью оптической), поэтому они хорошо отражаются от поверхностей и практически не проникают в них, что делает невозможным передачу сквозь различные препятствия. К тому же данный способ требует наличия специального трансмиттера, что несколько противоречит идее полной замены пульта ДУ смартфоном.

Компания Parrot выпускает любительские летательные аппараты A.R. drone 2.0, управляемые с мобильных устройств. В качестве канала передачи используется встроенный Wi-Fi. Также система позволяет выводить на экран изображение с бортовой камеры аппарата и осуществлять ее запись [19].

Рассмотрим подробнее специфику применения Wi-Fi для передачи управляющих сигналов. Стандарт Wi-Fi представляет собой передачу данных по радиоканалу с частотой порядка 2,4 ГГц. Радиоволновые методы передачи информации находят обширное применение на практике: радиоволны высокой частоты хорошо проникают сквозь преграды (окна, стены) и огибают их, могут распространяться на значительные расстояния и обеспечивать высокую скорость обмена данными. Поэтому такое решение может позволить осуществлять, например, полноценную обратную связь в виде передачи изображения с камеры устройства. Однако стандарт IEEE 802.11 используемый в Wi-Fi является стандартом локальных сетей (WLAN), что требует наличия алгоритмов защиты и шифрования передаваемых данных. При управлении бытовыми колесными устройствами такие меры защиты излишни, и только

затрудняют разработку ПО для смартфона, усложняют алгоритмы устройства приема управляющего сигнала.

Помимо Wi-Fi среди высокочастотных стандартов радиопередачи также существует технология Bluetooth. Являясь стандартом персональных сетей (WPAN), она поддерживает различные профили передачи данных, в т. ч. и незащищенные, при этом обладая преимуществами Wi-Fi (радиосвязь с частотой 2,4 ГГц).

1.3 Технико-экономическое обоснование целесообразности разработки системы дистанционного управления колесной техникой.

Как показывает практика мобильные колесные (гусеничные) платформы на дистанционном управлении активно применяются в быту и на производстве. Под управлением оператора такие системы выполняют различные задачи: от перевозки грузов и буксирования садовой техники до чистки различных поверхностей с помощью встроенных систем. Спектр применения разрабатываемой системы представлен на рисунке 1.2. Весь рассматриваемый класс устройств обладает схожей общей конфигурацией, однако характеристики отдельных частей системы могут быть различны. Так, например, в качестве источника питания применяют батареи от 5В до 24В, в приводе платформы могут использоваться двигатели различной мощности. При этом при проектировании нового устройства приходится разрабатывать собственную систему управления,

конкретно для данной задачи, в силу того, что на рынке не представлено распространенных стандартных решений.

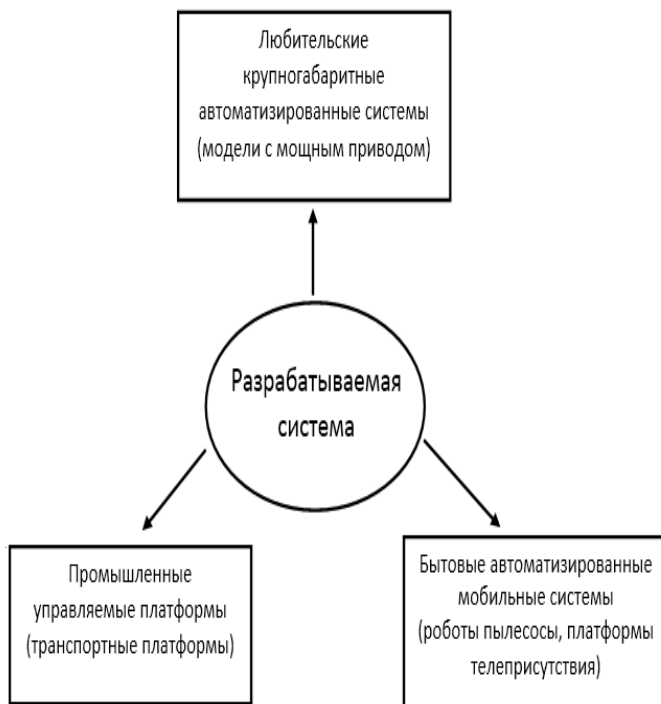


Рис. 1.2. Классификация целевых платформ разрабатываемой системы.

В таком случае разработка универсальной, удобной системы управления, включающей аппаратную и программную части, могла бы быть использована разработчиками при проектировании управляемых мобильных аппаратов в качестве готового решения. К тому же, в ходе проведенного анализа использования смартфонов в системах управления, установлена целесообразность применения

мобильных устройств (смартфон, планшет) в качестве универсального пульта управления различными устройствами. Применение их в системе позволяет отказаться от использования внешних пультов ДУ и существенно упрощает процесс управления, делая его доступным с любого мобильного Android устройства.

1.4 Постановка задачи разработки системы управления колесной техникой.

Необходимой задачей является разработка универсальной и удобной системы управления мобильными платформами на электроприводе с нулевой системой поворота. Для многих устройств может быть необходимым возможность изменения скорости движения (например, крупные любительские модели), поэтому система должна обладать возможностью регулирования скорости движения и крутизны поворота управляемой платформы.

Система должна обладать широкой сферой практического применения. Аппаратная часть должна поддерживать установку на обширный класс платформ со следующими характеристиками: бортовое питание от источников напряжением от 5В до 12В, двухканальная система двигателей постоянного тока мощностью до 300Вт на один канал. Также система должна иметь возможность организации обратной связи и управления бортовым освещением.

Поскольку управление осуществляется с помощью Android-устройства по каналу Bluetooth, необходимо оснащение системы требуемой приемопередающей аппаратурой, а возможность использования в качестве пульта ДУ должна поддерживаться

большинством мобильных Android-устройств, имеющих в своем составе модуль Bluetooth. Требуемые характеристики системы приведены в сводной таблице характеристик (таблица 1.2).

Таблица 1.2 Требуемые характеристики разрабатываемой системы.

Параметр	Значение
Напряжение основного источника питания	5 В - 12 В
Мощность одного канала двигателей силовой части	300 Вт
Дальность управления	5-12 м (непосредственная близость)
Смартфон	ОС Android 2.2 – Android 4.0

ПО, устанавливаемое на смартфон или планшет должно поддерживать весь необходимый функционал, обладать понятным и удобным графическим интерфейсом. Аппаратная часть должна быть минимизирована по стоимостным (около 1 тыс. руб.) и габаритным (ориентировочно 10см*10см) характеристикам.

Выводы по главе 1.

По результатам краткого обзора существующих платформ на ДУ и анализа их систем управления следует, что проводные методы передачи управляющего сигнала не подходят для применения в данной системе. Использование проводов неудобно, а, учитывая, что многие платформы имеют довольно большие размеры и мощный привод, может быть небезопасно. Гораздо больше для

данных целей подходят беспроводные методы, среди которых распространены такие как инфракрасная передача, радиоуправление и др. При этом инфракрасная передача является довольно ненадежной и нефункциональной в силу своих физических особенностей. Она не может осуществляться даже сквозь небольшие препятствия, с чем без труда справляется радиопередача на высоких частотах.

В настоящее время распространен протокол обмена данными Bluetooth, в основе которого лежит радиопередача на высокой частоте (2,4 ГГц). Поскольку Bluetooth является цифровым интерфейсом, его использование может избавить от необходимости погружения в специфику теории радиопередачи (различные виды модуляции, детектирования), т.к. обмен данными между двумя устройствами происходит автоматически, формат посылки – последовательность байт (цифровой канал).

Также рассмотрен тот факт, что ввиду распространенности в наши дни мобильных устройств, во многих бытовых устройствах прослеживается концепция смартфон-управления. Анализируя идею использования смартфона в системе в качестве пульта ДУ, можно прийти к выводу о том, что такой способ может быть очень удобен, например, избавляет оператора от необходимости наличия и обслуживания отдельного пульта ДУ. К тому же практически во все Android устройства встроен выбранный интерфейс передачи - Bluetooth, это обеспечивает универсальность системы.

По результатам анализа современного рынка было установлена и обоснована целесообразность разработки системы дистанционного управления колесной техникой.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКОЙ.

2.1 Анализ существующих моделей дистанционного управления колесной техникой.

Как было установлено в ходе анализа существующих систем, многие устройства контролируются с помощью системы радиоуправления, состоящей из пульта ДУ и приемника/преобразователя сигналов, монтируемого на устройство. Конструктивно пульты ДУ состоят из нескольких кнопок и/или рычажных элементов, соответствующих некоторым командам, скажем, четыре кнопки: «движение вперед», «движение назад», «поворот вправо», «поворот влево». Более функциональные устройства также могут поддерживать градацию команд, когда управляемое значение может меняться, например, если скорость движения или угол поворота зависят от глубины нажатия рычажка. Рассмотрим систему управления роботом-пылесосом iRobot Roomba и проанализируем используемую в ней модель формирования и передачи управляющих данных. Структурно система имеет следующее представление (рис. 2.1).

В качестве управляющего сигнала в Roomba применяется цифровой сигнал. Устройством ввода служит клавиатура пульта ДУ

на 9 кнопок. В зависимости от данных с клавиатуры, пульт ДУ формирует необходимую последовательность байт и передает ее на устройство по каналу передачи. Т.к. фактически и пульт, и робот –



Рис. 2.1 Система управления iRobot Roomba [11].

цифровые устройства, то не имеет принципиального значения способ передачи (оба устройства оперируют последовательностью байт). По умолчанию в системе используется встроенный ИК канал, но доступно изменение способа передачи путем подключения необходимых модулей преобразования и приема. Для этого в корпусе устройства предусмотрен специальный интерфейс. Рассмотрим модель и структуру управляющей последовательности для Roomba, приведенной в спецификации к этому интерфейсу Roomba Open Interface Specification. Согласно этому документу управляющая последовательность имеет следующий вид:

[байт кода команды] <опциональные байты параметров>

То есть каждая команда задается одним байтом кода операции. Также некоторые команды могут сопровождаться дополнительными байтами данных. В качестве примера рассмотрим команду Drive, которая управляет движением аппарата.

Код команды: 137 (байт кода 0x89).

В качестве параметров выступают скорость движения в мм/с, записанная в два первых опциональных байта, и радиус поворота в мм, записанный в два последние байта последовательности. Для дифференцирования направлений движения поворота скорость передвижения назад и радиус поворота вправо берутся со знаком минус.

2.2 Модель формирования и обработки управляющих данных

Согласно поставленным задачам система должна позволять контролировать как направления движения и поворота управляемого аппарата, так и их интенсивность. Проанализируем специфику применения тех устройств, для управления которыми разрабатывается данная система. В основном это платформы, выполняющие различные бытовые функции (управляемые транспортные тележки, снегоуборочные машины на ДУ и т.д.), то есть специфика работы таких устройств не требует глубоких градаций скорости движения и угла поворота. Тем временем выбранный способ связи устройств, Bluetooth, является цифровым

каналом передачи данных, а, значит, передает последовательность дискретных значений (битов).

Рассмотрим структуру байта, предложенную в качестве модели управляющих данных (рис. 2.2). Две тройки старших битов – скорости вращения правого и левого двигателей соответственно, в условных единицах, принимающие значения от 0 до 7 (000 и 111 в

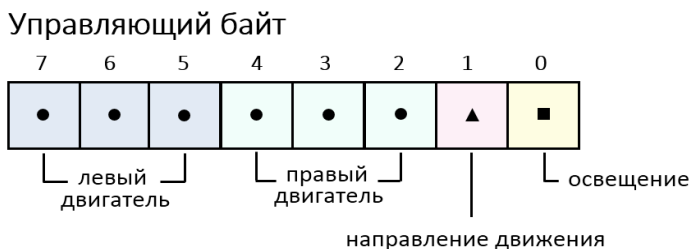


Рис. 2.2 Структура управляющего байта.

двоичном представлении). Для того чтобы задать направление вращения, используется еще один, служебный бит, первый по счету в составе байта. Принимается, что значение «1» бита соответствует прямому направлению вращения двигателей (движение аппарата вперед), значение «0» - обратному направлению (движение назад). Оставшийся свободный младший бит байта отводится под управление бортовым освещением аппарата, значение «1» которого соответствует команде включения осветительной нагрузки, а «0» - ее выключения. Рассмотрим на приведенных ниже примерах некоторые особенности возможных вариантов управляющих байтов:

Байт 11100010 соответствует команде полного поворота направо на месте и отключенном бортовом освещении. Примечательно, что такой же набор команд имел бы байт вида 00011100, разница лишь в положении оси поворота. Так как скорость двигателя имеет 8 возможных значений, а направление движения для обоих двигателей всегда едино, то величина поворота платформы имеет 8 градаций. В самом деле, ведь скорость поворота в данном случае – разница скоростей правого и левого двигателей.

В случае необходимости, бит освещения может быть заменен флагом назначения байта. Это может быть необходимо, если управляемое устройство имеет дополнительную функцию, для которой должна быть выделена отдельная команда. Например, возможность опускания или подъема ковша у снегоуборочного аппарата. Значение флага «1» сигнализирует о том, что в остальных семи битах записаны команды управления движением платформы, как в случае, изображенном на рисунке 2.2, а значение «0» о том, что остальные биты – команды на включение/выключение дополнительных возможностей, в том числе бортового освещения.

2.3 Анализ необходимого функционала и интерфейса ПО смартфона.

Используя предложенную модель формирования и обработки управляющих данных, нетрудно установить, что ПО смартфона должно выполнять следующий ряд задач: обрабатывать полученную от человеко-машинного интерфейса (ЧМИ)

информацию и формировать из нее посылку в виде байта данных, формат которого рассмотрен выше; отправлять данную посылку на устройство по каналу Bluetooth.

Для формирования необходимых управляющих данных приложение должно получить от ЧМИ необходимые сведения об управлении. Поэтому в качестве основных компонентов интерфейса необходимо присутствие элемента, задающего скорость и направление (например, движка) и элемента, управляющего поворотом устройства. Так как интерфейс должен быть интуитивно понятен, предлагается создание визуальной оболочки, внешне напоминающей контроллер игровой приставки (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Стандартный контроллер Sony PlayStation [12].

Его функциональности достаточно (имеет два осевых джойстика, подходящих для управления скоростью и поворотом), он удобен и привычен для людей. Практика показывает, что пользователям не составляет труда с ним разобраться.

Дополнительно, помимо основных элементов, необходимо расположить на экране несколько опциональных кнопок общего

назначения, используемых при необходимости наличия дополнительных команд. Также все Android устройства оснащены датчиками положения в пространстве, что позволяет применить рулевое управление с помощью ориентации смартфона. Настраиваемые параметры могут быть размещены в кратком разделе настроек.

К тому же, использование цифрового канала Bluetooth позволяет организовать обратную связь с устройством, что может быть использовано для контроля заряда бортового источника или оборотов двигателей при дальнейшем усовершенствовании системы.

Выводы по главе 2

Всем необходимым функционалом платформы возможно управлять посылкой длиной в один байт. При этом такой управляющий байт содержит всю необходимую информацию как о скорости и направлении движения и поворота, так и о состоянии внутренних систем. Использование такого набора управляющих данных значительно удобнее применения статичных команд по многим причинам.

Во-первых, статичные команды необходимо хранить в памяти устройства, а при приеме команды находить подходящую в памяти, перебирая множество значений, что алгоритмически неэффективно.

Во-вторых, для градирования передаваемых значений скорости и угла поворота, при использовании статичных команд

необходимо вводить дополнительные байты-параметры. Передача команды в виде нескольких последовательных байт может представлять определенные трудности: возможна потеря или неверное интерпретирование принятых данных, к тому же команда не будет считаться принятой, пока все байты посылки не будут получены. Поэтому возможна ситуация, когда следующая команда ожидает отправки, а предыдущая не может быть принята из-за потери одного из байтов. Несколько подобных последовательных ошибок подряд могут привести к серьезным сбоям управления, поэтому необходимо учитывать меры защиты от них. Это порождает очередные алгоритмические решения, что требует от системы больших ресурсов.

Однобайтные команды лишены таких недостатков, к тому же выражение передаваемых значений в условных единицах избавляет бортовую систему управления от лишних вычислений. Так как в разрабатываемой системе в качестве пульта ДУ используется смартфон, то гораздо рациональнее возложить большую часть вычислений на него, как аппаратно более мощное устройство, что и применяется при данном подходе к организации управления. Это позволяет значительно уменьшить потребности бортового устройства в ресурсах, а значит сократить его стоимость и габариты.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО ANDROID УСТРОЙСТВА.

3.1 Анализ существующих схемотехнических решений устройств управления электродвигателями и их отдельных узлов.

Ключевую роль в разрабатываемом устройстве занимает управление движением платформы, поэтому наиболее важной частью разработки является проектирование и анализ силовой части схемы устройства управления: узлов управления электродвигателями. Рассмотрим существующие на настоящий момент схемотехнические решения. Для управления мощной нагрузкой постоянного тока, в т. ч. электродвигателями, используются специальные драйверы – устройства, преобразующие электрические сигналы логической части с целью управления какой-либо нагрузкой. В настоящее время активно распространены интегральные микросхемы - драйверы коллекторных электродвигателей, на них сконструировано и доступно для анализа множество периферийных модулей, применяемых в сборных системах. Реализация таких узлов в виде ИМС уменьшает размеры печатной платы и облегчает проектирование устройства, однако такие драйверы обладают низкими характеристиками выходного тока – порядка 2-4 А, при этом создают падение напряжения в цепи питания двигателя 1-1,2 В. Для анализа причин данного явления рассмотрим принципиальную схему одного из распространенных драйверов двигателей L298N (рис. 3.1).

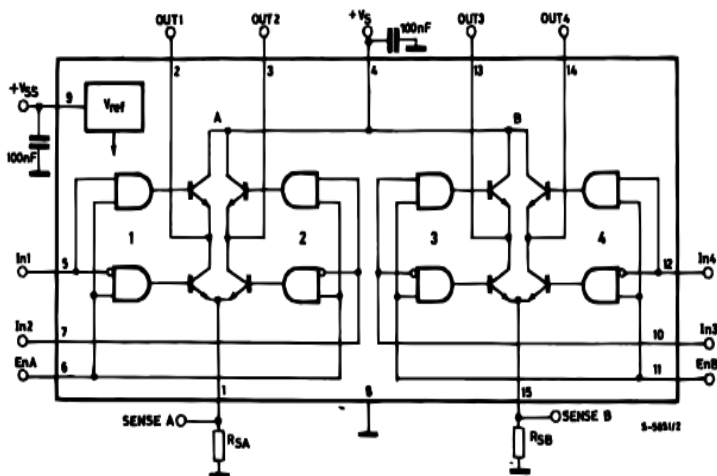


Рис. 3.1 Принципиальная схема микросхемы-драйвера L298N [7, рис. 2.40].

Драйвер представляет из себя два Н-моста, составленных из биполярных транзисторов, которые в свою очередь характерны падением напряжения на переходе коллектор-эмиттер, составляющее, в зависимости от материала изготовления, порядка 0,3-0,6 В. Цепь электродвигателя состоит из двух последовательно соединенных транзисторов, поэтому суммарное падение напряжения может составлять более 1В, что существенно при использовании питания двигателей от 5В. Это одна из основных причин неприменимости ИМС драйверов для поставленной задачи.

3.2 Структурная схема устройства управления.

Рассмотрим компоненты предложенной структурной схемы (рис. 3.2).



Рис. 3.2 Структурная схема устройства управления.

Вычислительным блоком устройства служит микроконтроллер, принимающий и обрабатывающий управляющие данные от смартфона и контролирующий все системы и модули устройства. Приемопередача управляющего сигнала по каналу Bluetooth осуществляется с помощью периферийного BT модуля HC-04. Так как напряжение питания логической части схемы (микроконтроллер и BT модуль) составляет 5В, а напряжение питания устройства может достигать 12В, для получения стабильного, питающего логическую часть, напряжения используется блок стабилизации до 5В. Для управления двигателями, с поддержкой возможности изменения скорости вращения каждого из них применяется драйверный блок управления двигателями. Также имеется возможность управления

дополнительными нагрузками, питающимися от 12 В. Схема снабжена необходимой индикацией, позволяющей определить ее состояние.

3.3 Проектирование блока управления двигателями.

В ходе проведенного анализа существующих схем управления электродвигателями постоянного тока было установлена неприменимость построения Н-мостов устройства на биполярных транзисторах и использование ИМС на их основе. Поэтому было принято решение использовать мостовые драйверы на полевых МОП транзисторах. При оптимальном подборе элементной базы на них практически полностью отсутствует прямое падение напряжения. Управляясь изменением потенциала затвора, они не требуют постоянного отпирающего тока, как следствие потерь энергии в отличие от биполярных. Кроме того, в ключевом режиме средний ток потребления таким транзистором стремится к нулю. Общая структура Н-моста на МОП полевых транзисторах приведена на рисунке (рис. 3.3). Схема обладает следующим принципом работы: в зависимости от выбранной пары диагонально расположенных транзисторов при их открытии, выводы нагрузки будут притягиваться к различным выводам питания. При использовании с двигателями это позволяет инвертировать их направления вращения. Однако при построении схем с применением данной структуры необходимо исключить возможность одновременного открытия транзисторов одного

полумоста: такое положение равносильно короткому замыканию через транзисторы, что приведет к выходу устройства из строя.

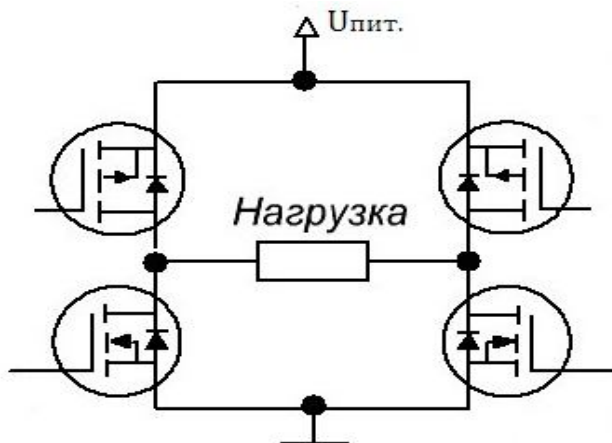


Рис. 3.3 Структура Н-моста на МОП транзисторах.

Так как для открытия N-канального транзистора необходимо подать на его затвор напряжение, на определенную величину большее напряжения истока, применение его в верхнем плече потребовало бы получения напряжения выше напряжения питания моста, равного напряжению источника питания устройства. Поэтому в верхнем плече каждого полумоста данной схемы применяется P-канальный полевой транзистор: обладая обратной проводимостью, он отпирается отрицательным, относительно истока, напряжением, а при напряжении сток-исток равным нулю, он закрывается. Поэтому манипуляции по открытию и закрытию такого транзистора в верхнем плече возможно осуществить, не понижая напряжения питания моста и не повышая напряжения

затвора выше питания схемы, как в случае с использованием N-канального. По аналогичным соображениям в нижнем плече применяются N-канальные транзисторы; т.к. их истоки соединены с землей питания, для их открытия на затвор необходимо подать напряжение большее 4,5-5 вольт, а, притягивая затвор к земле, мы закрываем транзистор. Для уменьшения дополнительного выделения тепловой мощности через корпус транзистора, необходимо исключить возможность протекания тока через встроенные паразитные диоды, ввиду их посредственных электрических характеристик. Для этого в рабочей схеме возможно шунтирование паразитных диодов мощными диодами Шоттки.

Однако использование МОП транзисторов в силовых цепях с использованием ШИМ может нести определенные сложности, связанные с их конструктивными особенностями. Наличие паразитных емкостей затвор-сток, сток-исток и обратного диода в их составе сказывается на нелинейности характеристики напряжения затвор-исток при переключении транзистора (рис. 3.4). На графиках можно наблюдать явление эффекта Миллера: при достижении порогового значения открытия транзистора (конец участка «1») напряжение на заряжающейся емкости затвора перестает изменяться, т.е. ее емкость резко возрастает. При этом все

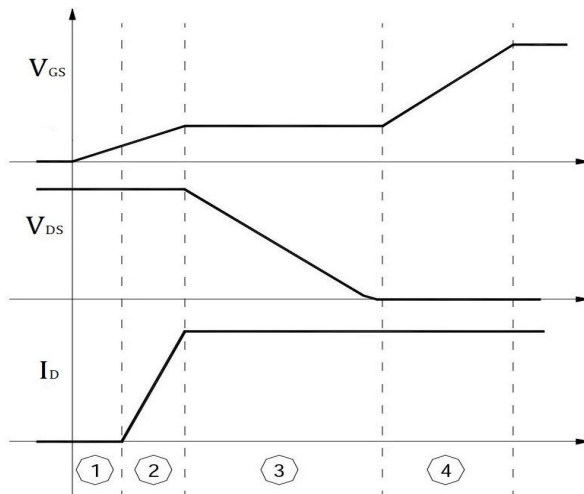


Рис. 3.4 Временные диаграммы коммутационных процессов
в МОП транзисторах [6, стр.6, рис. 4].

это время транзистор открыт, ток стока постоянен и равен току нагрузки (участок «3»), а напряжение сток-исток линейно изменяется. Энергия, выделившаяся при этом, равна

$$E_{\text{вкл}} = \int_0^{t_{\text{вкл}}} u(t) \cdot i(t) dt = \int_0^{t_{\text{вкл}}} u(t) \cdot i dt$$

где $u(t)$ -напряжение сток-исток в некоторый момент времени,

$i(t) = i$ – ток стока в некоторый момент времени, учитывая, что в данном процессе, он, согласно диаграмме, постоянен.

Выделение тепловой энергии ведет к бесполезной трате энергии источника. Теплота выделяется в рабочем теле транзистора, что при

избытке выделяющейся энергии может привести к необратимому повреждению его структуры. Поэтому при проектировании схем с применением МОП-транзисторов необходимо стремиться сократить время переключения (заряда паразитных емкостей) транзистора. Это особенно актуально при использовании ШИМ: если частота управляющих импульсов будет такой, что существенная часть периода импульса будет приходиться на работу в линейном режиме, то транзистор, особенно при больших нагрузках, может выйти из строя от температурного разрушения.

Для ускорения течения процессов переключения необходимо осуществить быстрый заряд входной емкости транзистора. При этом оперировать ее суммарным значением невозможно, ввиду сложной структуры паразитных элементов транзистора. На практике для расчетов и оценки времени переключения используют значение суммарного заряда затвора, который необходимо пропустить через затвор для полного открытия транзистора (достижения состояния насыщения). Значение такого заряда для каждого транзистора определяется производителем и приводится в документации к конкретному прибору. Для заряда, прошедшего через затвор справедливо:

$$Q_g = \int_0^{t_{акл}} i_g(t) dt$$

где $i_g(t)$ – ток затвора в момент времени. Если ток затвора приближенно принять постоянным, то время переключения ему обратно пропорционально:

$$t = \frac{Q_g}{I_g}$$

Поэтому для уменьшения времени необходимо увеличивать ток затвора. Учитывая, что для управления используется микроконтроллер, управляющие токи весьма ограничены максимальными значениями выходных токов портов ввода\вывода микроконтроллера, к тому же напряжение питания моста может быть выше напряжения питания логической части, что не позволит полностью закрыть Р-канальный транзистор верхнего плеча. Поэтому для увеличения зарядного тока было предложено применение двухтактного каскада на биполярных транзисторах, схема и структура работы которого изображены на рисунке 3.5. Коллектор NPN транзистора каскада соединяется с плюсом питания силовой части, коллектор PNP транзистора - с общей землей схемы. Эмиттеры транзисторов - через затворный резистор, ограничивающий начальный бросок тока и защищающий биполярные транзисторы от выхода из строя. Базы транзисторов через резистор, ограничивающий отпирающий ток базы, подключаются к каналу управления.

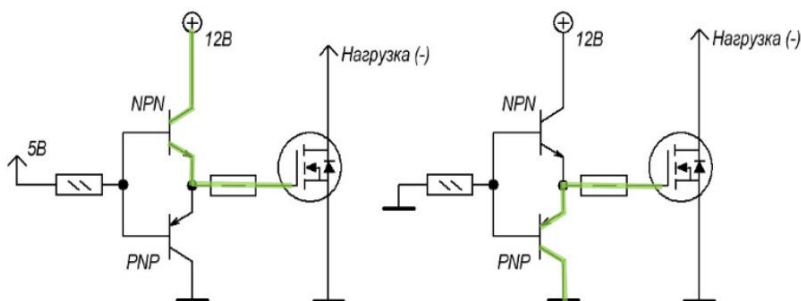


Рис. 3.5 Затворный каскад на биполярных транзисторах.

При подаче напряжения 5В на базы транзисторов, небольшим управляющим током открывается NPN транзистор и заряжает затвор МОП транзистора. При смене напряжения на базах до уровня земли питания открывается PNP транзистор, разряжая через себя затвор МОП транзистора.

Для использования в данном драйвере двигателей в качестве транзисторов верхнего плеча выбраны Р-канальные IRF5305 с максимальным током 31А. В нижнем плече применены N-канальные IRF540 с максимальным током 33А. Затворные каскады составлены из комплементарных пар биполярных транзисторов BC327 и BC337 с максимальным током коллектора 1-1.2А, малогабаритным корпусом ТО-92 и небольшими (≈ 4 руб./шт.) ценовыми характеристиками. Коэффициент передачи тока данных транзисторов >250 , поэтому их ток насыщения составляет порядка 5мА. Исходя из напряжения питания логической части,

подаваемого на базу, равного 5В, сопротивление резистора базы должно составлять $5В/5мА=10\text{ кОм}$, при мощности 0,125 Вт.

Сопротивление затворного резистора выбрано в размере 4,7 Ом, однако некоторое превышение максимального тока биполярных транзисторов не является существенным: указанное максимальное значение относится к постоянному во времени току. В данной схеме ток идет только в момент переключения и его среднее значение в единицу времени мало, поэтому не оказывает серьезного температурного влияния.

3.4 Анализ принципиальной электрической схемы устройства управления.

Рассмотрим принципиальную электрическую схему устройства управления, приведенную на рисунке 3.6.

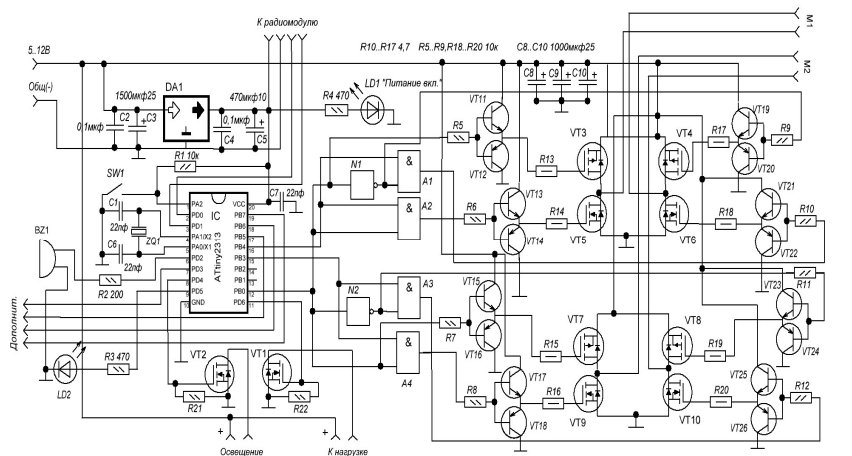


Рис. 3.6 Принципиальная схема устройства управления.

В качестве вычислительного ядра схемы выбран AVR-микроконтроллер ATtiny2313. Приемопередающий модуль HC-04 имеет на борту цифровой интерфейс UART, поэтому для соединения с ним в микроконтроллере задействованы ножки PD1 и PD0, являющимися выводами аппаратного UART Attiny2313. Для управления электродвигателями применен разработанный сдвоенный реверсивный драйвер двигателей, управляемый через логический преобразователь входных сигналов, построенный на ИМС стандартной логики. Для каждого моста драйвера он состоит из двух элементов «И» и одного инвертора, имеет входы выбора и ШИМ и четыре выхода, отвечающих за каждый транзистор полумоста. По функциональности каждый преобразователь из пары соответствует следующей таблице истинности.

Таблица 3.1 .Таблица истинности логического преобразователя.

Вход 1	Вход 2	Ключ 1	Ключ 2	Ключ 3	Ключ 4
1	ШИМ	1	0	ШИМ	0
0	ШИМ	0	1	0	ШИМ

Обозначим номера транзисторов одного из мостов драйвера от 1 до 4 по часовой стрелке. В таком случае для ключей верхнего плеча уровень «0» будет соответствовать режиму открытия, «1» - режиму закрытия, что прямо противоположно ключам нижнего уровня. Тогда схема при постоянном ШИМ-сигнале на входе 2

преобразователя в случае логического нуля на входе выбора будет открывать 1 ключ полумоста, подавая на 4 ШИМ-сигнал.

В случае на входе выбора логической единицы, напротив, откроется 2 ключ, а на диагональный ему 3 будет подан ШИМ. Напряжение, подаваемое на нагрузку в этих двух случаях противоположно. Данная схема реализует управление одним из Н-мостов спаренного драйвера с помощью двух каналов (один из них задает скорость движения, другой - направление) и позволяет сократить число используемых выводов вдвое. В общей принципиальной схеме устройства входы выбора объединены, т.к. по условию оба двигателя всегда вращаются в одном направлении.

Для уменьшения просадок напряжения на пиковых токах драйвер по питанию установлены разрядные электролитические конденсаторы большой емкости С8..С10 (1000мкФ, 25В). Для контроля базовой нагрузки существует один готовый канал, рассчитанный на нагрузку током до 19А, построенный на N-канальном МОП транзисторе VT1. Исток транзистора соединен с землей питания, база - с выводом PD6 микроконтроллера, коммутирующим необходимое отпирающее напряжение относительно истока VT1.

Целевая нагрузка подключается к стоку транзистора и 12В каналу питания. Аналогичную схему подключения имеет N-канальный МОП-транзистор V2 к выводу PD4 микроконтроллера, являющийся ключом бортового освещения. Выводы PB5..PB7, PD3

Attiny2313 составляют порт подключения отдельных модулей управления дополнительными нагрузками.

В качестве преобразователя напряжения до 5В используется линейный стабилизатор DA1, входные и выходные каналы которого шунтированы керамическими конденсаторами C2 и C4 емкостью 0,1 мкФ и электролитическими C3 (1500 мкФ, 25В) и C5 (1000 мкФ, 10В). Микроконтроллер тактируется внешним тактовым генератором на кварцевом резонаторе ZQ1 и конденсаторах C1 и C6 (22 пФ), подключенного к выводам внешнего тактирования XTAL1,2 Attiny2313.

Контакты VCC и GND Attiny2313 соответственно соединены с каналами 5В питания и земли и шунтированы керамическим конденсатором емкостью 22 пФ; ножка сброса подтянута резистором R1 к 5В для защиты от случайного сброса микроконтроллера.

Светодиоды LD1, LD2 подключены анодами к выходу DA1 и PD5 соответственно через ограничительные резисторы R1 R2. Ключ SW1 представляет собой кнопку сброса микроконтроллера.

3.5 Обоснование выбора элементной базы устройства управления.

Таблица 3.2. Список используемых компонентов.

Обозначение в схеме	Номинал	Примечание
------------------------	---------	------------

R1, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R21, R22	10 кОм, 0,125 Вт	
R3, R4	470 Ом, 0,125 Вт	
R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20	4,7 Ом, 0,25 Вт	
C1, C6, C7	22 пФ, керамический	
C2, C4	0,1 мкФ, керамический	
C3	1500 мкф, 25 В, электролитич.	
C5	470 мкф, 10 В, электролитич.	
C8, C9, C10	1000 мкФ, 25 В, электролитич.	
VT1, VT5, VT6, VT9, VT10	IRF540N	Корпус TO-220
VT2	IRLML2502	Корпус SOT-23
VT3, VT4, VT7, VT8	IRF5305	Корпус TO-220
VT11, VT13, VT15, VT17, VT19, VT21, VT23, VT25	BC337-25	Корпус TO-92
VT12, VT14, VT16, VT18, VT20, VT22, VT24, VT26	BC327-25	Корпус TO-92
DA1	LM7805	Линейный стабилизатор напряжения 5В
LD1,LD2	Светодиоды 3 мм	

ZQ1	14,7456 МГц	Модель HC49S
BZ1	Buzzer	Пьезоизлучатель
SW1	Выключатель питания логической части	
N1,N2	74HC04	Восьмиканальный инвертор
A1, A2, A3, A4	74HC08	Четырехканальный логический элемент «И»

При выборе архитектуры микроконтроллера было принято решение остановиться на весьма распространенной на сегодняшний день линейке AVR. Данная архитектура обладает высокой производительностью (большинство команд выполняется за 1 машинный цикл), при этом в ассортименте компании Atmel присутствует серия TinyAVR, отличающаяся ограниченным набором периферии, малогабаритными корпусами и оптимизированным энергопотреблением. В частности, микроконтроллер Attiny2313, потребляет при частоте 14 МГц ток 8 мА, имеет 18 независимых каналов ввода\вывода, к тому же в его составе присутствуют аппаратные модули ШИМ и UART [8], поэтому, не требуется их самостоятельная программная реализация. При этом данный микроконтроллер, обладает низкой, относительно более функциональных Atmega, ценой.

В качестве приемопередающего модуля используется внешний Bluetooth модуль HC-04. Данный модуль является готовым функционально полным узлом схемы, аппаратно поддерживающим протокол UART и обладающим автоматической конфигурацией, и поддержанием соединения.

Светодиодные индикаторы LD1 и LD2 рассчитаны на рабочий ток 10-15 мА. Поскольку они питаются от логического уровня микроконтроллера, то ограничительные резисторы должны иметь сопротивления $R3=R4=5V/10mA=500$ Ом. Из существующих номиналов был выбран ближайший - 470 Ом, мощностью 0,125 Вт.

В качестве линейного стабилизатора напряжения выбран распространенный и бюджетный компонент LM7805; обладая максимальным выходным током 1А, подходит для обеспечения питания всей низковольтной части схемы. Низковольтная шина шунтирована электролитическим конденсатором 470 мкФ для компенсации возможных кратковременных падений напряжения. Номинальное напряжение конденсатора – 10В, соответствует напряжению в шине, взятому с существенным запасом.

Емкость батареи разрядных электролитических конденсаторов C8...C10 главной шины питания, применяемой для борьбы с сильными просадками напряжения в цепи при критических токах драйверов двигателей, согласно специфике применения, должна быть максимально высокой, т.е. на практике ограничена лишь габаритами используемых конденсаторов. Учитывая небольшую длительность течения пикового тока в главной цепи питания (в течение долей секунды при старте вала двигателя с места), емкости батареи 3000 мкФ будет достаточно для его поддержания, при этом диаметр одного конденсатора номиналом 25В, согласно документации [10, таб. 11], составит 13мм. Увеличение данной емкости будет приводить к

существенному возрастанию места, занимаемого батареей на печатной плате устройства, что увеличит его размеры в целом. Номинальное напряжение 25В выбрано с учетом возможного расширения диапазона питающих напряжений в ходе дальнейших доработок устройства.

В качестве транзистора V1, для управления базовой нагрузкой 15А, был использован, применявшийся в проектировании Н-мостов МОП-транзистор IRF540. Как отмечалось ранее, такой транзистор имеет высокие показатели максимального тока 30А (однако предельное значение выходной мощности зависит от охлаждения корпуса транзистора, что учтено при технологическом проектировании печатной платы устройства), что достаточно в условиях данной задачи. К тому же уменьшение общего количества различных компонентов схемы упрощает сборку и возможный ремонт устройства.

В качестве транзистора V2, управляющего бортовым освещением был выбран бюджетный N-канальный МОП-транзистор в миниатюрном корпусе SOT-23 IRLML2502. Обладая максимальным выходным током в 4А [9, таб. 1], он позволяет использовать мощность бортового освещения до 45 Вт, что является достаточным, особенно при использовании светодиодных источников света.

Для тактирования микроконтроллера в составе тактового генератора применяется кварцевый резонатор с частотой 14,7456

МГц; частота обусловлена особенностями использованной в проекте асинхронной приемопередачи UART и ее настройки.

Все микросхемы устройства имеют КМОП-структуру, поэтому для предотвращения помех во время переключения, данные микросхемы шунтированы по питанию керамическими конденсаторами небольшой (22 пФ) емкости.

3.6 Анализ встроенного программного обеспечения вычислительной системы устройства управления.

Согласно поставленной задаче, передача данных от модуля НС-04 к микроконтроллеру производится по универсальному последовательному протоколу UART, и на основе принятых данных, используя порты ввода/вывода, осуществляется необходимый контроль над целевой нагрузкой. В микроконтроллерах линейки AVR за состояние этих портов отвечают специальные восьмибитные регистры ввода/вывода. Поэтому управление подключенной нагрузкой сводится к формированию и записи необходимых данных в определенный регистр ввода/вывода.

При реализации последовательной приемопередачи, прием и отправка байта данных совершается автоматически отдельным периферийным устройством микроконтроллера, модулем UART. По завершению приема в системе микроконтроллера устанавливается бит регистра, что служит флагом окончания приема. При этом у выбранного микроконтроллера Attiny2313, имеется возможность формирования прерывания по данному флагу, что позволяет

автоматизировать определение прихода данных, не прибегая к опрашиванию этого бита в бесконечном рабочем цикле.

Ввиду того, что ЦПУ микроконтроллера осуществляет только задачи приема и обработки и не выполняет каких-либо иных операций, всю структуру обработки возможно расположить в обработчике прерывания: это существенно структурирует код программы, облегчает его написание и отладку.

Рассмотрим блок-схему алгоритма встроенного ПО микроконтроллера (рис. 3.7). На блок схеме слева изображена основная программа, состоящая из блока начальных настроек (инициализации), вывода индикации работы микроконтроллера и зацикленного аппаратного опроса флага прерывания по приему.

Разделение управляющего байта на отдельные данные и установка регистров портов ввода\вывода для управления целевой периферией происходит в обработчике прерывания, алгоритм которого изображен в правой части рисунка.

Подпрограмма начинается с чтения регистра UDR в переменную *u*, в которую попадает управляющий байт. Так как в состав управляющего байта входит флаг назначения, от которого зависит команды на управление какой подсистемой находятся в байте, то происходит проверка бита, в котором этот флаг записан.

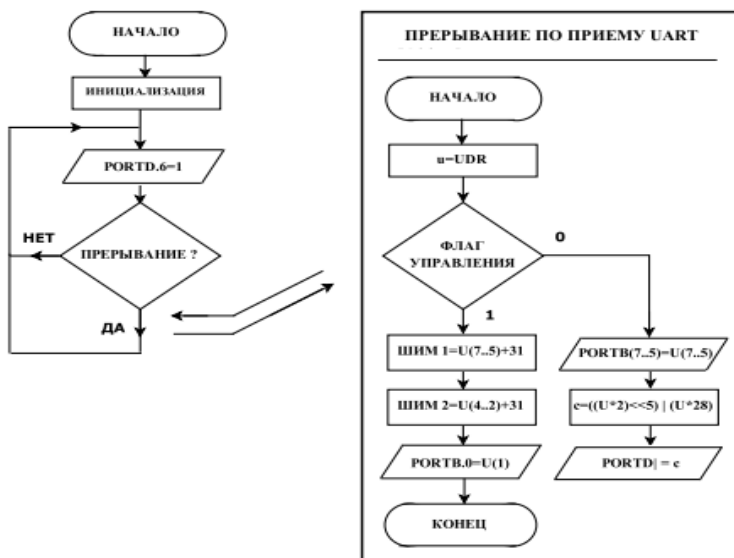


Рис. 3.7. Блок схема алгоритма встроенного ПО микроконтроллера.

В случае равенства флага 1 происходит разбиение старших шести битов на тройки, соответствующие скоростям вращения моторов в условных единицах. Такая тройка показывает, какую часть от восьми должна иметь скорость вращения отдельного мотора. Поэтому необходимо значение максимальной скорости разделить на 8 частей, получив при этом 8 конкретных значений регистра скважности.

Так как для реализации ШИМ в Attiny2313 использован 16-битный таймер, максимальной скважности соответствует десятичное значение 65535. При этом чтобы иметь возможность

полной остановки моторов необходимо, чтобы одна из команд соответствовала скважности равной нулю.

В таком случае выгоднее производить деление значения 65535 не на 7 оставшихся частей, а на 8, отбрасывая меньшее значение. При этом получается следующая таблица скважностей (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Модель преобразования управляющих троек в значение регистра.

Тройка	Значение ШИМ регистра	Десятичное число
000	00000000 00000000	0
001	00111111 11111111	16383
010	01011111 11111111	24575
011	01111111 11111111	32767
100	10011111 11111111	40959
101	10111111 11111111	49151
110	11011111 11111111	57343
111	11111111 11111111	65535

Как видно из таблицы значение скважности 8191 пропущено. Такой принцип преобразования управляющих троек в значения скважностей крайне выгоден. Он позволяет задать максимальное и

нулевое значение, при этом отброс значения 8191 не сказывается на градации; сильная инертность моторов на низких скважностях ШИМ сглаживает различия между соседними значениями. К тому же подобные преобразования можно осуществить на битовых операциях, без использования вычислительно емких функций умножения. Данный подход позволяет перенести весь объем вычислений по формированию троек на Android устройство, обладающее гораздо большими ресурсами и производительностью.

В случае равенства флага 0 реализуется управление дополнительными рабочими нагрузками путем выделения из управляющего байта отдельных бит, соответствующих данным нагрузкам, и конфигурации необходимых выводов портов ввода/вывода, через которые эти нагрузки коммутируются.

Реализацию данного алгоритма было решено производить на языке Си, в официальной среде AVR-разработки AtmelStudio 6. Проведем подробный анализ кода программы на языке С в среде разработки AtmelStudio 6. Листинг данной программы изображен на рисунке 3.8. В двух первых строках кода программы подключаются стандартные библиотеки ввода-вывода и таблицы векторов прерываний. Основная функция `main()` состоит из инициализации портов ввода-вывода, настройки UART и ШИМ и глобального разрешения прерываний командой `sei()`.

16-битный регистр UBBR, составленный из двух восьмибитных регистров UBBRH и UBBRL задает скорость передачи данных; его значение рассчитывается по формуле

$UBBR = XTAL / (16 * baudrate) - 1$, где baudrate-необходимая скорость передачи, XTAL – частота тактирующего генератора.

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
ISR(USART_RX_vect){
    unsigned char u,a,b,buf;
    u=UDR;
    if(u&0x01){ // флаг = 1 => управление моторами
        a=u&0b11100000;
        b=((u&0b00011100)<<3);
        PORTB|=(u&0b00000010); // выбор направления
        if (a==0){OCR1AH=0;OCR1AL=0;}
        else{OCR1AH=a+0b11111;OCR1AL=0xFF;}
        if (b==0){OCR1BH=0;OCR1BL=0;}
        else{OCR1BH=b+0b11111;OCR1BL=0xFF;}
    }
    else{ // флаг = 0 => управление встроенными нагрузками
        PORTB|=(u&0b11100000); // PB5..PB7
        PORTD|=(u&0b00011100); // PD4, PD3, PD2
        PORTD|=((u&000000010)<<5); // PD6
    }
}

int main(void)
{
    DDRD=0xFF;
    DDRB|= (1 << PB3)|(1<<PB4)|(1<<PB1)|(1<<PB0);
    TCCR1A = (1<<COM1A1)|(1<<COM1B1)|(1<<WGM10);
    TCCR1B = (1<<WGM12)|(1<<CS00)|(1<<CS01);
    OCR1BH=0;OCR1BL=0;
    OCR1AH=0;OCR1AL=0;
    UBBRH=0;
    UBBRL=0x5F;
    UCSRB=0b00011000;
    UCSRC=0b10000110;
    sei();

    while(1){}
```

Рис. 3.8. Листинг программы микроконтроллера.

Поскольку выбранный кварцевый резонатор имеет частоту 14,7456 МГц, при выборе скорости передачи 9600 бод, значение данного выражения получается целым:

$$UBBR = 14745600 / (16 * 9600) - 1 = 95 = 5F_{16}$$

Или, в представлении двух регистров: $UBBRH=0$; $UBBRL=0x5F$. Если бы значение выражения не получилось целым, между реальным и, округленным для записи в регистр, значением $UBBR$ существовала бы разница, создающая погрешность передачи.

Команда `sei()` глобально разрешает прерывания и равносильна установке седьмого бита регистра `SREG`.

После блока начальной настройки и инициализации следует бесконечный рабочий цикл, а вся работа реализуется в обработчике прерываний `ISR(USART_RX_vect)`. Данная подпрограмма начинается с объявления необходимых локальных переменных и чтения пришедшего управляющего байта из регистра приемопередачи `UDR`, при котором происходит сброс флага завершения приема. Далее работа программы зависит от флага назначения, записанного в младшем разряде байта управления, проверяемого с помощью конструкции `u&0x01` в условном операторе. В ней производится побитовое умножение байта управления на константу 00000001_2 , в результате которого нулевой бит остается неизменным, все остальные биты обнуляются.

Если полученное значение не равно 0, то производятся следующие операции: в старшие биты восьмибитных переменных а

и b заносятся тройки битов, соответствующих скоростям вращения двигателей в условных единицах. Для занесения первой тройки, соответствующей переменной a , достаточно в байте управления обнулить все биты, кроме трех старших, побитным умножением на 11100000_2 и занести значение в переменную a . Для второй тройки, соответствующей переменной b , сначала необходимо установить вторую тройку на место первой логическим сдвигом регистра влево на 3, затем повторить операции для первой тройки.

В случае равенства бита 0 производится разбиение управляющего байта, путем побитного умножения с необходимыми константами, таким образом, чтобы полученные значения побитным сложением записать в регистры портов В и D, управляя при этом состоянием отдельных пинов порта, которыми управляется вторичная (дополнительная) нагрузка и освещение.

Готовая программа, приведенная в листинге, проходила компиляцию в AtmelStudio 6, результатом которой был получен hex-файл прошивки микроконтроллера. Для количественной оценки времени работы подпрограммы прерывания проведем анализ процедуры дизассемблирования, проведенной с помощью утилиты DiAVR. Для этого в полученном ассемблер-коде необходимо найти точки входа и выхода из прерывания и подсчитать число команд, использовавшихся в подпрограмме. Опираясь на документацию к системе команд микроконтроллера Attiny2313 [8, стр. 211-214], находим число машинных циклов, затрачиваемых при выполнении каждой из таких команд. Для дизассемблера приведенной

программы количество затрачиваемых машинных циклов составило 22 в случае управления системой двигателей и 14 в случае управления дополнительными нагрузками. Время, затрачиваемое на один машинный цикл равно $1/14745600 = 7$ мкс, на 22 машинных цикла будет затрачено $22/14745600 = 154$ мкс.

Определим время, затрачиваемое на передачу 1 байта данных при использовании скорости UART в 9600 бод. Оно равно $1/(9600/12) = 830$ мкс, что существенно выше времени обработки одного пакета данных, состоящего из 1 байта, поэтому подпрограмма будет успевать обработку настоящего пакета до приема следующего.

3.7 Проектирование печатной платы устройства управления.

Разработка двусторонней печатной платы устройства управления была осуществлена САПР Sprint Layout 6.0. Технологический чертеж ПП изображен на рисунке 3.9. Печатная плата имеет размеры 12см x 8см и состоит из двух слоев. На левом рисунке изображен нижний слой ПП, на правом – верхний слой. Красным цветом на обоих рисунках показана шелкографическая маркировка используемых компонентов. Коммуникация силовой части схемы реализована на нижнем слое ПП (на рисунке слева). Высокоточные дорожки имеют максимально возможную в данном случае ширину, дорожки логической части ширину 0,6 мм, подвода питания к системе управляющих каскадов – 1,6 мм, остальные имеют ширину 1 мм.

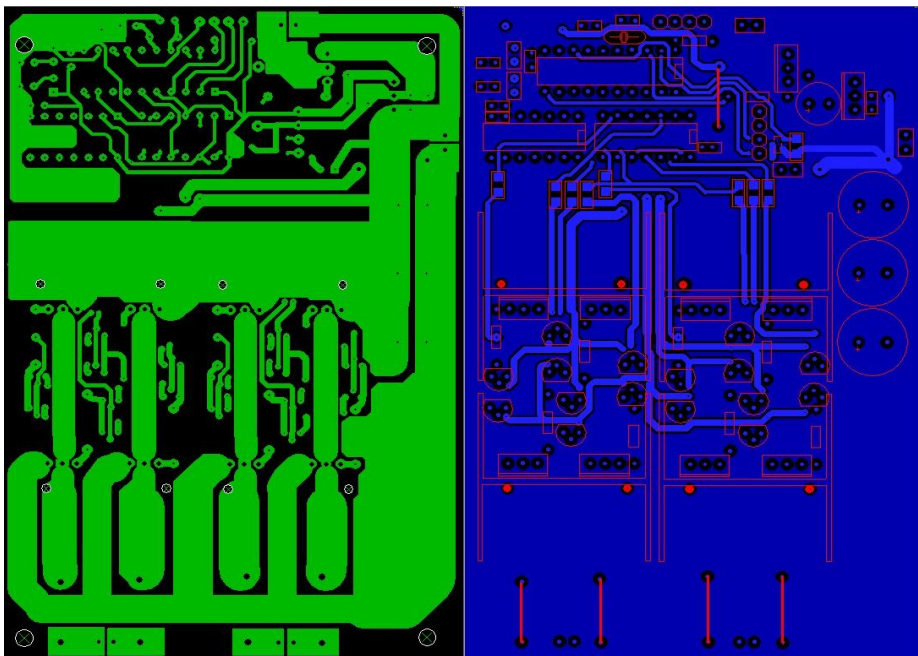


Рис. 3.9 Печатная плата устройства управления (верхний и нижний слой).

Для уменьшения площади удаления медного слоя свободное пространство на плате объединено в полигоны общего питания и земли. Для обеспечения отвода тепла от силовых транзисторов последние устанавливаются на радиаторы BLA026 высотой 25 мм и общей площадью 70 см². Каждый из них предусматривает монтаж двух полевых транзисторов в корпусе ТО-220; радиаторы устанавливаются таким образом, чтобы транзисторы каждого из четырех полумостов находились прямо друг напротив друга: это во многом облегчает дальнейшую схемотехнику силовых цепей, избавляет от большого количества (в т.ч. сильноточных) перемычек

на плате. Так как корпус ТО-220 является проводником и в силовых транзисторах соединен с их стоками, для исключения возникновения электрического контакта между транзисторами на одном радиаторе, для их монтажа применены теплопроводящие электроизолирующие подложки.

Второй слой ПП предназначен для расположения сигнальных цепей и силовых дорожек питания биполярных каскадов; некоторые каналы на верхнем слое служат мостовыми перемычками между пересекающимися дорожками нижнего слоя. Также на верхнем слое производится монтаж SMD компонентов платы. Свободное пространство верхнего слоя является единым полигоном земли, для уменьшения влияния помех от сильноточных цепей на сигнальные.

Для увеличения помехоустойчивости исключено последовательное включение сильноточных элементов в одну линию питания: соединение дорожек таких элементов осуществляется в одной точке, вблизи точки входа источника. Также, все сигнальные и силовые дорожки на разных слоях пересекаются под прямым углом для уменьшения взаимного влияния и возникновения помех в первых.

Для подключения двигателей, базовой нагрузки, источника питания использованы клеммники с шагом 5 мм. Для подключения осветительной нагрузки используется компактный разъем-вилка WB-02, порт управления дополнительными нагрузками выполнен на четырехконтактном однорядном штырьковом разъеме с шагом

2,54 мм. Под Bluetooth модуль выделено однорядное пятиконтактное гнездо с шагом 2,54 мм (один контакт не используется).

В левом нижнем углу печатной платы расположена индикация устройства – два установленных в ряд красных светодиода, сигнализирующих о наличии напряжения на входе устройства и о работе микроконтроллера.

На печатной плате по углам предусмотрены четыре технологических отверстия для ее монтажа на необходимую платформу. Порты и выводы располагаются по краям платы с двух ее сторон.

По окончании проектирования для дальнейшего тестирования и анализа был изготовлен опытный образец данной печатной платы методом ЛУТ.

3.8 Разработка ПО Android устройства.

Программное обеспечение Android устройства состоит из трех функциональных частей: графического интерфейса управления, подсистемы обработки информации и подсистемы обмена данными с устройством. Согласно поставленным задачам ПО Android устройства должно обладать понятным удобным интерфейсом, позволяющим контролировать изменение скорости движения и угла поворота платформы. В ходе анализа прототипов было установлено, что в качестве похожего решения может быть выбран стандартный контроллер от популярных игровых приставок. Встроенные в такие контроллеры джойстики

функционально позволяют контролировать скорость и поворот платформы, к тому же, как показывает практика, устройство и принцип работы таких джойстиков не вызывает трудностей в понимании у пользователей. Внешний вид интерфейса управления ПО Android устройства приведен на рисунке 3.10. В качестве элемента управления скоростью и направлением движения был применен двунаправленный ползунковый движок, работающий по принципу рычажкового на модельных пультах ДУ.

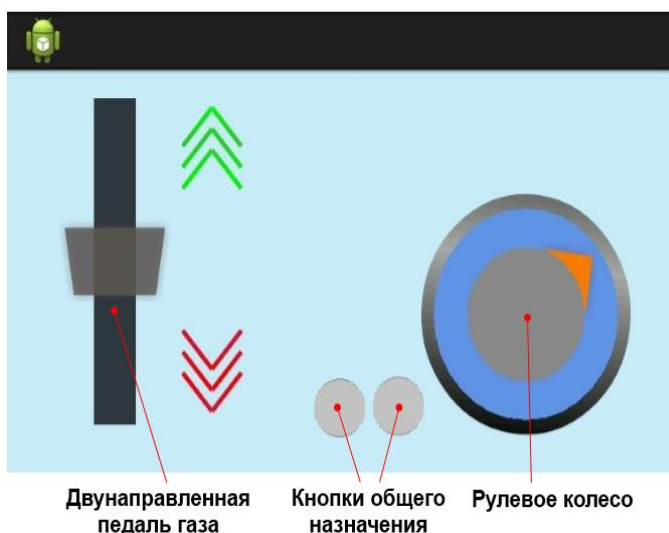


Рис. 3.10 Интерфейс управления ПО Android устройства.

Отклонение по разные стороны и величина данного отклонения педали-ползунка определяют значение скорости перемещения платформы. В случае устройства управления колесными платформами более удобным относительно джойстика

является круговой рулевой элемент. Вращаясь относительно своего центра, стрелкой он указывает выбранное направление движения платформы. Управление базовой нагрузкой и освещением производится с помощью кнопок общего назначения, помещенных для удобства в неиспользуемую часть экрана. Чтобы не загружать интерфейс управления, контроль предусмотренных четырех дополнительных каналов помещен во всплывающей вкладке меню. Кнопки и педаль ползунка реагируют на нажатие изменением цвета, что является распространенным решением в системах с кнопочным управлением и делает интерфейс удобнее и логичнее.

Рассмотрим принцип взаимодействия с предложенным ЧМИ и алгоритм обработки полученной информации. Положением педали-движка определяется абсолютное значение скорости движения платформы (одно из восьми в каждую из обеих сторон). За поворот платформы отвечает расположение поворотной стрелки, делящей одну из верхних четвертей окружности на две дуги. Поворот платформы реверсный, т.е. осуществляется за счет разницы скоростей осей правой и левой ее сторон. При этом ось одной стороны имеет максимально возможную в данный момент (заданную движком) скорость, а другой - зависит от крутизны поворота, заданной положением стрелки. Значения скоростей двигателей при некоторых углах и абсолютных скоростях по положениям движка приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 Значения скоростей двигателей при некоторых конфигурациях управляющих элементов интерфейса.

Движок	Угол, град.	Двигатель 1	Двигатель 2
6	90	6	6
4	45	4	2

Для разработки Android приложений применяется объектно-ориентированный язык программирования Java. Реализация приложения производилась в официальной среде разработки Google Android Studio. Структурно программа разбита на три класса:

Класс MainActivity является классом главной активности, т.е. отвечает за содержимое на экране устройства. Этот класс по умолчанию содержит методы входа и выхода из приложения. Изначально на экран методом setContentView() устанавливается xml-разметка стартовой страницы, на которой расположена кнопка «Connect», по нажатию которой производится серия попыток соединения с устройством. При успешном соединении на экран помещается интерфейс управления – начинается сеанс управления.

Класс Painter отвечает за графическую оболочку интерфейса управления. В методе onTouchEvent() обрабатываются нажатия на экран с поддержкой множественных касаний (multitouch) для реализации обособленной работы педали-движка и рулевого колеса. Изображение зависит лишь от значения координат у центра педали и $x_{сrug}$, $y_{сrug}$ – пересечения прямой, соединяющей точку касания, отвечающую за рулевое колесо с его центром и границы

круга, хранящихся в одноименных переменных и изменяемых в обработчике касаний. Painter содержит три основных метода в своем составе: `onDraw()` – содержащий прорисовку графической оболочки с помощью элемента `Canvas`, не содержащий условных операторов, являющийся фактически набором команд; `motors()` – метод, по состоянию элементов графического интерфейса формирующий две восьмибитные переменные `left_motor` и `right_motor` – скорости двигателей в условных единицах; обработчик касаний `onTouchEvent()`, в котором при помощи `multitouch` формируются вышеуказанные переменные прорисовки.

Класс `BluetoothTranciever` отвечает за передачу информации на устройство, содержит необходимую структуру инициализации соединения и метод `BTwrite()`, отправляющий данные в канал соединения. Поскольку прием и передача информации являются ресурсоемкими процессами для стабильной работы структур взаимодействия с графическим интерфейсом, в классе реализован отдельный поток (`mThread`) для передачи данных. Также `BluetoothTranciever` содержит метод `convert_to_one()`, преобразующий переменные `left_motor` и `right_motor` в одну () путем битовых операций сдвига, формирующий управляющий байт.

Определение настоящей конфигурации элементов ЧМИ и трансляция управляющих данных на устройство происходит каждый раз при обработке касания экрана, т.е. непрерывно, пока пальцы оператора касаются поверхности экрана.

Выводы по главе 3.

Широко используемые в настоящее время интегральные микросхемы-драйверы двигателей имеют низкие характеристики: низкие выходные ток и мощность, большое падение напряжения. Данные недостатки исключают возможность применения готовых решений драйверов двигателей и обуславливают необходимость проектирования собственного отдельного функционального узла. В данном случае была применена спаренная Н-мостовая схема на полевых МОП транзисторах. Был проведен анализ технологических особенностей и принципов работы транзисторов данной структуры, на основе которого выявлены основные проблемы их применения на практике и предложены принципиальные решения для их компенсации. В результате была разработана принципиальная схема драйвера, впоследствии примененная в составе устройства. Такой драйвер может поддерживать приведенные в техническом задании значения токов (до 25А) при минимальном падении напряжения (<1 В), что в среднем показывает преимущество в 10-15% по выходному напряжению относительно биполярных решений. Для построения управляющего логического блока устройства был проведен анализ существующего рынка микроконтроллеров с учетом стоимости, количества встроенной в МК периферии и размеров корпуса, в результате которого был выбран AVR микроконтроллер Attiny2313. Это, при использовании в качестве периферийного приемопередающего Bluetooth модуля HC-04, позволило организовать автоматический аппаратный обмен данными посредством UART, настраиваемый только начальной

инициализацией. Также было установлено, что передача по асинхронному последовательному протоколу UART не будет обладать некоторой погрешностью, только в случае кратности тактирующей частоты шестнадцати скоростям передачи данных в бодах. Исходя из этого принципа, выбиралась частота внешнего тактового генератора. По разработанной принципиальной схеме был осуществлен подбор необходимой элементной базы и выполнен технологический чертеж печатной платы. При ее разработке были учтены особенности схемотехники размещения силовых и логических цепей, в частности разведения цифровой и аналоговой земли и связи их в одной точке. Полученная двусторонняя печатная плата имеет размеры 120мм*80мм. По разработанному чертежу для дальнейшего тестирования и анализа возможных последующих доработок был изготовлен ее полноценный опытный образец. При создании ПО Android устройства был разработан внешний вид используемого ЧМИ и приведен алгоритм взаимодействия с ним. Результатом работы над ПО стало реализованное и отлаженное приложение, поддерживающее абсолютное большинство всех существующих на сегодняшний день Android устройств. Полученные для анализа совместной работы устройство и ПО управления были объединены в систему, являющуюся опытным образцом разрабатываемой системы.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМОЙ

4.1 Структура и состав экспериментального стенда для исследований системы управления колесными платформами.

Для качественной оценки результата работы достаточно провести два контрольных исследования: общее тестирование системы в рабочем режиме и оценку максимальной эффективной дальности управления. Для проведения первого исследования и осуществления в ходе него необходимых замеров использовался экспериментальный стенд, в который входят:

- опытный образец устройства управления;
- цифровой мультиметр с поддержкой измерения температуры;
- пара мотор-редукторов 12В, 165Вт каждый;
- свинцовый аккумулятор 12В, 65 А*ч;
- лампа накаливания 12В, 25Вт;
- модельные 5В мотор-редукторы Tamiya;
- лабораторный блок питания;
- два смартфона (с ОС Android 2.3.3 и Android 4.1 соответственно) с установленным разработанным ПО.

Для оценки максимальной эффективной дальности использовалась упрощенная отладочная система, состоящая из отладочного модуля (рис. 4.1) – элемента, изначально разработанного для анализа устройства микроконтроллеров AVR и проектирования систем с их применением и программы Bluetooth терминала, поддерживающего прием и передачу данных.

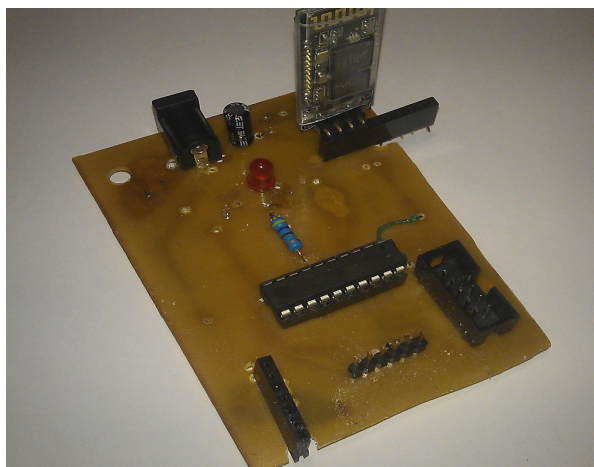


Рис.4.1 Отладочный модуль на Attiny2313.

Использование упрощенного модуля позволило оценить функциональность разрабатываемой системы еще на этапе проектирования до реализации опытного образца, что, при определенных результатах может помочь вовремя изменить или доработать тот или иной элемент системы или обнаружить особенность, не выявленную при теоретических расчетах.

4.2 Анализ результатов тестирования системы в рабочем режиме.

Рассмотрим ряд выходных тестирований устройства управления разработанной системы. Перед проведением тестовых испытаний было принято решение осуществить пропайку наиболее тонких, соединяющих стоки полевых транзисторов, силовых дорожек печатной платы устройства одножильным медным проводом сечением $1,5 \text{ мм}^2$, для уменьшения их нагрева при

прохождении большого тока силовой нагрузки, с целью защиты их от разрушения и уменьшения общих тепловых потерь.

Для проведения тестового испытания опытный образец устройства управления подключался к выбранному источнику питания (свинцовый автомобильный аккумулятор), также к опытному образцу была подключена основная нагрузка: двигатели постоянного тока номинальной мощностью 130Вт и лампа накаливания 12В 25Вт.

Основная методика и принцип тестирования заключались в анализе функционирования системы при работе в штатном режиме для оценки изменений термического состояния с помощью термопары цифрового мультиметра.

Одной из целей тестирования являлось опытное подтверждение заявленных характеристик, обнаружение наличия возможных недостатков, не выявленных в процессе проектирования и начального анализа системы.

В начале тестирования производилось соединение между Android смартфоном и устройством управления. При этом измерялось время, затраченное на подключение и конфигурацию: светодиодный индикатор модуля НС-04 при установлении соединения перестает мигать. Время от нажатия кнопки подключения на экране до установления соединения между устройствами согласно осуществленному замеру составило 2,9сек.

После установления соединения производились манипуляции с движком газа. Один из двух двигателей для осуществления

необходимых замеров был последовательно подключен через амперметр с пределом измерения тока 50А. При запуске выяснилось, что пусковой ток данных мотор-редукторов составляет 23А, ток холостого хода составляет 6А. Далее рассматривались стабильность и качество работы системы в штатном режиме: изменялись задающие параметры движения. Отклонением рулевой стрелки производилось изменение заданной относительной скорости, в то время как реальное ее значение оценивалось визуально, для чего на осях мотор-редукторов яркой краской были сделаны штриховые пометки.

Аналогичное исследование было проведено с использованием модельных 5В двигателей Tamiya и лабораторного блока питания. В результате этих испытаний была подтверждена плавность и синхронность управления: градации возможных значений скорости вращения мотор-редукторов, как и предполагалось, сглаживаются инертностью последних, в результате чего не происходит резких отличимых рывков при вращении.

Также производилось отдельное тестирование на предмет нагревания компонентов устройства при работе в граничных и переходных режимах. Для этого проводилось длительное тестирование работы нагруженной системы с последующим измерением температуры силовых компонентов устройства управления.

Был осуществлен опытный тест, во время которого двигатели длительное время управлялись ШИМ сигналом минимально возможной скважности (т.к. из-за низких оборотов и, соответственно, противоЭДС двигателей, создаются сильные броски тока при подаче питания на двигатель, что может привести к увеличенному тепловыделению силовых элементов).

Измерения проводились при комнатной (24°C) температуре и по итогам 30 минут работы показали: температура силовых ключей составила 36°C (на 12 °C выше начальной), температура силовых дорожек входящего питания составила 28 °C (на 4 °C выше начальной).

4.3 Оценка максимальной дальности стабильной работы системы управления колесными платформами.

Опытная оценка дальности стабильной работы была произведена с помощью изготовленного устройства отладки. Рассмотрим примененную в данном исследовании методику тестирования. Устанавливалось соединение между отладочным модулем и Android устройством в разработанной программе – терминале. Далее при нажатии на кнопку на окне терминальной программы на устройство отправлялся произвольный (при необходимости вводимый вручную) пакет данных длиной один байт.

По принятии данного пакета отладочный модуль прибавлял к принятому числу единицу и отвечал полученным результатом

программе-терминалу (приемопередача во всех случаях была настроена на скорость 9600 бод).

Изменяя расстояние от устройства до оператора в различных условиях, добивались такого расстояния, при котором приемопередача прекращала быть стабильной: ответ от модуля переставал приходить мгновенно или не приходил совсем. Данное расстояние фиксировалось и заносилось в одну из таблиц, соответствующую условиям измерения.

Для каждого из двух возможных условий (открытая местность (таблица 4.1) или закрытое помещение (таблица 4.2)) производилось пять отдельных замеров, по результатам которых вычислялось среднее значение для данных условий.

Таблица 4.1. Радиус эффективной дальности управления на открытой местности

№	1	2	3	4	5	6
г, м	23,5	27	21,5	24	25,5	26,5

Таблица 4.2. Радиус эффективной дальности управления в закрытом помещении

№	1	2	3	4	5	6
г, м	6,5	8	9,5	7,5	7	8

Исходя из данных, приведенных в таблицах, получаем, что средняя дальность эффективного управления для открытой местности составляет 24,3м, для работы в помещении - 7,5м. По данным, приведенным в таблицах, построена диаграмма радиусов эффективной дальности. Диаграмма измерений на открытой местности приведена на рисунке 4.2.

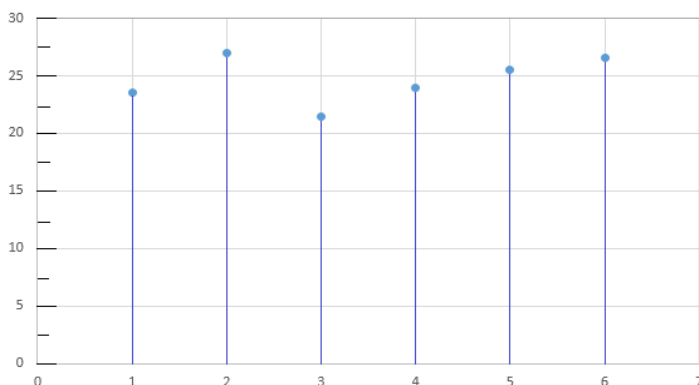


Рис. 4.2. Эффективная дальность управления на открытом пространстве.

Диаграмма измерений в помещении приведена на рисунке 4.3.

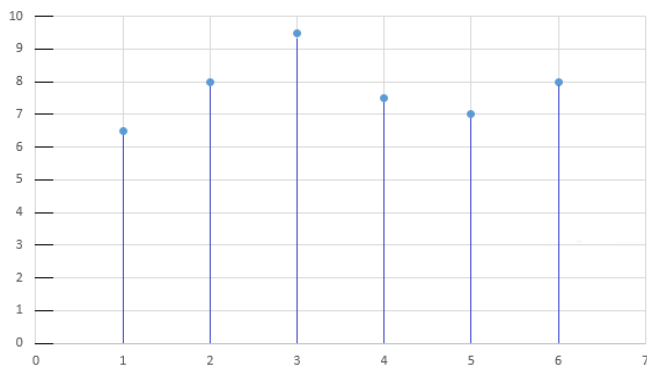


Рис. 4.3. Эффективная дальность управления в закрытом помещении.

Учитывая, что согласно тематике разработки управление производится в непосредственной близости от платформы, полученные результаты являются приемлемыми и достаточными в условиях данной задачи.

Рассмотрим возможные причины резкого уменьшения дальности стабильной работы схемы в условиях закрытого

помещения. Частота, используемая в Bluetooth передаче, составляет 2,4ГГц. Нужно заметить, что в быту с использованием такой частоты работает множество электронных приборов, способных создавать помехи передачи (микроволновые печи, Wi-Fi роутеры, другие средства Bluetooth и др.). Однако, согласно спецификации [17], технология Bluetooth поддерживает 79 рабочих частот и использует алгоритм FHSS, основная идея которого – постоянное (1600 раз в секунду) изменение частоты передачи, что предполагает возможность одновременной работы нескольких пар устройств и минимальное воздействие внешних помех на передачу. Поэтому основной причиной резкого уменьшения эффективного радиуса управления является не помехи и засоренность эфира, а внешние преграды помещения, несколько слоев которых не может преодолеть сигнал маломощного передатчика мобильного устройства или внешнего Bluetooth модуля.

4.4 Направление возможных дальнейших усовершенствований системы.

В дальнейшем система может быть дополнена и усовершенствована. Поскольку она состоит из нескольких элементов, необходимо рассмотреть возможное изменение каждого элемента в отдельности. Согласно результатам проведенных исследований, управляющая часть системы полностью соответствует необходимым условиям, поэтому основной ряд преобразований может затронуть внедряемое в платформу устройство управления. Одним из наиболее очевидных дополнений

является поднятие верхней границы диапазона возможных питающих напряжений до 24В, обусловленное распространенностью 24В электродвигателей необходимой мощности (до 500Вт). В настоящей схеме напряжение ограничено ввиду используемой структуры Н-мостов на МОП транзисторах: напряжение на их затворах относительно истока изменяется от 0В до напряжения питания, откуда следует необходимость предусматривать, чтобы это напряжения не превысило максимально возможного для транзистора, и не возник его пробой. Для абсолютного большинства современных мощных MOSFET компонентов это значение составляет 13-15В, откуда и следует ограничение входного напряжения. Эта проблема может быть решена применением специальных микросхем-драйверов полевых транзисторов с изолированным затвором. В исходном проекте такие решения не были применены из-за их относительной дороговизны (микросхема IR2110, управляющая одним полумостом, имеет стоимость около 60 руб., в то время как два примененных биполярных каскада имеют стоимость 15 руб.), однако в качестве заметного улучшения характеристик устройства возможно внедрение данного решения.

Поскольку функционал и качество устройства управления определяется как его входными, так и выходными характеристиками, может быть важным другое усовершенствование — увеличение максимального выходного тока драйвера, и, как следствие, максимальной мощности двигателей. Данная

характеристика устройства определяется моделью используемых МОП транзисторов и может быть изменена путем замены данных компонентов на обладающие более высокими характеристиками. К тому же, при использовании драйверов полевых транзисторов отпадает необходимость применения Р-канальных МОП транзисторов в верхнем плече: такие драйвера самостоятельно формируют необходимые отпирающие сигналы, напряжением выше напряжения питания, поэтому такое решение позволяет составить каждое плечо каждого Н-моста из одинаковых N-канальных МОП транзисторов. Польза данного факта заключается в сравнительном преимуществе по характеристикам N-канальных МОП ключей относительно Р-канальных. Применение радиаторов, отводящих тепло от корпусов транзисторов, позволяет применить такую доработку и увеличить выходные токовые характеристики.

В целях уплотнения монтажа компонентов на печатной плате устройства возможна замена используемых DIP корпусов микросхем корпусами поверхностного монтажа (SMD). Также, учитывая, что в схеме используется один инвертор, применение микросхемы 74НС04, имеющей в своем составе 8 инверторов, нерационально по габаритным характеристикам. Поэтому возможно построение отдельного инвертора на полевом транзисторе в компактном корпусе.

Выводы по главе 4

Согласно результатам, полученным в ходе экспериментальных исследований устройства, было установлено,

что разработанное устройство соответствует требованиям технического задания: спроектированная система использует Android устройство в качестве пульта ДУ с помощью специального ПО с удобным и понятным интерфейсом, позволяющим контролировать направление и скорость движения, угол поворота целевой платформы. Экспериментально установленная эффективная дальность управления составляет 7,7м в закрытом пространстве и 24,3м на открытой местности. Система поддерживает возможность установки на обширный круг колесных и гусеничных платформ: а именно, позволяет использовать питающие напряжения в диапазоне 5В..12В и два канала двигателей общей мощностью до 300Вт на один канал. Также в соответствии с поставленной задачей система имеет возможность контролировать один канал базовой нагрузки и бортовое освещение платформы. Экспериментальное 30-минутное тестирование системы на работу в штатном режиме при нагрузке 120Вт на канал показало положительные результаты: нагрев силовых МОП транзисторов относительно окружающей среды при использовании ШИМ малой скважности составил 10-12°С. Наиболее тонкие дорожки на печатной плате были пропаяны одножильным медным проводом, что является распространенной практикой при разработке сильноточных печатных плат. В итоге средний нагрев силовых дорожек составил 4°С относительно окружающей среды, что является вполне допустимым значением. В ходе тестирования использовались два различных Android смартфона, использующих

разные версии ОС, при этом не было выявлено каких-либо сбоев работы системы. Данные результаты показывают эффективность применения предложенного принципа управления однобайтовой командой.

Тем не менее, система должна и может быть усовершенствована и имеет пути дальнейшего развития. Одним из наиболее важных таких путей является расширение диапазона питающих напряжений в большую сторону в связи с активным применением на практике 24В двигателей постоянного тока. Также возможно применение способов по увеличению максимальных значений выходных тока и мощности. Был приведен пример возможного направления реализации данных идей по усовершенствованию, включающий в себя некоторое изменение схемотехники и компоновки устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение имеют различные механизированные колесные платформы: управляемые транспортные тележки, роботы - пылесосы и другие устройства, предусматривающие управление в реальном времени. При этом на сегодняшний день на рынке не представлено распространенных универсальных и функционально полных систем управления такими платформами. Поэтому была поставлена задача разработки такой системы, что позволило бы использовать готовое решение при разработке новых мобильных платформ. В целях определения требуемых параметров разрабатываемой системы был проведен

анализ существующих целевых платформ с учетом их характеристик. В ходе этого были выдвинуты требования к исполнению поддерживаемых устройств, а именно: предусмотреть питающее напряжение от 5В до 12В, наличие двух каналов двигателей мощностью до 300Вт на канал, ключевого контроля одной базовой нагрузки до 15А и бортового освещения, мощностью до 45Вт. Для выбора принципа управления были рассмотрены применяемые на сегодняшний день средства и методы дистанционного управления различными устройствами, в результате чего было установлено, что для поставленных задач наиболее подходящим решением являются средства радиопередачи на высоких частотах. Из иных возможных решений существует и является наиболее простым принцип проводного управления, однако он лишает платформу должной мобильности и вносит множество неудобств, связанных с использованием провода. В качестве альтернативного беспроводного метода рассмотрено применения инфракрасного канала передачи данных. Однако в ходе анализа физических принципов построения такого метода было установлено, что он не является достаточно надежным и функциональным: обмен данными не может осуществляться даже сквозь небольшие препятствия, с чем без труда справляются средства высокочастотной радиопередачи.

При этом была отмечена идея возможного использования Android устройства в качестве пульта дистанционного управления целевой платформой. В ходе проведенного исследования

применимости данного принципа было установлено, что в настоящее время развивается концепция устройств на смартфон-управлении. Основная идея данного подхода заключается в позиционировании смартфона как универсального посредника между человеком и единой системой окружающего его оборудования. Это позволяет исключить необходимость наличия отдельного пульта ДУ для каждого бытового прибора и объединить их в одном устройстве смартфона. Поэтому это избавляет пользователя от необходимости иметь при себе и подзаряжать (менять элементы питания) такие устройства. Человек так или иначе носит с собой и поддерживает заряд смартфона.

Для передачи управляющих данных может быть использован аппаратно поддерживающийся в устройствах Android распространенный протокол обмена данными Bluetooth, в основе которого лежит радиопередача на высокой частоте (2,4ГГц). Поскольку Bluetooth является цифровым интерфейсом, его использование может избавить от необходимости погружения в специфику теории радиопередачи (различные виды модуляции, детектирования), т.к. обмен данными между двумя устройствами происходит автоматически, формат посылки – последовательность байт (цифровая передача).

Для определения необходимой модели управляющих данных был проведен анализ существующего интерфейса управления роботом-пылесосом iRobot Roomba, рассмотрены примененные в его системе принципы формирования управляющих

данных и отмечены их основные недостатки: кодирование скорости движения в реальных, а не в условных единицах (занимает два байта передаваемых данных), использование статичных команд из списка в начале управляющей последовательности, требующее поиска подходящей команды в памяти устройства при каждом новом приеме. Опираясь на проделанный анализ, было принято решение при проектировании по возможности минимизировать длину управляющей последовательности. При этом для задания скорости движения выгоднее использовать условные единицы, т.е., зная общее количество возможных скоростей, можно передавать лишь их порядковый номер, определенным образом интерпретируя такие значения уже на стороне принимающего устройства. Учитывая, что согласно поставленной задаче необходимо предусмотреть 8 значений скорости каждого двигателя в обе стороны (то есть затратить по 3 бита на каждый двигатель и один бит на указание направления), информацию об управлении всем необходимым функционалом платформы возможно передать посылкой длиной в один байт. Оставшийся при формировании данных двигателей бит в реализованной модели используется как флаг назначения, позволяющий дифференцировать управляющий байт по функциональному назначению, т.е. определить, информация об управлении какими системами в нем содержится (каналы двигателей или базовая нагрузка и освещение). При этом выделение целых семи бит под вторичную нагрузку позволяет, сохранив один бит на управление освещением, и еще один бит на

управление каналом базовой нагрузки, получить еще пять свободных каналов, четыре из которых были задействованы как опциональные каналы управления дополнительной нагрузкой.

Однобайтовые команды в целом лишены недостатков многобайтовых управляющих последовательностей. Исключается возможность утери некоторых промежуточных байт, означавшая бы утерю всей последовательности, а затраты на преобразование данных производятся на стороне передатчика. Так как в разрабатываемой системе в качестве пульта ДУ используется Android устройство, то гораздо рациональнее возложить большую часть вычислений на него, как на аппаратно более мощное устройство, что и применяется при данном подходе к организации управления. Это позволяет значительно уменьшить потребности бортового устройства в ресурсах, а значит, сократить его стоимость и габариты.

При разработке устройства управления рассматривалась возможность применения готовых функциональных решений в силовой части. В настоящее время в качестве узлов управления электродвигателями постоянного тока широко используются интегральные микросхемы-драйверы двигателей. Однако, в ходе анализа таких решений и, в частности, распространенной микросхемы L298N был сделан вывод, что из-за их принципиальной компоновки на биполярных транзисторах они, независимо на значения выходного тока, характерны падением напряжения в 1,5-2В, что неприменимо в условиях поставленной

задачи, т.к. столь высокое падение напряжения при использовании заявленного возможного напряжения питания 5В может не позволить обеспечить двигатели номинальным напряжением. Тем более, что выходные токи являются весьма ограниченными максимальными значениями выходных мощностей для корпуса ИМС. Поэтому, с учетом данных недостатков, было решено отказаться от готовых решений драйверов и производить проектирование своего драйверного узла. В данном случае была применена спаренная Н-мостовая схема на полевых МОП транзисторах. Был проведен анализ технологических особенностей и принципов работы транзисторов данной структуры, на основе которого выявлены основные проблемы их применения на практике и предложены их принципиальные решения. В результате была спроектирована принципиальная схема драйвера, и, согласно требуемым параметрам системы, осуществлен выбор элементной базы и расчет необходимых номиналов. Такой драйвер поддерживает приведенные в техническом задании значения токов (до 25А) при низком падении напряжения (<1 В), что в среднем показывает преимущество в 10-15% по выходному напряжению относительно биполярных решений. В качестве выбора вычислительного ядра системы был осуществлен анализ рынка существующих микроконтроллеров с учетом стоимости, количества встроенной периферии и размеров корпуса, в ходе которого для построения управляющего логического блока устройства была выбрана архитектура AVR и применен микроконтроллер

Attiny2313. В качестве Bluetooth передатчика был применен распространенный и недорогой (300 руб.) модуль HC-04, использующий в качестве входного интерфейса асинхронный последовательный протокол, аппаратно поддерживаемый выбранным микроконтроллером. Также в ходе анализа UART, было установлено, что целое значение скорости передачи без округления получается лишь при некоторых значениях используемых тактовых генераторов. Для создания таких генераторов существуют специальные кварцевые резонаторы.

По принципиальной схеме устройства управления был осуществлен подбор необходимой элементной базы с расчетами используемых номиналов компонентов и разработана печатная двусторонняя плата размером 12см*8см. При ее проектировании были учтены особенности схемотехники устройств, содержащих элементы силовых и логических цепей, например, принцип разведения цифровой и аналоговой земли с объединением их в одной точке, пересечение каналов разного рода цепей, расположенных на противоположных слоях. По окончании теоретического этапа разработки, в том числе проектирования печатной платы устройства, для дальнейших тестирований был изготовлен опытный ее образец

Для осуществления разработки ПО Android устройства был проведен анализ существующих приложений с открытым исходным кодом, содержащих применение Canvas графики и использование Bluetooth. В ходе разработки данного ПО был разработан внешний

вид используемого ЧМИ и рассмотрены базовые принципы взаимодействия с ним. Результатом работы над ПО стало реализованное и отлаженное приложение, поддерживающее абсолютное большинство всех существующих на сегодняшний день Android устройств. По окончании разработки Android приложения был создан опытный образец полной системы, состоящий из изготовленного опытного образца устройства, объединенного со смартфоном с установленным ПО.

После изготовления опытного образца полной системы, с целью выходного тестирования системы на предмет соответствия поставленным задачам и обнаружения возможных ее недостатков, не выявленных на более ранних этапах проектирования, был проведен ряд исследований системы. Наиболее важными являлись выходные тестовые испытания устройства управления на предмет соответствия заявленным характеристикам и экспериментальное установление максимальной эффективной дальности управления. Согласно результатам, полученным в последнем, установленная эффективная дальность управления составляет 7,7м в закрытом пространстве и 24,3м на открытой местности. Достаточное расстояние управления показывает применимость использования предложенного принципа управления однобайтовой командой. Экспериментальное 30-минутное тестирование системы на работу в штатном режиме при нагрузке 120Вт на канал показало положительные результаты: нагрев силовых МОП транзисторов относительно окружающей среды при использовании ШИМ малой

скважности составил 10-12°C. Наиболее тонкие дорожки на печатной плате были пропаяны одножильным медным проводом, (распространенная практика при разработке сильноточных печатных плат). В итоге средний нагрев силовых дорожек составил 5°C относительно окружающей среды, что является вполне допустимым значением.

Результаты ряда осуществленных тестирований доказывают, что разработанная система функционально соответствует поставленным задачам: система управления использует Android устройство в качестве пульта ДУ при помощи специального ПО с понятным и удобным интерфейсом, позволяющим контролировать скорость движения и угол поворота целевой платформы. Спроектированное устройство управления соответствует техническому заданию. Экспериментально установлена применимость питающих напряжений диапазона 5В..12В, проведен и описан анализ ее работы в граничном режиме. Поэтому система, как было заявлено, поддерживает возможность внедрения на обширный круг мобильных платформ: позволяет использовать питающие напряжения в диапазоне 5В..12В, управление двумя каналами двигателей общей мощностью до 300Вт на канал. Также, согласно заданию, поддерживается возможность ключевого контроля освещения мощностью до 45Вт и каналом базовой нагрузки с максимальным выходным током 15А.

Литература:

1. А. В. Белов, “Микроконтроллеры AVR в радиолюбительской практике», 2-е издание, перераб. и дополн., издательство «Наука и Техника», Санкт-Петербург, 2007.
2. В. Я. Хартов, «Микропроцессорные системы», издательские центр «Академия», Москва, 2010.
3. Б. Ю. Семенов «Силовая электроника: от простого к сложному», издательство «СОЛОН-Пресс», Москва, 2005.
4. Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл, “Искусство схемотехники», издание 3-е, стереотипное. Издательство «Мир», Москва, 1993.
5. Zigurd Mednieks, Laird Dornin, Blake Meike, Masumi Nakamura «Programming Android: Java Programming for the New Generation of Mobile Devices», O’Reilly, 2013.
6. Laszlo Balogh, «Design And Application Guide For High Speed MOSFET Gate Drive Circuits». Электронная публикация, режим доступа <http://www.ti.com/lit/ml/slup169/slup169.pdf>
7. Stepmotors. Электроника, станки с ЧПУ. Электронная публикация. Режим доступа <http://stepmotors.ru/theory/02/02.htm>
8. Atmel. Attiny2313. 8-bit AVR Microcontroller. Электронная публикация, режим доступа <http://www.atmel.com/images/doc2543.pdf>
9. International Rectifier. IRLML 2502. Logic Level HEXFET Power MOSFET. Электронная публикация, режим доступа <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlml2502.pdf>

10. Микроника. Конденсаторы электролитические алюминиевые. Таблицы размерных рядов. Электронная публикация, режим доступа [http://micronika.ru/docs/hitano/caps_hitano_al\[1\].pdf](http://micronika.ru/docs/hitano/caps_hitano_al[1].pdf)
11. SuperDroidRobots. Snowthrower SuperDroid Product Image. Изображение. Режим доступа http://www.superdroidrobots.com/images/TP-500-043-F_tn.jpg.
12. SuperDroidRobots. Snowthrower SuperDroid Item Details. Режим доступа <http://www.superdroidrobots.com/shop/item.aspx/new-custom-rc-6wd-robot-with-snow-plow-sold/1612/>
13. Zodiac Inc. Vortex 3 documentation. Электронная публикация, режим доступа <http://www.zodiac-poolcare.fr/catalogue/vortex-2#help>
14. Isodesign Creations Metalliques. RC Robot Tractor description. Режим доступа <http://www.isodesign.fr/169278828>
15. IRobot Inc. Roomba product documentation. Электронная публикация, режим доступа http://www.irobot.com/images/consumer/hacker/roomba_sci_spec_manual.
16. Sony PlayStation. Стандартный контроллер, внешний вид. Изображение. Режим доступа http://www.thg.ru/game/sony_playstation_3_europe/print.html
17. Bluetooth and 802 standards. Yu. Semenov (ИТЕР-МИПТ). Электронная публикация. Режим доступа <http://book.itep.ru/4/41/bluetooth.html>

18. IRed Infrared Remote Controller. Электронная публикация.
Режим доступа <http://atmac.org/control-infrared-with-iphone-ipad>
19. Управляемый квадрокоптер Parrot A.R. drone 2.0. Электронная публикация. Режим доступа <http://ardrone2.parrot.com/>

Моделирование нештатных ситуаций на МКС

ВЫСОКОСОВ Максим Витальевич

г. Москва, ГБОУ Лицей №1501, 11 класс

Многие люди в современном мире практически ничего не знают о космосе и, в частности, о Международной Космической Станции (МКС). Я не мог это просто так оставить и написал программу, которая должна исправить положение дел. Программа должна просветить людей, рассказать об истории/строении МКС и жизни на ней, а также она должна продемонстрировать некоторые нештатные ситуации, произошедшие на МКС в прошлом. Благодаря этой работе вы можете стать на некоторое время космонавтом и справиться с трудностями, возникающими на МКС, или избежать ситуации, опасной для жизни.

Подобных данной программе мной найдено не было, поэтому я решил ее создать.

Программа написана на языке программирования gml и создана с помощью программы Game maker. Ниже я расскажу о проделанной работе.

Я рассмотрел многие страницы Википедии и прочих сайтов, затем я разобрался в строении программного кода языка gml, изучил схемы строения модулей станции МКС (но необходимой мне информации об этом в свободном доступе нет) и некоторые

системы, которые призваны обезопасить пребывание космонавтов на станции.

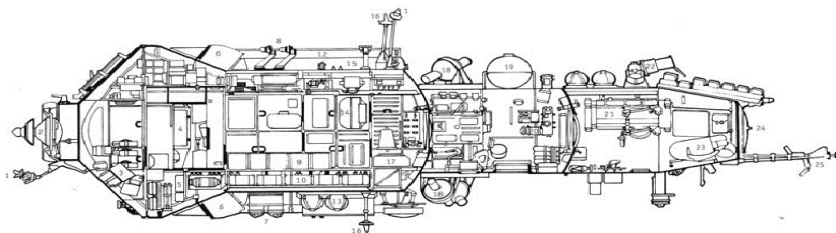
Изначально я начал с поиска информации, нужной мне для того, чтобы начать писать программу. После того как я изучил gml и основы работы с game maker, я приступил к работе.

Мною были найдены на просторах интернета схемы модулей МКС, такие как:

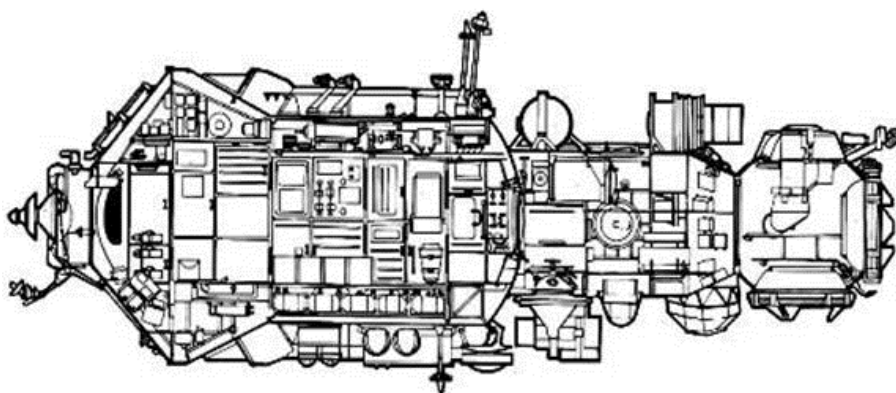
После получения нужных схем я нашел карту месторасположения модулей относительно друг друга в момент нештатной ситуации со спектром и приступил к работе во встроенном графическом редакторе game maker, в котором начал обрабатывать схемы модулей для последующего их внедрения в программу.

На этом скриншоте производится обработка схемы транспортного космического корабля СОЮЗ.

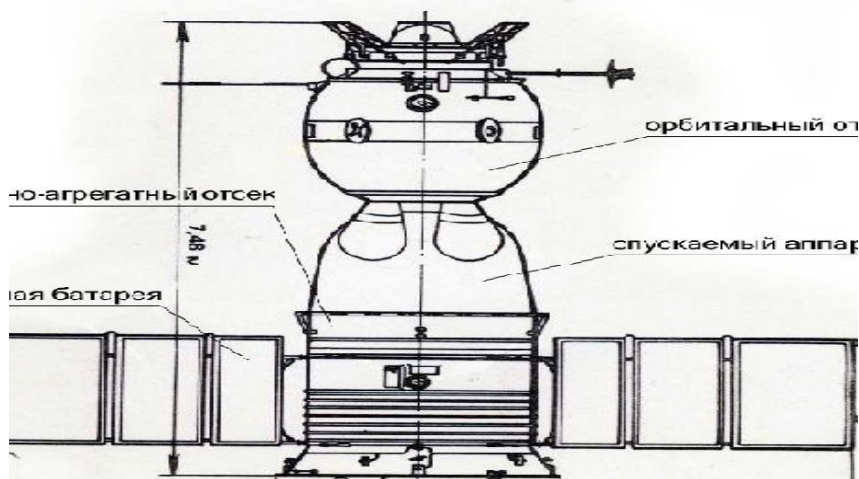
Квант – 2



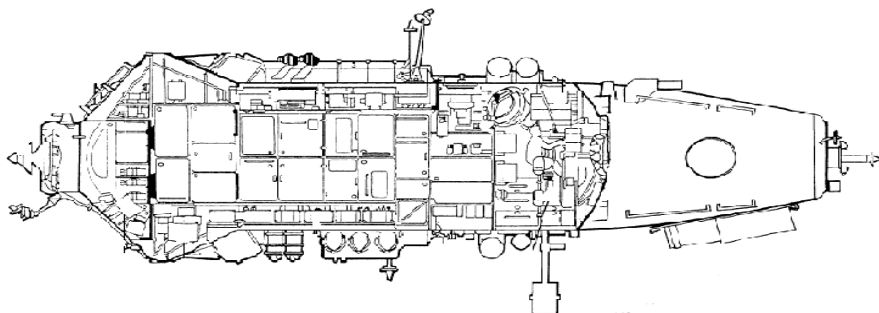
Звезда



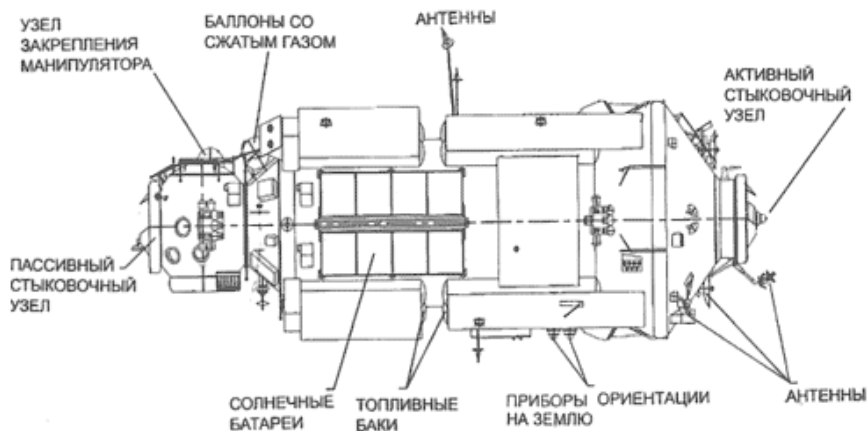
Спектр

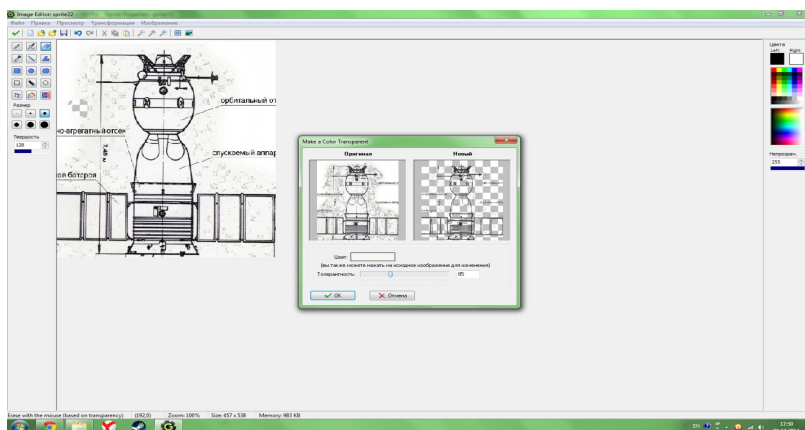
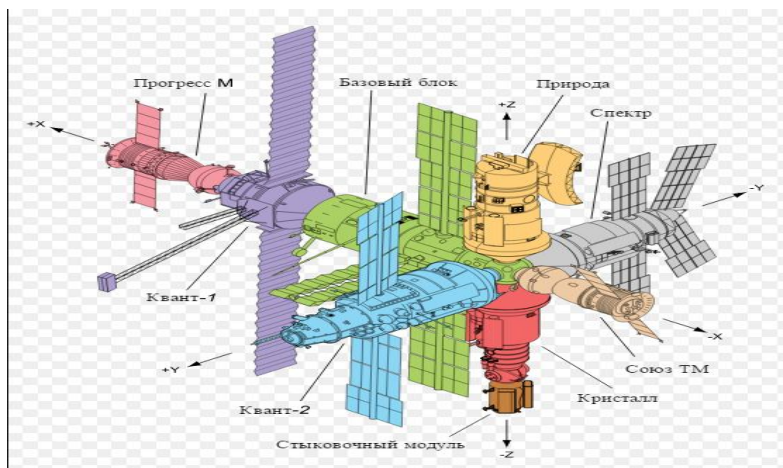


Союз



Заря





Обработка схемы идет следующим образом:

1) Идет замещение белого (в данном случае) фона невидимкой, чтобы в самой программе четко отображался задний фон.

2) К сожалению, на некоторых схемах не получилось до конца стереть белый цвет, поэтому я воспользовался ластиком и подкорректировал автоматическую обработку.

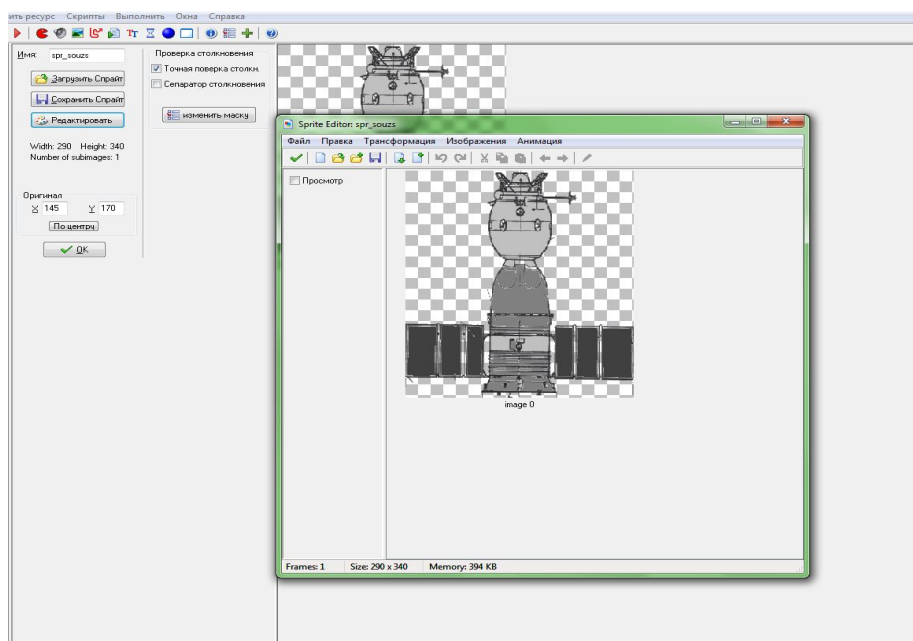
3) Идет разукрашивание схемы, чтобы придать атмосферность и более глубокое понимание игроком, где он находится.

После проделанных операций результат виден хорошо и после корректировки масштаба для правильного отображения модулей можно приступить к следующему этапу.

Дальше я создал «комнату», в которой будет проходить первое задание и расставил уже полученные схемы модулей.

Затем я приступил к созданию объектов.

Первыми стали – стены модулей и сам персонаж.



Персонажу была задана установка, чтобы при минимальном расстоянии со стеной он не мог двигаться дальше (на стену), таким образом, я создал преграду.

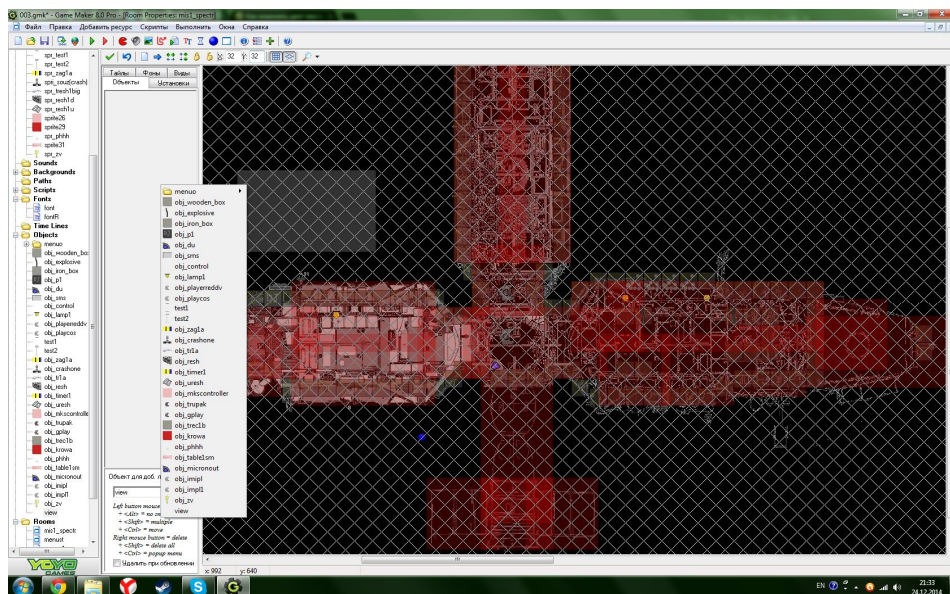
Затем я создал второй объект персонажа, который находится всегда на первом. Он отвечает за повороты. Так как в космосе ты движешься не туда, куда смотришь, и от разворота мало что зависит, я решил воспользоваться этим. Первый объект сделал невидимым и задал ему задачу «следить за движением», а второму за «отображением и анимацией».

Тем временем я начал разработку стен. Я решил их сделать для упрощения квадратными. Для этого был нарисован квадрат 32x32 и эти квадраты я расставил вдоль так называемого «борта», чтобы создать зону, из которой нельзя выходить. Затем я сделал их невидимыми, ведь в симуляторе 2d стены не должны явно отображаться, а так становятся видны границы.

Но я пошел еще дальше, создав «регулирующих». Задачей этих объектов является «выдача разрешения на передвижение», т. е. если персонаж находится на этом «большом красном квадрате», который не видим, то ему разрешается двигаться, а стены выступают в роли стен, которые не позволяют по инерции вылететь за пределы или наоборот, влететь в МКС.

Ниже представлена картинка, на которой мы можем увидеть, как происходит «строительство» комнаты. Я решил сделать так, чтобы многие объекты, такие как контроллеры и ограничители, отображались в режиме конструктора, так как показано на

изображении. Благодаря этому стало намного удобнее создавать игровые «модули».



Чтобы не грузить процессор количеством объектов, я решил не создавать объекты для каждой схемы, а «вшить» их в фон и через «стены» обозначить их границы.

Следующим этапом стало создание панелей. Эти панели должны висеть в углу экрана и отображать игровую информацию, например, системное сообщение или вывод на экран игровую информацию.

Для создания панели я ввел глобальную переменную `global.chat` с номерами с 1 по 6 (6 строк). Дальше я создал постоянный таймер, который через небольшой промежуток времени как бы сдвигал строки вниз, а нижнюю строку удалял.

Затем я прописал такой код:

```
x=view_xview+1;
y=view_yview+1;
draw_set_font( fontR)
draw_sprite(sprite_index,-1,x,y);
draw_set_halign(fa_left);
draw_text(x,y+24,global.chat1);
draw_text(x,y+36,global.chat2);
draw_text(x,y+48,global.chat3);
draw_text(x,y+60,global.chat4);
draw_text(x,y+72,global.chat5);
draw_text(x,y+84,global.chat6);
```

Первые две строки заставляют панель держаться постоянно в левом верхнем углу экрана. Третья строка задает шрифт, четвертая отмечает, с какой стороны будет печататься текст, а последующие выводят сам текст.

Вывод текста происходит следующим образом:

Происходит событие и выполняется скрипт.

Допустим:

```
if sysdam=true and lock=0 then
{
global.chat1="Повреждена система жизнеобеспечения"
lock=1}
```

Значит, в первой строчке будет написана фраза в кавычках.

Lock необходим для того, чтобы это сообщение не печаталось постоянно, пока sysdam=true.

После вышеперечисленных действий объект был помещен в комнату и начал свою корректную работу. Его вы можете заметить в правом верхнем углу комнаты на предыдущей картинке.

Далее, после более подробного изучения нештатной ситуации, в которой идет столкновение транспортного корабля с модулем «СПЕКТР», я создал «системную панель», которая должна следить за открыванием/закрыванием люков между модулями и разместил ее на «перекрестке» между модулями.

Для активации этого объекта я использовал данный код.

```
if lock=0 and distance_to_object(obj_playerreddv)<=16 and  
(keyboard_check(ord('F')) or joystick_check_button(1,3)) then  
{global.chat1='Операция блокировки шлюзов запущена...'}
```

```
lock=1  
instance_create(x,y-24,obj_zag1a);  
obj_playerreddv.canmove=0  
obj_playcos.anim1=true  
obj_playcos.lock=1  
global.sg=3  
instance_create(x,y-24,obj_helper);  
}
```

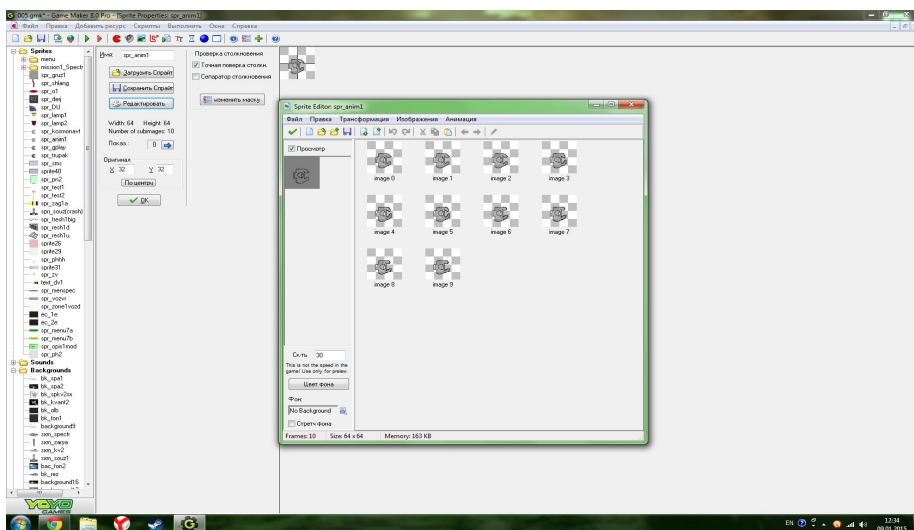
Т.е. он проверяет дистанцию до персонажа и нажата ли клавиша. Далее он выполняет код, который находится в скобках (вывод, сообщение, запустить таймер и т.д.).

Затем:

```
obj_playerreddv.canmove=0
```

Эта команда запрещает движение персонажу, ведь процесс герметизации немгновенный, и пока идет процесс двигаться нельзя.

Затем похожий код (шапкой) размещен в объекте персонажа, который отвечает за отображение главного героя (ГГ). Код, размещенный там, запускает анимацию. Вот так создается анимация встроенном графическом редакторе:



Для слежения за главным игроком в программу был введен объект «obj_view», задачей которого является постоянное нахождение на персонаже или при разнообразных сценах (например, столкновение грузового корабля со спектром) перемещаться в другое место. На этот объект постоянно смотрит камера, что нам позволяет видеть происходящее в локации.

Благодаря нижеизложенному коду идет выбор объекта слежения.

```
if global.control=1
    then
    {x=obj_impl1.x
    y=obj_impl1.y
    }
```

В данном отрывке идет слежение за диалоговым персонажем (начало 1-го модуля), т. е пока активна переменная `global.control=1` идет «слежение» за объектом `obj_impl1`.

В программе я использовал несколько так называемых «регуляторов». Эти объекты контролируют развитие событий, а также следят за персонажем и разрешают или запрещают выполнять ему те или иные действия (например, передвижение).

В пример «регулятора» можно привести объект `obj_mkscntroller`, благодаря которому создается «зеленая» зона передвижения (на рис. красный квадрат). В этой зоне разрешается передвижение персонажа. Сам регулятор не виден в игре. К сожалению, одного регулятора, отвечающего за передвижение, не хватило, и в игру был введен объект, останавливающий инерцию тел (стена), которая также не видна в процессе игры. Её действие я описывал выше.

Следующий регулятор отвечает за «вынос» персонажа в пролом в «Спектре». Всего их 3. Объединенным условием выполнения скрипта всех трёх объектов является:

```
if obj_crashone.crush=1 then  
    lock=0
```

То есть, пока не произошло столкновение модуля с грузовым кораблем, эти «регуляторы» не являются активными, а когда столкновение произошло lock=0 и начинается выполнение скрипта.

```
Все 3 объекта различаются только значениями в переменных:  
if distance_to_object(obj_phright)<=32 and obj_phright.lock=0 then  
    {vspeed-=0.5  
    hspeed+=0.5}
```

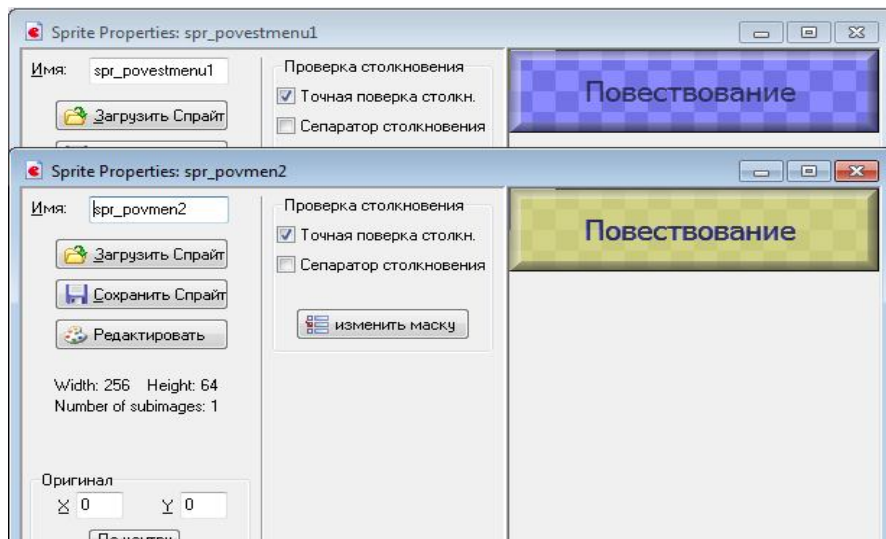
obj_phright.lock=0 – идет проверка на «активность» объекта, а до того идет проверка на дистанцию. Две строки ниже задают скорость вылета персонажа, как раз только в этих цифрах есть различие между 3-мя регуляторами. Первый создает тягу вправо и вверх, второй влево и вверх, а третий просто вверх, но сильнее, т. е. если попасть на третий регулятор, то выбраться уже не получится, и вы гарантированно отправитесь на долгую, очень долгую прогулку по орбите вокруг Земли.

Меню

Для создания главного меню было запрограммировано несколько объектов - «кнопок», которые имели свой спрайт (рисунок) и меняли его при наведении на него курсора мыши (актив-пассив кнопки). Кнопки были запрограммированы следующим образом:

- 1) Создается две картинки размером 128x64 или 256x64. Эти картинки различаются цветом.

- 2) Создается объект, которому задается «глубина», чтобы курсор был над кнопкой, а не под ним.
- 3) Задача объекта состоит в том, чтобы при нажатии на кнопку шло перемещение в следующую комнату.
- 4) Идет расстановка кнопок по «комнате».



В симуляторе к разделу «меню» можно отнести несколько «комнат». Главное меню, меню повествования, меню модулей, меню настроек, меню скафандров и меню повествования 2. Каждое из них, кроме меню настроек, выполняет стандартный алгоритм действий, описанный выше. Меню настроек отличается от остальных тем, что оно не переносит место действия в другую комнату, а вместо этого регулирует тот или иной игровой параметр. В пример можно привести регулятор музыкального сопровождения (on-off музыка) или же опцию «дымки»(off-on эффект «дымки»).

Регулирование настроек происходит следующим образом. При нажатии лкм по иконке, допустим, «дымки», меняется значение глобальной переменной, значение которой хранится в `obj_controller`. Объект «дымка» постоянно считывает этот параметр, и, если он станет равным `false`, то «дымка» не будет отображаться на экране и соответственно снимет нагрузку с компьютера.

Также можно немного рассказать о создании самого переключателя (on-off) «дымки». Для этого были созданы 2 спрайта 32x32. Разница между ними только в центральной кружочке, так как они разного цвета. Принцип присвоение глобальной переменной, прост как никогда.

```
if loop mod 2 = 0 then
{sprite_index=spr_op2
  global.op=0
}
```

```
if loop mod 2 >0
{
  sprite_index=spr_op1
  global.op=1
}
```

`if loop mod 2 = 0` – эта строка проводит операцию `mod` (значение после запятой при делении на 2), то есть идет проверка на четность/нечетность и, если переменная `loop` кратна двум, то идет присвоение нового спрайта и глобальная переменная изменяется на

0; если же не равна 0, то идет приравнивание к другому спрайту и глобальное значение =1. Переменная loor изменяется следующим образом. При нажатии на картинку объекта ЛКМ loor+=1 и так до бесконечности.

Разработка режима повествования.

После многочасового анализа информации из интернета, я решил, что одного игрового режима будет мало, и ввел в игру режим повествования. Целью этого режима является рассказывание о той или иной вещи в простой форме, чтобы простому человеку все было понятно. В финальной версии программы «повествование» содержит в себе 3 части. Первые две рассказывают о двух модулях космической станции, а третий - о космических скафандрах. Последняя часть является самой насыщенной, ведь в ней идет подробное описание трех скафандров. Больше всего места занял «Орлан», так как у него множество модификаций, некоторые используются и по сей день.

Данный режим состоит из «кнопок» и картинок.

Принцип работы кнопок Вы могли видеть в описании работы меню, а вот над принципом перехода от одной картинке к другой можно и поразмышлять.

Как вы видите на картинке выше, слева есть 3 кнопки: Орлан, Беркут и Ястреб. Каждой кнопке принадлежит свое значение глобальной переменной

global.kos.Орлан=1, Беркут=2, Ястреб=3.



Ястреб

Беркут

Орлан

Модели

Модель Д



Орлан-Д

- Эксплуатация: Салют-6, 1977—1979; Салют-7, 1982—1984
- Название: Орлан-Д
- Производитель: НПП «Звезда»
- Миссии: Разрабатывался с 1969 по 1977. Использовался на Салют-6 и Салют-7 с 1977 по 1984
- Рабочее давление: 400 гПа
- Масса: 73,5 кг
- Время автономности: 5 часов

Назад

При нажатии на кнопку значение глобальной переменной
изменяется на соответствующее нажатой кнопке.

```
load+=1
if global.kos=1
{
  if load=1 then
    sprite_index=spr_bercut1
  if load=2
    sprite_index=spr_bercut2
  if load=3
    sprite_index=spr_bercut3
  if load=4
    {
```

```
load=0  
}  
}
```

Строка `load+=1` означает, что при нажатии SPACE это значение увеличивается на 1. Когда оно равно 1, спрайт меняется на одно, 2 – на другое и так далее до конца. В данном примере всего 3 спрайта. Когда `load=4`, он становится равным 0 и все сначала. Теперь можно выбирать следующий скафандр.

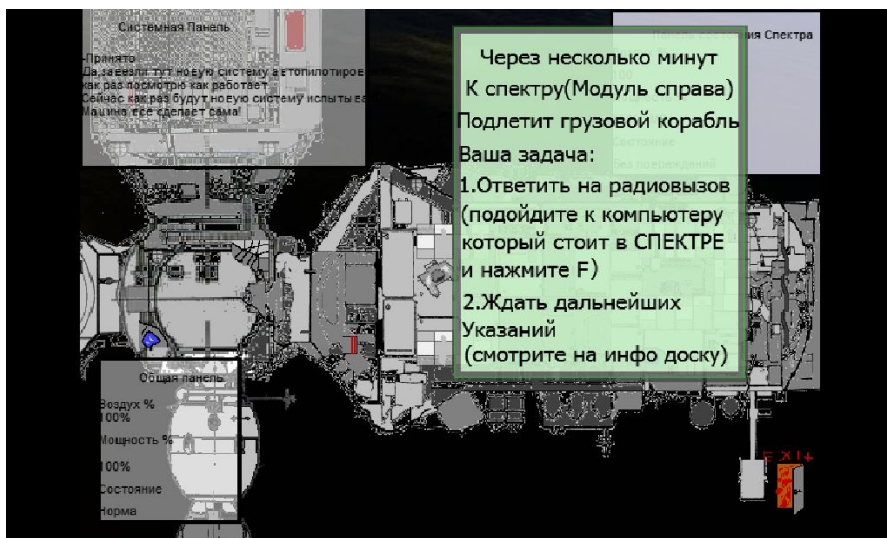
Пример: В «Орлане» 9 изображений, то есть максимальное значение `load=10`.

Система подсказок.

На введение подсказок в игру меня подтолкнуло то, что после некоторого времени, проведенного без тестирования программы, я забыл, что и в какой последовательности надо делать, а неподготовленному пользователю будет еще сложнее, ведь ему даже забывать нечего. А догадаться, что для предотвращения пожара нужно отойти от источника пламени, найти ближайший респиратор, надеть его (!), попытаться потушить пламя специальным огнетушителем, покинуть модуль и загерметизировать его, а затем включить систему вентиляции - ...могут далеко не все.

После недолгих раздумий я ввел в игру несколько подсказок. Они возникают на экране в виде полупрозрачной зеленой картинки, которая висит чуть правее центра экрана и для того, чтобы ее убрать, нужно нажать пробел. Сам текст зависит от

глобальной переменной, которая изменяется из-за действий игрока, и, соответственно, меняет текст подсказок.



КОНЦОВКИ

В игре предусмотрено несколько концовок для каждой миссии. Система концовок очень похожа на систему подсказок, ведь она тоже зависит от глобальной переменной, которая также изменяется от действий игрока. При завершении миссии считывается эта глобальная переменная и от ее значения зависит текст концовки.

Для завершения миссии необходимо сесть в СОЮЗ и дожждаться покидания комнаты. После этих действий программа считает значение глобальной переменной и выведет соответствующий текст концовки.

Заключающим этапом стало введение в игру Джойстикового управления. После изучения id номеров кнопок геймпада, я приступил к работе и с помощью нескольких команд выполнил данную задачу. Например, это одна из команд, отвечающих за движение:

```
if joystick_xpos(1)<0 then  
    hspeed=-0.1
```

А с помощью такого кода космонавт садится в СОЮЗ:

```
if joystick_check_button(1,3) and distance_to_object(obj_souz)<=8 and  
    locka=0 then ***
```

joystick_check_button(1,3) – При нажатии id=3 кнопки первого джойстика происходит то-то.

Для управления с геймпада использовалась программа DS3. Она обеспечивает корректную работу геймпада. Документация по подключению лежит в свободном доступе в интернете, а сама программа приложена к диску.

В описании проделанной работы описываются ключевые моменты создания программы.

Литература:

1. Справки Game maker.
2. Сайт Роскосмоса.
3. kraeved1147.ru.

4. gcup.ru.
5. federalspace.ru.
6. www.vokrugsveta.ru.
7. ru.wikipedia.org.
8. hellroom.ru.
9. gmaker.su.
10. findpatent.ru.
11. kosmos.of.by.
12. mirfactov.com.
13. gmakers.ru.

**Электронная обучающая система по спортивно-бальным
танцам**

ВИШНЕВСКАЯ Юлия Александровна

г. Москва, ГБОУ СОШ №7, 11 класс

Научный руководитель:

*Понишкайтис Римантас Альгимантович,
исполнительный директор*

ООО «Апсисстемс»

Введение.

В настоящее время очень популярно такое направление спорта, как танцы. Несомненно, одна из самых ярких, красочных и привлекающих внимание групп танцев – спортивно-бальные танцы. Этот вид спорта восхищает своей помпезностью, красотой и изящностью! Он пробуждает желание научиться выполнять сложные элементы с необычайной легкостью.

Однако многие начинающие танцоры не знают теорию. А знание теоретического материала необходимо как новичкам, так и профессионалам. Без знания теории тренер и ученик попросту не смогут понять друг друга на тренировках.

Чтобы предотвратить такие ситуации, я создала свою электронную обучающую систему по спортивно-бальным танцам. Именно получение теоретических знаний о спортивно-бальных

танцах является одной из основных задач моей электронной обучающей системы.

Преподавателям на сегодняшний день не хватает времени на отдельные теоретические уроки. Поэтому ученикам приходится запоминать материал на слух, что довольно тяжело (особенно для начинающих танцоров), и преподаватели вынуждены повторять одну и ту же информацию раз за разом. Учителя задаются вопросом: «Как более доступно и понятно объяснить ученикам то или иное движение и его схематику?»

Целью моей работы является создание электронной обучающей системы – программы, которая частично заменяет тренера и позволяет изучать теорию танца дома за компьютером.

Для достижения поставленной цели были сначала поставлены задачи и функции будущей системы, выбрана среда разработки и язык программирования, после чего стало возможным начало стадий реализации и тестирования.

В отчете приведены исследования группы спортивно-бальных танцев, описание выбора среды и языка разработки программы, результаты проектных решений, тестирования и др.

Исследование предметной области.

В настоящее время существует 10 видов, включенных в программу, спортивно-бальных танцев. В программе реализованы только 4 вида. Конечно, у каждого танца существует множество разнообразных движений и производных из них. Изучать их сразу

невозможно! Поэтому необходимо выбрать один из десяти видов и изучать именно его.

Спортивно-бальные танцы разделены на две подгруппы:

Европейская программа:

- ❖ Медленный вальс;
- ❖ Фокстрот;
- ❖ Венский вальс;
- ❖ Танго;
- ❖ Быстрый фокстрот (КвикСтеп);

Латиноамериканская программа:

- ❖ Самба;
- ❖ Ча-ча-ча;
- ❖ Румба;
- ❖ Джайв;
- ❖ Пасодобль;

На начальной стадии обучения пользователь выбирает один из видов танцев. После того, как пользователь определился с танцем, теорию которого он хочет изучить, он попадает в окно уроков, где может начать или продолжить обучение. После каждого урока предусмотрено тестирование по пройденной теме. Пользователь обязан пройти тест, иначе он не сможет продолжить обучение, т.к. кнопка, направляющая к следующему уроку, будет заблокирована до момента удачного прохождения тестирования на приемлемую оценку.

Для удобства изучения теории была выбрана методика обучения Гая Говарда, тренера мирового класса. Она предоставляет возможность изучать теорию танца по урокам (1 урок – 1 танцевальный элемент). Это очень удобно особенно для начинающих танцоров, т.к. уроки не содержат очень большое количество информации, они просты для понимания танцоров и незамысловаты.

Выбор языка и среды разработки.

После исследования предметной области было выявлено, что для реализации программы необходимо визуальное средство программирования, которое поддерживает и объектный, и процедурный подходы. Также было выяснено, что средство программирования должно давать возможность работать с иллюстрациями, текстовыми и типизированными файлами.

К обучающей системе были представлены такие требования, как процедурно-объектный подход, наличие визуальной библиотеки и большого количества различных типов данных, а также возможность создавать пользовательский тип данных.

В процессе исследования было выявлено, что языки программирования делятся на два типа:

- ❖ *Языки общего назначения*, которые используются при объектных подходах (Паскаль, C++ и др.)
- ❖ *Языки специального назначения* (Prolog, Lisp и др.).

В результате проведенных исследований был выбран язык Pascal (среда разработки Delphi7), который удовлетворяет всем

поставленным требованиям. Данное средство является визуальным, что заметно облегчает создание простого и понятного для пользователя интерфейса, поддерживает как процедурный, так и объектный подход программирования.

Также в процессе исследования был сделан обзор схем разработки программных продуктов. Наиболее известными схемами являются: каскадная, схема с промежуточным контролем и спиральная схема. В итоге была выбрана спиральная схема, базирующаяся на создании прототипов.

Определение структуры обучающей системы.

В начале этапа проектирования была создана и доработана структурная схема электронной системы, представленная на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что электронная обучающая система состоит из трех компонентов: ядро системы, редактирование, базы данных и файлы. Для основной работы программы используется ядро системы. Для его нормального функционирования необходимы базы данных и файлы пользователей. Компонент редактирования используется для пополнения и исправления баз данных.

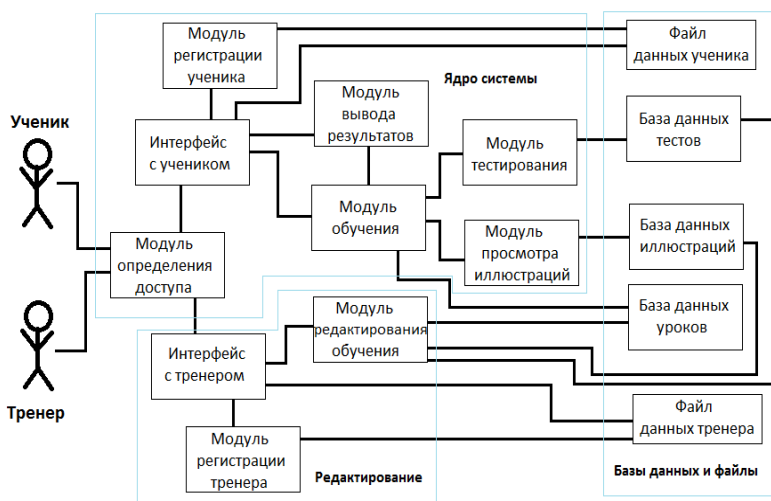


Рис. 1. Структурная схема электронной обучающей системы по спортивно-бальным танцам.

Модуль определения доступа предназначен для определения категории пользователя (тренер/эксперт или ученик) и последующей работы программы с тем или иным пользователем.

Интерфейс с учеником отвечает за диалог программы с пользователем путем входа в систему, выбора изучаемого танца и установления последовательного обучения.

Модуль регистрации ученика отвечает за регистрацию ученика в программе и занесение информации о его обучении в **файл данных ученика**. А в дальнейшем разрешает ученику доступ в программу.

Модуль обучения предназначен для реализации процесса обучения путем вывода на экран текстов уроков в соответствии с данными об обучении пользователя.

Модуль просмотра иллюстраций предназначен для просмотра картинок по каждому уроку. Иллюстрации загружаются из **базы данных иллюстраций** для каждого урока соответственно.

Модуль тестирования отвечает за проверку знаний ученика после каждого изученного урока и его допуск к дальнейшему обучению, т.к. без знания предыдущих уроков пользователь не всегда сможет понять следующие. Тесты загружаются из **базы данных тестов** для каждого урока соответственно.

Интерфейс с тренером отвечает за диалог программы и тренера (эксперта) путем входа в систему, выбора редактируемого урока, теста или добавления/удаления иллюстраций.

Модуль регистрации тренера отвечает за регистрацию тренера в программе и занесение информации о нем в **файл данных тренера**.

Модуль редактирования обучения отвечает за создание новых уроков, тестов и добавление/удаление иллюстраций, а также за изменение уже существующих уроков. Тесты, иллюстрации и тексты уроков загружаются соответственно из **баз данных тестов, иллюстраций и уроков**.

База данных уроков содержит множество текстовых (*.txt) файлов с теоретическим материалом для каждого урока и по каждому танцу.

База данных иллюстраций содержит множество иллюстраций (*.bmp) для каждого урока. Подразумевается, что для каждого урока необходимо несколько иллюстраций.

База данных тестов содержит множество типизированных файлов (*.tp) с тестами для каждого урока и по каждому танцу. Каждый такой файл содержит в себе информацию об оценках, вопросах, вариантах ответа и баллов за каждый ответ.

Файл данных ученика содержит информацию (имя, фамилию и пароль) обо всех учениках, зарегистрировавшихся в системе, и состоянии их обучения.

Файл данных тренера содержит информацию (имя, пароль) обо всех тренерах, зарегистрировавшихся в системе.

Разработка пользовательского интерфейса.

В процессе проектирования пользовательского интерфейса были разработаны: иерархия меню, диаграмма состояний и формы интерфейсов.

На рисунке 2 представлена диаграмма состояний интерфейса, из которой видно, что обучающая система имеет 10 состояний и 69 событий.

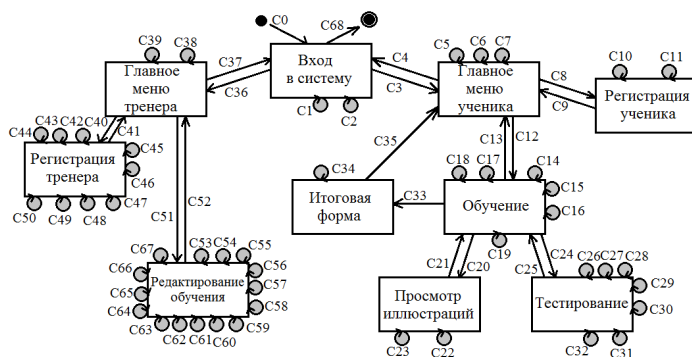


Рис. 2. Диаграмма состояний интерфейса.

Описание элементов диаграммы:

C0 – вход в систему при открытии Dance1.exe;

C1 – вывод картинки при входе в систему;

C2 – определения местонахождения системы;

C3 – переход в главное меню ученика при нажатии на кнопку «Ученик»;

C4 – возвращение пользователя на вход при нажатии кнопки «Выход»;

C5 – вывод картинки при переходе к главному меню ученика;

C6 – поиск введенных данных в файле Inf.pdf и сравнение их с найденными;

C7 – вывод ошибки при наличии пустых полей;

C8 – переход к регистрации при нажатии на кнопку «Регистрация»;

C9 – возврат в главное меню ученика после регистрации при нажатии кнопки «Зарегистрироваться»;

C10 – указание на ошибку при наличии пустых полей;

- C11 – занесение информации о пользователе в файл Inf.pdf;
- C12 – переход к обучению при нажатии на кнопку «Вход»;
- C13 – возврат в главное меню ученика при нажатии на кнопку «Остановить обучение»;
- C14 – выбор изучаемого танца при нажатии кнопки «Выбрать»;
- C15 – просмотр принятых в танцах сокращений слов при нажатии кнопки «Ознакомиться с сокращениями»;
- C16 – возврат к выбору танца при нажатии кнопки «Закончить ознакомление»;
- C17 – вывод текста урока, необходимого пользователю в соответствии с его данными об обучении;
- C18 – переход к следующему уроку при нажатии на кнопку «Следующий урок»;
- C19 – изменение информации об обучении пользователя в файле Inf.pdf;
- C20 – переход к просмотру иллюстраций при нажатии кнопки «Иллюстрации»;
- C21 – возврат к обучению при нажатии кнопки «Завершить просмотр»;
- C22 – переключение иллюстраций в правильном направлении;
- C23 – переключение иллюстраций в обратном направлении;
- C24– переход к тестированию при нажатии кнопки «Тестирование»;
- C25 – возврат к обучению при нажатии кнопки «Закреть»;
- C26 – вывод вопросов и вариантов ответов к ним;
- C27 – выбор первого варианта ответа;

- C28 – выбор второго варианта ответа;
- C29 – выбор третьего варианта ответа;
- C30 – подсчет количества баллов за пройденный тест;
- C31 – вывод результатов после прохождения теста;
- C32 – активация или блокировка (в зависимости от оценки за тест) кнопки «Следующий урок»;
- C33 – переход к итоговой форме после завершения обучения по какому-либо танцу;
- C34 – вывод информации о завершении обучения;
- C35 – возврат в главное меню ученика;
- C36 – переход к главному меню тренера при нажатии кнопки «Тренер»;
- C37 – возвращение пользователя на вход при нажатии кнопки «Выход»;
- C38 – вывод информации об ошибке при наличии пустых полей;
- C39 – поиск введенных данных в файле InfTR.pdf и сравнение их с найденными;
- C40 – переход к регистрации тренера при нажатии кнопки «Регистрация»;
- C41 – возврат в главное меню тренера при нажатии кнопки «Зарегистрироваться»;
- C42 – вывод вопросов и вариантов ответов к ним;
- C43 – выбор первого варианта ответа;
- C44 – выбор второго варианта ответа;
- C45 – выбор третьего варианта ответа;

- C46 – подсчет количества баллов за пройденный тест;
- C47 – вывод результатов после прохождения теста;
- C48 – определение допуска тренера к регистрации;
- C49 – указание на ошибку при наличии пустых полей;
- C50 – занесение информации о пользователе в файл InfTR.pdf;
- C51 – переход к редактированию обучения при нажатии кнопки «Вход»;
- C52 – возврат к главному меню тренера при нажатии кнопки «Остановить редактирование»;
- C53 – выбор танца, который собирается редактировать тренер;
- C54 – выбор урока, который собирается редактировать тренер;
- C55 – загрузка текста выбранного урока в отведенное поле;
- C56 – загрузка теста выбранного урока в отведенное поле;
- C57 – загрузка иллюстраций выбранного урока в отведенное поле;
- C58 – прокрутка вопросов теста в прямом направлении;
- C59 – прокрутка вопросов теста в обратном направлении;
- C60 – сохранение исправленного теста при нажатии кнопки «Сохранить тест»;
- C61 – сохранение исправленного текста урока при нажатии кнопки «Сохранить урок»;
- C62 – создание нового урока при нажатии кнопки «Создать урок»;
- C63 – прокрутка иллюстраций урока в прямом направлении;
- C64 – прокрутка иллюстраций урока в обратном направлении;
- C65 – выбор картинки, которую необходимо удалить при нажатии на одноименную кнопку;

С66 – удаление картинки при нажатии кнопки «Удалить»;

С67 – добавление новой картинки при нажатии кнопки «Добавить новую»;

С68 – выход из системы;

Также в процессе проектирования были разработаны формы интерфейса для всех состояний обучающей системы:

1. форма входа в систему;
2. форма главного меню ученика;
3. форма регистрации ученика;
4. форма обучения;
5. форма просмотра иллюстраций;
6. форма тестирования;
7. форма вывода результатов;
8. форма главного меню тренера;
9. форма регистрации тренера;
10. форма редактирования обучения.

Всего получилось 10 форм. Далее приводится их описание.

Форма входа в систему.

Форма входа в систему реализована с помощью класса Form1 (рис. 3). Эта форма появляется сразу при запуске программы. Содержит две кнопки: «Тренер» (нажав ее, можно перейти к главному меню тренера) и «Ученик» (нажав ее, можно перейти к главному меню ученика).

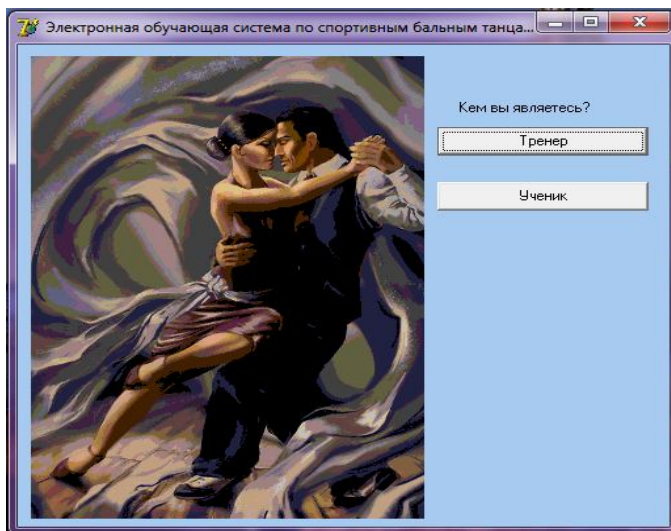
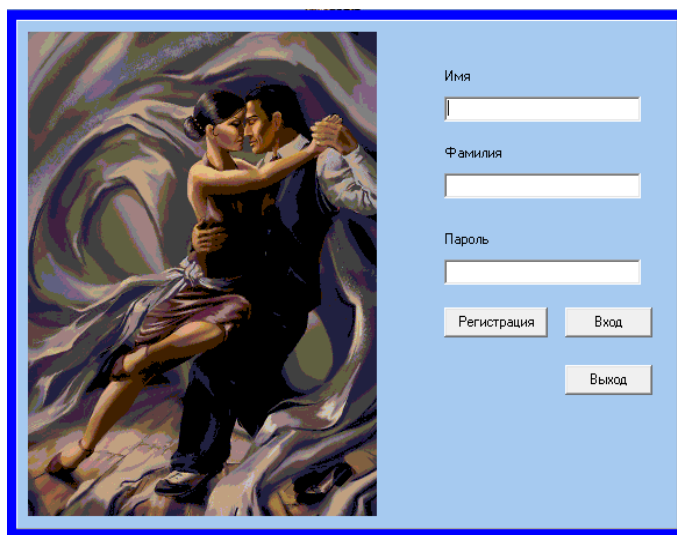


Рис. 3. Форма определения доступа пользователя.

Форма главного меню ученика

Форма главного меню ученика реализована с помощью класса Form2 (рис. 4). Она содержит 3 поля ввода для данных пользователя, а также кнопки: «Регистрация» (переход к форме регистрации ученика), «Вход» (переход к форме обучения при правильном заполнении полей ввода) и «Выход» (возвращение на вход в систему).



Имя

Фамилия

Пароль

Регистрация

Вход

Выход

Рис. 4. Форма главного меню ученика.

Форма регистрации ученика.

Форма регистрации ученика реализована с помощью класса Form3 (рис. 5). Она содержит три поля ввода, внося информацию в которые можно зарегистрироваться в обучающей системе, нажав кнопку «Зарегистрироваться».

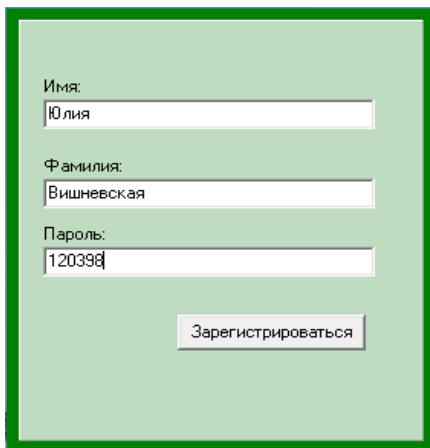
A registration form with a light green background and a dark green border. It contains three text input fields: 'Имя:' with the value 'Юлия', 'Фамилия:' with the value 'Вишневская', and 'Пароль:' with the value '120398'. Below the fields is a button labeled 'Зарегистрироваться'.

Рис. 5. Форма регистрации ученика.

Форма уроков.

Форма уроков реализована с помощью класса Form4 (рис. 6). Она содержит ComboBox для выбора танца, кнопку «Выбрать», нажав на которую появляется ListBox с текстом необходимого урока. Также присутствуют кнопки «Ознакомиться с сокращениями» и «Завершить ознакомление», позволяющие прочитать и узнать все принятые танцорами сокращения. Кнопка «Иллюстрации» позволяет совершить переход к форме просмотра иллюстраций. Кнопка «Тестирование» позволяет перейти к форме тестирования. Кнопка «Следующий урок» дает возможность после удачно пройденного теста продолжить обучение.

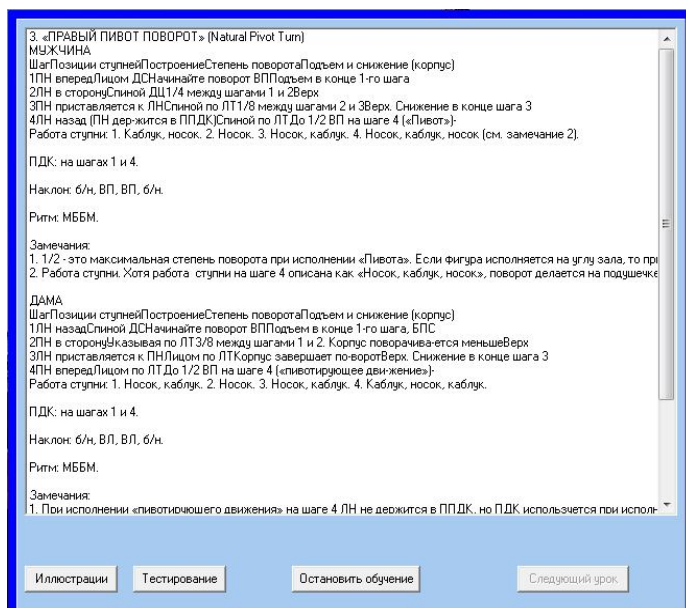


Рис. 6. Форма уроков.

Форма просмотра иллюстраций.

Форма просмотра иллюстраций реализована с помощью класса Form5 (рис. 7). Она позволяет просматривать иллюстрации по каждому уроку. Это осуществляется благодаря двум кнопкам переключателям, которые дают возможность пролистывать иллюстрации в прямом и обратном порядках. Кнопка «Завершить просмотр» возвращает пользователя в форму уроков.

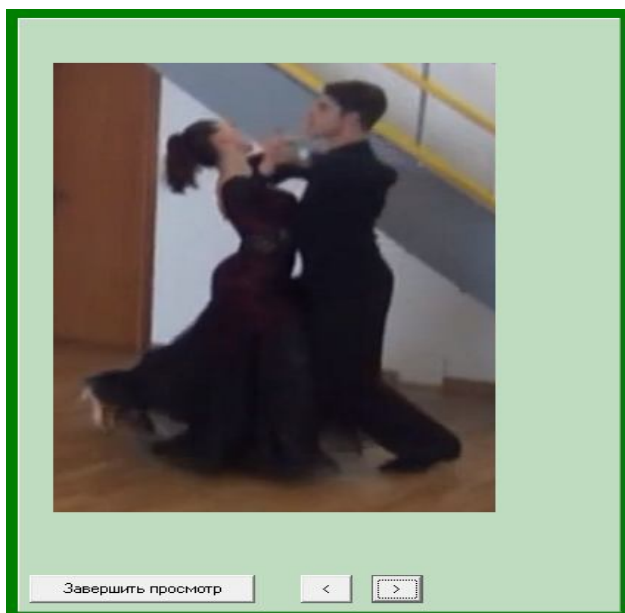


Рис. 7. Форма просмотра иллюстраций.

Форма тестирования

Форма тестирования реализована с помощью класса Form6 (рис. 8). Она содержит поля вывода вопросов и трех вариантов ответа. Кнопка «Далее» служит переключателем вопросов. По завершению теста выводятся баллы, набранные пользователем. Кнопка «Заккрыть» возвращает ученика к форме уроков.

Работа ступни:

☐ 1. Каблук, носок. 2. Носок. 3. Носок, каблук. 4. Носок, каблук. 5. Каблук, внутренний край ступни, вся ступня. 6. Каблук.

☐ 1. Носок, носок. 2. Каблук. 3. Носок, каблук.

☐ 1. Носок, каблук. 2. Каблук. 3. Каблук, каблук.

Далее

Рис. 8. Форма тестирования.

Итоговая форма

Итоговая форма реализована с помощью класса Form7 (рис. 9). Она содержит сообщение об успешном завершении обучения и кнопку «Завершить», которая позволяет вернуться в главное меню ученика.

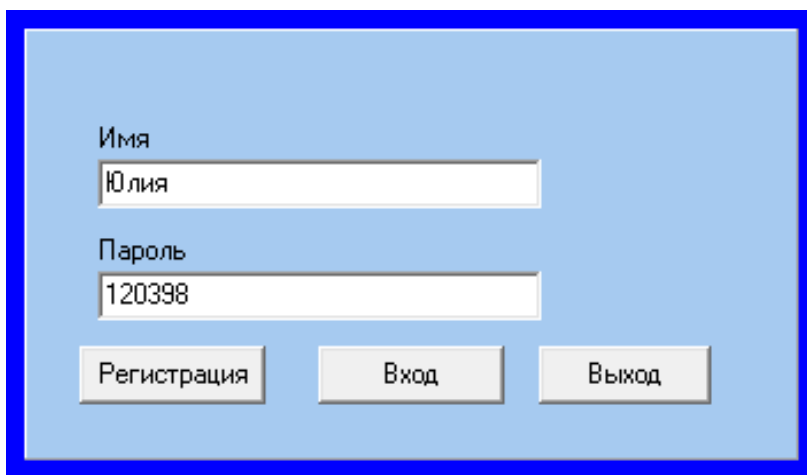
Обучение успешно пройдено!
Вы можете либо вернуться и зарегистрироваться еще раз для нового обучения, либо выйти из программы.

Завершить

Рис. 9. Итоговая форма.

Форма главного меню тренера.

Форма главного меню тренера реализована с помощью класса Form8 (рис. 10). Она содержит два поля ввода для данных тренера. Кнопка «Регистрация» позволяет перейти на форму регистрации тренера. Кнопка «Выход» возвращает пользователя на первую форму обучающей системы. Кнопка «Вход» дает возможность при правильно введенных данных перейти к форму редактирования обучения.



Имя
Юлия

Пароль
120398

Регистрация Вход Выход

Рис. 10. Форма главного меню тренера.

Форма регистрации тренера.

Форма регистрации тренера реализована с помощью класса Form9 (рис. 11). Она содержит тест для подтверждения профессиональности тренера, являющийся доступом к регистрации. В форме присутствуют два поля ввода данных тренера, и кнопка

«Зарегистрироваться», позволяющая зарегистрироваться и вернуться к форме главного меню тренера. Кнопка «Заккрыть» возвращает пользователя в форму главного меню тренера.

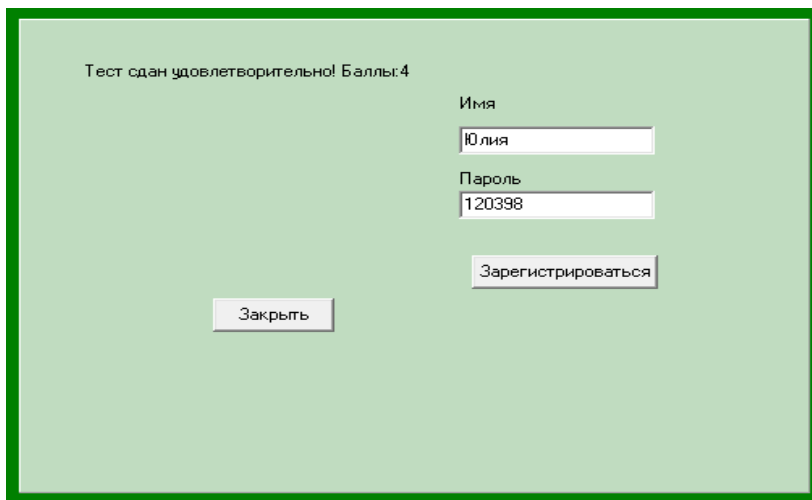


Рис. 11. Тестирование. Регистрация в форме регистрации тренера.

Форма редактирования обучения.

Форма редактирования обучения реализована с помощью класса Form10 (рис. 12, 13, 14). Она содержит два ComboBox для выбора урока, который необходимо редактировать, три панели для редактирования тестов, текстов уроков и иллюстраций.

На первой панели находится 7 полей ввода, которые содержат вопрос, три варианта ответа и баллы за каждый вариант, кнопки переключатели позволяют перелистывать все вопросы теста, кнопка «Сохранить тест» осуществляет сохранение измененного теста в исходном файле.

На второй панели находится одно текстовое поле ввода, которое содержит текст урока, кнопка «Сохранить урок» осуществляет сохранение измененного текста в исходном файле, кнопка «Создать урок» позволяет сформировать новый файл для текста урока. На третьей панели присутствуют картинки, предназначенные для выбранного урока. Кнопки-переключатели позволяют просмотреть все иллюстрации для урока.

Вид танца: КвикСтеп Номер урока: 1 Остановить редактирование

Тестирование **Обучение** Иллюстрации

ВСЕГО ЗАПИСЕЙ:

Вопрос 2

Работа ступни:

Ответ 1 Балл 1

1. Каблук, носок. 2. Носок. 3. Носок. 4. Носок, каблук. 5. Носок, каблук. 6. Каблук. 7. Каблук ПН, давление на носок ЛН. 1

Ответ 2 Балл 2

1. Носок, носок. 2. Каблук. 3. Носок, каблук. 0

Ответ 3 Балл 3

1. Носок, каблук. 2. Каблук. 3. Каблук, каблук. 0

< > Сохранить тест

Рис. 12. Редактирование теста в форме редактирования обучения.

Кнопка «Выбрать картинку, которую нужно удалить» дает возможность найти картинку, которую нужно изъять из базы данных иллюстраций.

Кнопка «Удалить» соответственно удаляет картинку из базы данных иллюстраций, кнопка «Добавить новую» и поле ввода обеспечивают добавление новой картинки в базе данных.

Кнопка «Остановить редактирование» возвращает пользователя на первую форму обучающей системы.

Вид танца: Номер урока:

Текст урока:

1. «ЧЕТВЕРТНЫЕ ПОВОРОТЫ» (Quarter Turns)
МУЖЧИНА

Шаг	Позиции ступней	Построение	Степень поворота	Подъем и снижение (корпус)
1	ЛН вперед	Лицом ДС	Начинайте поворот ВП	Начинайте подъем в конце 1-го шага
2	ЛН в сторону	Лицом к стене	1/8 между шагами 1 и 2	Продолжайте подъем на шагах 2 и 3
3	ПН приставляется к ЛН	Спиной ДС	1/8 между шагами 2 и 3	
4	ЛН в сторону и немного назад	Спиной ДС		Верх. Снижение в конце шага 4
5	ПН назад	Спиной ДС	Начинайте поворот ВЛ	
6	ЛН начинает приставляться к ПН		В направлении построения шага 7	Продолжайте поворот на каблук ПН («Каб-лучный пивот»)
7	ПН приставляется к ЛН с небольшим смещением вперед, без веса	Лицом ДС	1/4 между шагами 5-7	
8	ЛН вперед	Лицом ДС		

Работа ступни: 1. Каблук, носок. 2. Носок. 3. Носок. 4. Носок, каблук. 5. Носок, каблук. 6. Каблук. 7. Каблук ПН, давление на носок ЛН. 8. Каблук. (См. замечание 2).

П.Д.К.: на шагах 1, 5 и 8.

Наклон: б/н, ВП, б/н, ВП, б/н, ВП, б/н.

Ритм: МББММББМ.

Замечания:

1. Работа ступни. Если исполнение фигуры начинается лицом по ЛТ, то между шагами 1 и 2 делается поворот на 1/4 ВП, а между шагами 2 и 3 - на 1/8 ВП.
2. При исполнении 7-го шага давление на пол оказывается фактически подушечкой ЛН, при этом каблук ЛН лишь слегка приподнят над полом.

ДАМА

Шаг	Позиции ступней	Построение	Степень поворота	Подъем и снижение (корпус)
1	ЛН назад	Спиной ДС	Начинайте поворот ВП	Начинайте подъем в конце 1-го шага, БПС
2	ПН в сторону	Указывая ДС	1/4 между шагами 1 и 2. Корпус поворачивается меньше	Продолжайте подъем на шагах 2 и 3

Рис. 13. Редактирование текста урока в форме редактирования обучения.

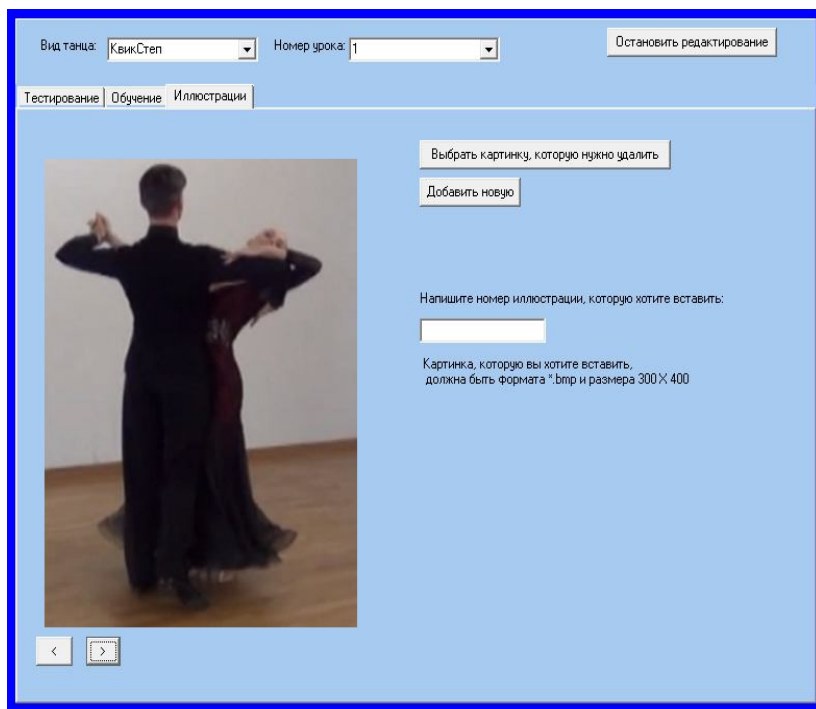


Рис. 14. Редактирование иллюстраций в форме редактирования обучения.

Разработка структуры базы тестов.

В результате проведенной работы было создано три базы данных: база данных уроков, база данных тестов и база данных иллюстраций. База данных уроков состоит из множества текстовых файлов, база данных тестов – из множества типизированных файлов, а база данных иллюстраций – из множества картинок формата *.bmp.

Ниже представлена структура одного из файлов базы данных тестов (рис. 15). На данный момент в системе 21 тестовый

файл, один из которых предназначен для регистрации тренера. В каждом тесте по 6 вопросов. Первая часть типизированного файла – комментарий и количество баллов, необходимое для получения той или иной отметки. Он предназначен для вывода оценки, полученной пользователем после прохождения тестирования. Всего существует 4 комментария и соответственно 4 оценки. Максимальное количество баллов – 6 (оценка отлично), а минимальное количество баллов – 3 и менее (тест не сдан).

<Комментарий и оценка за тестирование> (1)
<Количество баллов, необходимое для получения выше указанной оценки> (1)
<Комментарий и оценка за тестирование> (2)
<Количество баллов, необходимое для получения выше указанной оценки> (2)
<Комментарий и оценка за тестирование> (3)
<Количество баллов, необходимое для получения выше указанной оценки> (3)
<Комментарий и оценка за тестирование> (4)
<Количество баллов, необходимое для получения выше указанной оценки> (4)

Рис. 15. Структура комментария в тестовом файле.

Эта структура описывает следующий код программы (рис. 16):

```
comment=record
Letter:string[100]; //Комментарий
Bal:byte;           //Количество набранных баллов
end;
```

Рис. 16. Код программы 1. Описание структуры комментария в текстовом файле.

Комментарий ограничен строкой в 100 символов, а балл - типом byte.

Вторая часть – вопросы. Каждый вопрос содержит вопрос, три варианта ответа и баллы за каждый из них. Все варианты ответов связаны в программе с RadioButton, поэтому при нажатии какой-либо кнопки пользователь может получить либо 1(правильный ответ), либо 0 баллов (неправильный ответ). Обучающая система считывает информацию из файла Test.tp и переносит каждый вопрос в тип zap, где вопрос – строка в 250 символов, а ответы (ограничено 250 символами) и баллы (ограничено 1 символом) за них в два массива строк.

<Вопрос 1>
<Ответ 1>
<Балл ответа 1>
<Ответ 2>
<Балл ответа 2>
<Ответ 3>
<Балл ответа 3>

Рис. 16. Структура вопросов в тестовом файле.

Эта структура описывает следующий код программы:

```
zap=record  
  Number: byte;           //Номер вопроса  
  QW: string[250];        //Вопрос  
  Ans: array [1..3] of string[250]; //Массив вариантов ответов  
  Bal: array [1..3] of string[1];  //Баллы за каждый ответ  
end;
```

Рис. 17. Код программы 2. Описание структуры вопросов в тестовом файле.

Разработка алгоритма тестирования пользователя.

За этот год я изменила алгоритм тестирования пользователя. Это связано с тем, что мне было необходимо добавить возможность редактирования базы данных тестов, что крайне неудобно с текстовыми файлами. Я заменила текстовые файлы на типизированные, что привело к необходимости изменить алгоритм тестирования пользователя.

Для этого я создала дополнительную программу, которая выполняла перепись из текстового файла в типизированный. В поле ввода необходимо указать точный путь нахождения текстового файла и его название. После нажатия кнопки «Переписать» по первоначальному пути к программе появляется типизированный файл с одноименным названием (рис. 18).

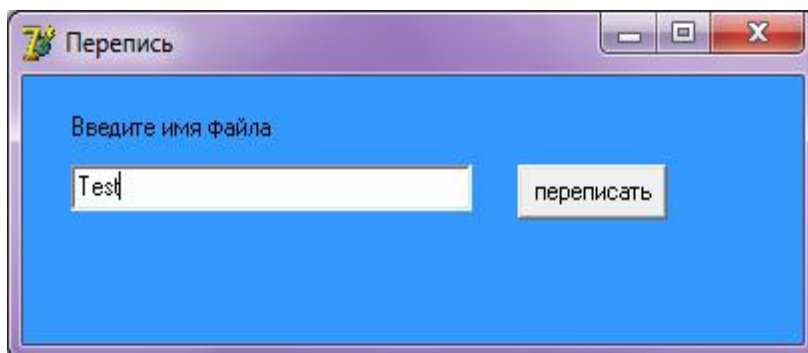


Рис. 18. Форма программы для переписи текстового файла в типизированный.

Кроме изменения алгоритма тестирования ученика я решила добавить регистрацию тренера в обучающей системе. Для того, чтобы неграмотный ученик не смог изменить базы знаний, я создала тест для преподавателя, успешно завершив который, он допускается к регистрации.

Метод тестирования и регистрации тренера состоит из двух этапов: тестирования и регистрации при удачном прохождении тестирования.

Тест для тренера хранится в типизированном файле Testo.tp и считывается каждый раз при попадании в форму регистрации. Допуск к регистрации тренера зависит от количества набранных баллов: 0-3 – не допускается, 4-6 – допуск получен. Если пользователь провалил тест, то появляется кнопка «Заккрыть», возвращающая его к главному меню тренера. Если пользователь удачно проходит тест, то появляются поля регистрации и кнопка «Зарегистрироваться». При нажатии кнопки «Зарегистрироваться» информация, введенная пользователем в поля ввода, сохраняется в

файл InfTR.pdf. После этого тренер является полноправным пользователем обучающей системы и имеет доступ к редактированию баз данных.

Алгоритм метода тестирования и регистрации тренера можно увидеть на рисунке 19. Эта схема алгоритма иллюстрирует данный кусочек программы (рис. 20, 21).

Аналогично работает метод тестирования учеников после каждого урока, только вместо появления полей регистрации осуществляется активация кнопки «Следующий урок», нажатие которой позволяет продолжить обучение.

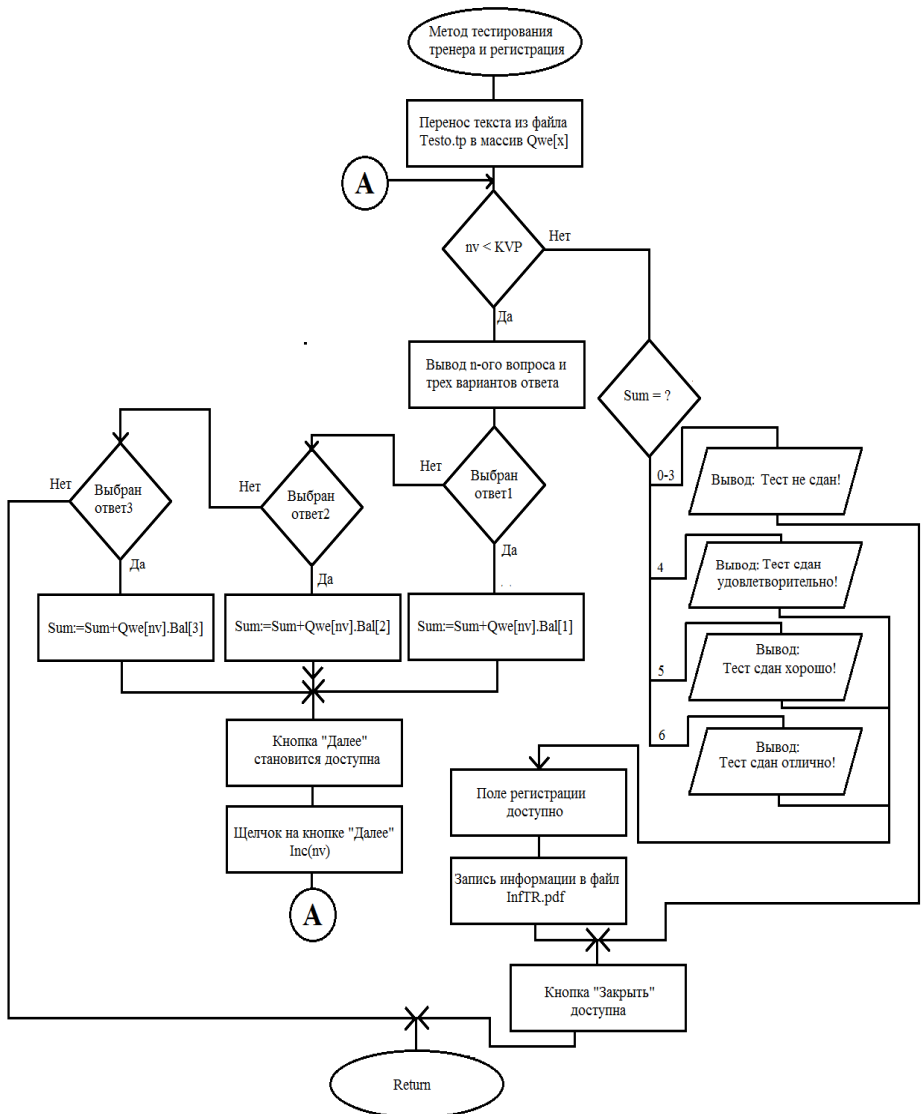


Рис. 19. Алгоритм метода тестирования и регистрации тренера.

```
var
  Form9: TForm9;
  f: file of zap;      //файл теста (вопросы и варианты ответов)
  right,KVP: integer;  //количество правильных ответов
  buf: string;
  Nv,Sum,Nm:byte;
  Qwe: array [1..100] of zap; //Массив тестирования для тренера
  z:zap;                //Переменная вопроса типа zap

  ft: file of zapTR;    //файл данных тренера
  zp:zapTR;

procedure OutFirst;
implementation
{$R *.dfm}
  // Проверка знаний для тренера

  // читает вопрос из файла и выводит его
  // на в поля формы
procedure NextQw;
begin
  inc(Nv);
  Form9.Label1.Caption:=Qwe[Nv].Qw;
  Form9.Label2.Caption:=Qwe[Nv].Ans[1];
  Form9.Label3.Caption:=Qwe[Nv].Ans[2];
  Form9.Label4.Caption:=Qwe[Nv].Ans[3];
end;
```

```
procedure OutFirst;
begin
    // прочитать название теста - первая строка файла
    assignfile(f, 'Testo.tp'); //Связывает переменную с конкретным именем файла
    reset(f); KVP:=0;
    while not eof(F)do //Запись вопросов в массив
        begin
            read(f,z); inc(KVP);
            Qwe[KVP].Qw := z.Qw;
            Qwe[KVP].Ans[1] := z.ans[1];
            Qwe[KVP].Bal[1] := z.bal[1];
            Qwe[KVP].Ans[2] := z.ans[2];
            Qwe[KVP].Bal[2] := z.bal[2];
            Qwe[KVP].Ans[3] := z.ans[3];
            Qwe[KVP].Bal[3] := z.bal[3];
        end;
    NextQW; // прочитать и вывести первый вопрос
    Form9.Button1.Enabled:=False;
    Form9.Button2.Visible:= False;
    Form9.RadioButton1.Visible:=True;
    Form9.RadioButton2.Visible:=True;
    Form9.RadioButton3.Visible:=True;
    Form9.RadioButton3.Visible:=True;
    Form9.Label2.Visible:=True;
    Form9.Label3.Visible:=True;
    Form9.Label4.Visible:=True;
    closefile(f);
end;
```

Рис. 20. Код программы3.

Алгоритм метода тестирования и регистрации тренера (1).


```

// щелчок по кнопке "Дальше"
procedure TForm9.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  if nv>KVP then
  begin
    RadioButton1.Visible:=false;
    RadioButton2.Visible:=false;
    RadioButton3.Visible:=false;
    RadioButton3.Visible:=false;
    Label2.Visible:=False;
    Label3.Visible:=False;
    Label4.Visible:=False;
    Button1.Visible:=False;
    Button2.Visible:= True;
    Form9.Button2.Visible:=True;
    Form9.Edit1.Visible:= True;
    Form9.Edit2.Visible:=True;
    Form9.Label5.Visible:=True;
    Form9.Label6.Visible:=True;
  end;
  if nv<KVP then
  begin
    If RadioButton1.Checked then Sum:=Sum+StrToInt(Qwe[nv].Bal[1]);
    If RadioButton2.Checked then Sum:=Sum+StrToInt(Qwe[nv].Bal[2]);
    If RadioButton3.Checked then Sum:=Sum+StrToInt(Qwe[nv].Bal[3]);
    NextQW;
    Form9.Button1.Enabled:=False;
  end
  else
  begin
    Case Sum of
      0..3: Label1.Caption:='Тест не сдан!'+ ' Баллы:'+inttostr(Sum);
      4: Label1.Caption:='Тест сдан удовлетворительно!'+ ' Баллы:'+inttostr(4);
      5: Label1.Caption:='Тест сдан хорошо!'+ ' Баллы:'+inttostr(5);
      6: Label1.Caption:='Тест сдан отлично!'+ ' Баллы:'+inttostr(6);
    end;
  if Sum<3 then
  begin
    Form9.Button2.Visible:=False;
    Form9.Edit1.Visible:= False;
    Form9.Edit2.Visible:=False;
    Form9.Label5.Visible:=False;
    Form9.Label6.Visible:=False;
    Form9.Button3.Visible:=True;
  end
  else
  begin
    Form9.Button2.Visible:=True;
    Form9.Edit1.Visible:= True;
    Form9.Edit2.Visible:=True;
    Form9.Label5.Visible:=True;
    Form9.Label6.Visible:=True;
    Form9.Button3.Visible:=True;
  end;
end;
end;

// щелчок на переключателе выбора первого варианта ответа
procedure TForm9.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
  Button1.Enabled := True; // кнопка Далее теперь доступна
end;

procedure TForm9.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
  Button1.Enabled := True; // кнопка Далее теперь доступна
end;

procedure TForm9.RadioButton3Click(Sender: TObject);
begin
  Button1.Enabled := True; // кнопка Далее теперь доступна
end;

```

Рис. 21. Код программы3. Алгоритм метода тестирования и регистрации тренера (2).

```
// Начало регистрации тренера
procedure Clev(z:zapTR);
begin
    assignfile(ft,'InfTR.pdf');//Связывает переменную с конкретным именем файла
    if filesearch('InfTR.pdf','')='' then rewrite(ft) else reset(ft);
    zp.Name:=form9.Edit1.Text;
    zp.Parol:=form9.Edit2.Text;
    write(ft,zp);
    closefile(ft);
end;

procedure TForm9.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    If (Edit1.Text='') or (Edit2.Text='') then Edit1.Text:='Ошибка'
    else
        begin
            Clev(zp);
            Form9.Visible:=False;
        end;
end;

procedure TForm9.Button3Click(Sender: TObject); // Закрытие формы регистрации
begin
    Form9.Visible:=False;
end;

end.
```

Рис. 22. Код программы 3. Алгоритм метода тестирования
и регистрации тренера (3).

Компоновка системы.

В итоге система реализована с использованием модульного подхода, где модуль является отдельной частью программы, которая допускает раздельную компиляцию и сборку с другими модулями. На рисунке 23 представлена схема компоновки и состав рабочей версии системы. **Первый модуль (Unit1)** содержит процедуры и функции, отвечающие за определение доступа пользователя к тому или иному разделу системы.

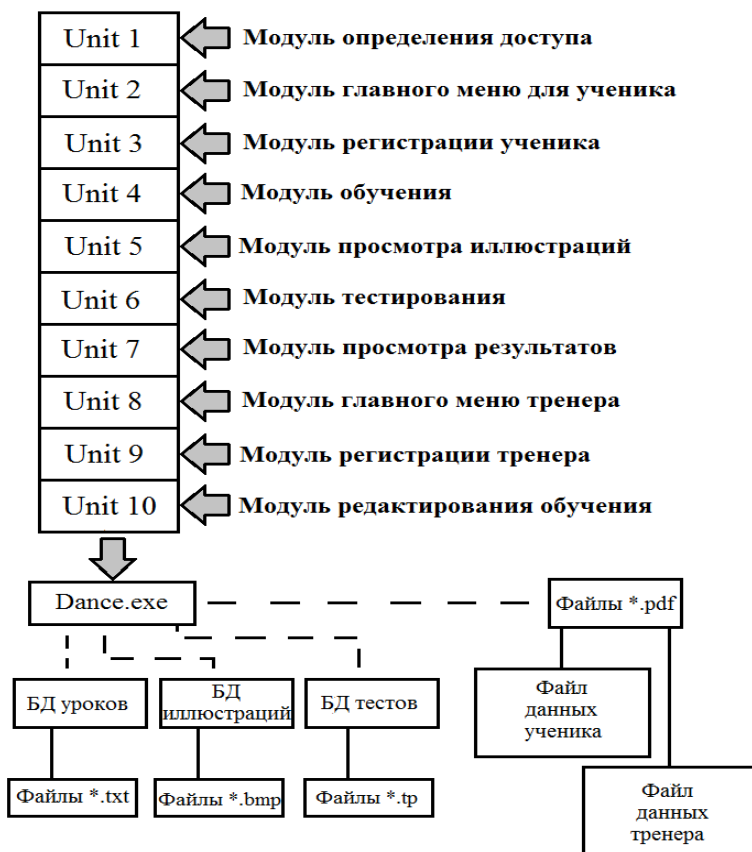


Рис. 23. Структурная схема компоновки системы.

Второй модуль (Unit2) содержит описание главного меню для ученика.

Третий модуль (Unit3) содержит процедуры и функции, отвечающие за регистрацию ученика в обучающей системе.

Четвертый модуль (Unit4) содержит процедуры и функции, отвечающие за вывод на экран текстов уроков, переход к модулям

просмотра иллюстраций и тестирования, а также к модулю просмотра результатов после завершения обучения.

Пятый модуль (Unit5) содержит процедуры и функции, отвечающие за просмотр иллюстраций.

Шестой модуль (Unit6) содержит процедуры и функции, отвечающие за вывод тестирования, смену вопросов, вывод результатов тестирования;

Седьмой модуль (Unit7) содержит процедуры и функции, отвечающие за вывод результатов после завершения обучения и возвращение к выбору танца;

Восьмой модуль (Unit8) содержит описание главного меню для тренера;

Девятый модуль (Unit9) содержит процедуры и функции, отвечающие за подтверждение возможности редактировать материал обучения и регистрацию тренера в обучающей системе;

Десятый модуль (Unit10) содержит процедуры и функции, отвечающие за редактирование уроков, тестов и иллюстраций для обучающей системы;

Файлы *.pdf содержат информацию о данных учеников («Файл данных ученика»(Inf.pdf)) и тренеров («Файл данных тренера»(InfTR.pdf));

Файлы *.txt содержат информацию, которую получает пользователь при обучении (lesson.txt содержит теорию необходимого урока);

Файлы *.bmp содержат картинки, необходимые для того или иного урока;

Файлы *.tp содержат информацию, которую получает пользователь при прохождении тестирования (Test.tp содержит вопросы, варианты ответа к каждому вопросу и баллы за них);

Выбор стратегии тестирования.

Тестирование — это проверка соответствия программы требованиям, осуществляемая путем наблюдения за ее работой в специальных искусственно созданных ситуациях, выбранных специальным образом.

Существует несколько способов тестирования. Наиболее популярными являются **тестирование черного ящика** и **тестирование белого ящика**.

При тестировании методом белого ящика разработчик теста имеет доступ к исходному коду программы. При тестировании методом черного ящика человек, тестирующий программу, имеет доступ только через интерфейс.

Кроме вышеописанных видов тестирования я использовала **оценочное тестирование** — тестирование, направленное на проверку соответствия основным требованиям пользователя. Целью этого тестирования является поиск несоответствий техническому заданию. Такое тестирование иногда называют «тестирование системы в целом», оно подразделяется на такие виды:

- Тестирование удобства использования;
- Тестирование на предельных объемах;

- Тестирование на предельных нагрузках;
- Тестирование удобства эксплуатации;
- Тестирование защиты;
- Тестирование производительности;
- Тестирование требований к памяти;
- Тестирование конфигурации оборудования;
- Тестирование совместимости;
- Тестирование удобства установки;
- Тестирование надежности;
- Тестирование восстановления;
- Тестирование удобства обслуживания;
- Тестирование документации;
- Тестирование процедуры;

Считают, что только после выполнения всех видов тестирования программный продукт может быть предоставлен пользователю. Однако на практике обычно выполняют не все виды оценочного тестирования, т.к. это очень дорого и трудоемко.

Для каждого типа программного обеспечения выбирают несколько необходимых пунктов и именно по ним осуществляют тестирование.

Для своей обучающей системы я выбрала тестирование удобства использования, тестирование на предельных объемах и тестирование конфигурации оборудования.

Тестирование удобства использования – последовательная проверка соответствия программного продукта и документации на него основным техническим требованиям. Для обучающей системы такими требованиями являются наличие понятного интерфейса, простота использования и правильная работа программного продукта.

В результате тестирования удобства использования было выявлено, что программа преждевременно выдает результат об окончании обучения (Form7), а также не выводит количество записей при редактировании базы данных тестов (Form10). Данные проблемы были устранены, что значительно улучшило интерфейс программы.

Тестирование на предельных объемах - проверка работоспособности программы на максимально больших объемах данных, например, объемах текстов, таблиц, большом количестве файлов и т.п. Для того чтобы протестировать программу на предельных объемах, были сгенерированы текстовые файлы lesson.txt объемом 1000 Кб и меньше.

Данные работы программы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Тестирование на предельных объемах.

№ опыта	Объем файла lesson.txt	Время загрузки файла
1	1000 Кб	> 10 минут
2	500 Кб	5 минут

3	250 Кб	1 минута
4	80 Кб	10 секунд
5	20 Кб	2 секунды
6	4 Кб	Меньше секунды

Тестирование конфигурации оборудования – проверка работоспособности системы на разном оборудовании.

При тестировании конфигурации оборудования сразу были исключены возможности работы программы на телефонных устройствах, планшетах и других карманных девайсах. Электронная обучающая система предназначена только для работы на ПК.

В ходе тестирования подходящих ОС было выявлено, что программа не работает с Mac OS и Linux. Ниже представлено сообщение об ошибке при открытии обучающей системы на Mac OS (рис. 24).

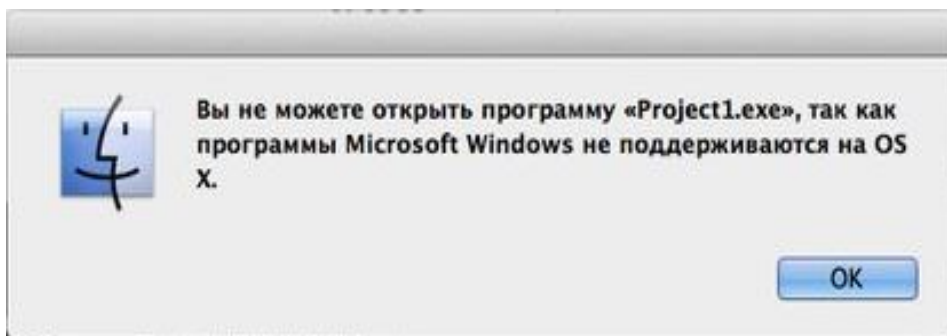


Рис. 24. Сообщение об ошибке при открытии обучающей системы на Mac OS.

Программа способна правильно работать со всеми Windows XP, Windows 7, Windows 8.

Заключение

В результате проделанной работы был создан прототип электронной обучающей системы по спортивно-бальным танцам. На данном этапе реализации программа требует 29Мб памяти. Код программы содержит 1525 строк кода.

Созданная обучающая система предназначена для обучения пользователя теории танца. Обучение при помощи системы в несколько раз сокращает время, которое тратит тренер на объяснение теории на уроках. Также обучающая система улучшает взаимопонимание тренера и ученика.

По сравнению с прошлым годом в программе появились:

- Блок редактирования баз данных;
- Модуль определения доступа к редактированию;

Были усовершенствованы:

- Метод тестирования пользователя;
- Метод поиска пути к программе;
- Форма обучения пользователя теории танца.

Литература:

1. О.А. Житкова и Е.К. Кудрявцева Бейсик и Паскаль от простого к сложному – Москва, 1998г. – 266с.

2. А.Я. Архангельский Delphi 2006 Справочное пособие – Москва, 2006г. – 1152с.
3. Кашаев С.М., Шерстнева Л.В. Паскаль для школьников. Подготовка к ЕГЭ. – СПб: БХВ-Петербург, 2010. –330с.
4. Федоров Ф.Г. Delphi для всех. -Москва: КомпьютерПресс, 1998.- 543с
5. http://studopedia.ru/3_80805_otsenochnoe-testirovanie.html

**Программа-тренажер для обучения школьников приемам
решения задач с параметрами**

КАБЕНКОВ Александр Сергеевич

г. Москва, ГБОУ СОШ №444, 11 класс

Научный руководитель:

Рудаков Игорь Владимирович,

доц., зав. каф. «Программное обеспечение

ЭВМ и информационные технологии»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение. Постановка проблемы.

Задачи с параметрами часто являются серьезным камнем преткновения для многих школьников, которым предстоит решать их на ЕГЭ или при поступлении в вуз. Поэтому для успешного и уверенного решения такой задачи на экзамене ученику необходимо натренироваться на достаточном количестве упражнений.

Одной из первых ступеней на пути к изучению задач с параметрами являются задачи о корнях квадратного уравнения. Эти задачи являются одними из самых простых задач с параметрами.

Конечно, существует масса опубликованных вариантов ЕГЭ, сборников, в которых предлагаются самые разнообразные задачи с параметрами, многие из них с ответами, которые позволяют ученику проверять правильность своего решения. Но дойти до этапа сверки своего результата и правильного ответа школьникам часто

бывает трудно, поэтому многие ученики боятся приступать к задачам с параметрами, не верят в свои силы. К примеру, в 2013 году на ЕГЭ по математике к выполнению части С не приступили 36,0% выпускников по всей стране, к задаче с параметрами (С5) - и того больше. Действительно, трудно посадить рядом с каждым школьником преподавателя, который помогал бы, подсказывал в трудных ситуациях, корректировал решение. В век информационных технологий, когда почти у каждого появился персональный компьютер, он может взять на себя часть функций преподавателя. В связи с этим появилась необходимость разработать компьютерную программу-тренажер, которая генерировала бы случайную задачу с параметрами и решала ее, но не для того, чтобы показать ученику готовый ответ, а чтобы сопровождать школьника на всех этапах решения, подтверждая верные шаги, находя ошибки и указывая на них.

Цель предлагаемого проекта – разработка программы-тренажера, способной генерировать задачу и сопровождать пользователя по решению, подтверждая верные шаги и находя ошибки.

В конце работы над задачей программа будет выдавать ученику отчет о тех вопросах, с которыми ему следует еще поработать. Алгоритм осуществляет все вычисления в обыкновенных дробях, что делает тренажер точным. В программе также имеется теоретический материал, иллюстрирующий один из методов решения подобных задач с параметрами. Этот же метод используется и в самой программе. В качестве инструмента для

разработки алгоритма использовалась среда программирования Delphi.

Построенная программа-тренажер выгодно отличается от аналогичных математических инструментов. Например, такой мощный математический пакет как WolframAlpha хотя и предлагает пошаговое решение задачи, но это готовые ответы. Ученику не приходится делать усилий, чтобы получить решение самостоятельно.

Созданный программный продукт – полезный помощник для учеников и учителей.

Содержание работы.

Задачи с параметрами представляют собой весьма широкое поле для полноценной математической деятельности, во всяком случае, более широкое, чем многочисленные алгоритмические задачи, которыми наполнены школьные учебники.

Цель работы – создание программы-тренажера для практики решения узкого класса задач с параметрами трех видов:

- 1) «Найти все значения параметра a , при которых оба корня квадратного уравнения

$$Ax^2 + Bx + C = 0 \tag{1}$$

больше заданного числа M , где A, B, C – некоторые функции параметра a ».

- 1) «Найти все значения параметра a , при которых оба корня квадратного уравнения

$$Ax^2 + Bx + C = 0 \quad (2)$$

меньше заданного числа M , где A, B, C – некоторые функции параметра a ».

- 2) «Найти все значения параметра a , при которых заданное число M находится между корнями квадратного уравнения

$$Ax^2 + Bx + C = 0, \quad (3)$$

Конечно, перечисленные выше задачи далеко не исчерпывают весь круг задач с параметрами, но являются первым шагом школьника на пути приобретения опыта для решения более сложных задач с параметрами в будущем.

Методы решения задач (1), (2), (3) подробно изложены в пособии [2], но, тем не менее, кратко опишем идеи решения каждой из задач (1), (2), (3).

С первого взгляда представляется естественным, найдя корни квадратичной функции (если они существуют), сопоставить их с заданной точкой. Заметим, что этот путь оправдан лишь в тех случаях, когда нам повезет – дискриминант квадратичной функции окажется полным квадратом. Но мы не будем тренировать школьников такими комфортными задачами, наши дискриминанты не будут полными квадратами.

К примеру, в задаче (1) можно перейти к системе неравенств (4):

$$\begin{cases} D > 0, \\ x_1 > M, \\ x_2 > M. \end{cases} \quad (4)$$

Совершенно очевидно, что решение системы (4) связано с немалыми техническими трудностями, поэтому для решения обсуждаемых задач выбранный подход не оправдан.

Рациональный путь решения основан на простой геометрической интерпретации условия задачи.

Обозначим левую часть исходного уравнения через $f(x)$. Парабола $y=f(x)$ должна пересекать ось абсцисс в двух точках. Ветви параболы могут быть направлены и вверх и вниз (рис. 1).

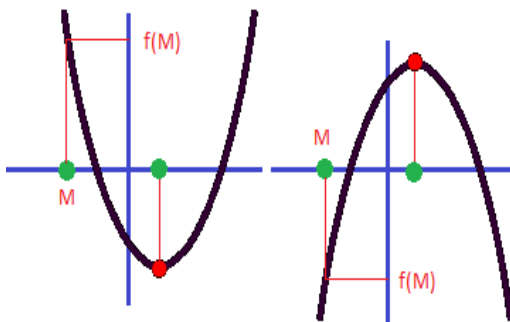


Рис. 1. Графики интерпретации условия задачи.

Если ветви параболы направлены вверх ($A(a) > 0$), то

$$f(M) > 0.$$

Если ветви параболы направлены вниз ($A(a) < 0$), то

$$f(M) < 0.$$

Но в любом случае

$$A(a) \cdot f(M) > 0. \quad (5)$$

Неравенство (5) позволяет не рассматривать отдельно два случая.

В условии задачи (1) говорится об обоих корнях, поэтому появляется естественное требование

$$D > 0. \quad (6)$$

Выполнения условий (5) и (6) недостаточно для того, чтобы оба корня оказались больше заданного числа M .

На рисунке 2 условия (5) и (6) выполняются, однако оба корня меньше M . Окончательно зафиксирует точку M в нужном положении неравенство

$$M < x_0, \text{ где } x_0 = -\frac{B(a)}{2A(a)}. \quad (7)$$

В работе [1] доказаны утверждения:

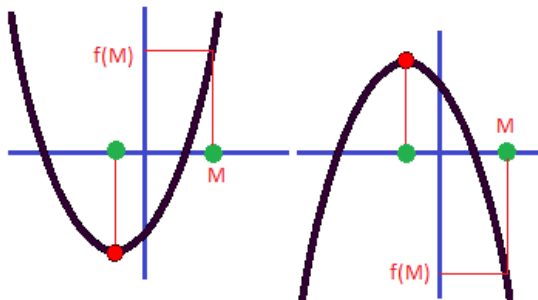


Рис. 2. Графики при выполнении условий (5) и (6).

Утверждение 1. Для того, чтобы число M было меньше корней квадратичной функции $y = Ax^2 + Bx + C$, необходимо и достаточно выполнение следующей системы неравенств:

$$\begin{cases} A \cdot f(M) > 0, \\ D > 0, \\ M < -\frac{B}{2A}. \end{cases} \quad (8)$$

Утверждение 2. Для того, чтобы число M было больше корней квадратичной функции $y = Ax^2 + Bx + C$, необходимо и достаточно выполнение следующей системы неравенств:

$$\begin{cases} A \cdot f(M) > 0, \\ D > 0, \\ M > -\frac{B}{2A}. \end{cases} \quad (9)$$

Утверждение 3. Для того, чтобы число M находилось между корнями квадратичной функции $y = Ax^2 + Bx + C$, необходимо и достаточно выполнение следующего неравенства:

$$A \cdot f(M) < 0. \quad (10)$$

Решение систем (8), (9) и (10) представляется хотя и трудной, но вполне решаемой задачей для программиста. Имя на вооружении утверждения 1-3, можно перейти к созданию программы, которая будет сначала находить точное решение систем неравенств (8) - (10), а затем помогать ученику справляться с задачей.

На ранних этапах разработки программы планировалось предусмотреть 16 случаев, приведенных в таблице 1.

Таблица 1.Различные варианты 16 случаев.

№ случая	А	В	С	М
1	трехчлен	двучлен	число	число
2	трехчлен	число	число	число
3	двучлен	двучлен	число	число
4	двучлен	двучлен	двучлен	число
5	двучлен	число	число	число
6	двучлен	число	двучлен	число
7	число	двучлен	двучлен	число
8	число	двучлен	трехчлен	число
9	число	двучлен	число	число
10	число	число	двучлен	число
11	число	число	трехчлен	число
12	число	двучлен	двучлен	двучлен
13	число	двучлен	трехчлен	двучлен

№ случая	А	В	С	М
14	число	двучлен	число	двучлен
15	число	число	двучлен	двучлен
16	число	число	трехчлен	двучлен

Случаи, приведенные в таблице 1, были составлены так, чтобы в ходе решения возникали неравенства не выше второй степени, поскольку для поиска решения неравенства более высокой степени требует значительных усилий не только от пользователя будущей программы, но и от программиста, которому пришлось бы реализовывать более сложные алгоритмы решения кубических неравенств.

При этом для пользователя это лишь усложнит выкладки, а цель нашей работы – не столько научить школьника выполнять алгебраические преобразования, а сколько дать школьнику «почувствовать» динамику задач с параметром.

В настоящий момент в программе реализован только случай №1 из таблицы 1. Остальные 15 случаев дают возможность развивать предлагаемый проект. Пока же остановимся на случае 1:

$$A = Pa^2 + Qa + R; \quad B = ka + p_1; \quad C \quad (11)$$

Программа генерирует случайные коэффициенты А, В, С в соответствии с формулой (11), решает одну из задач видов (1), (2), (3) и сопровождает пользователя по ходу решения. В конце работы

школьника над задачей, программа выдает протокол, где указаны места, в которых пользователь допустил ошибки, либо подтверждает их отсутствие.

В качестве среды программирования использовалась Delphi, так она удобна в использовании, предоставляет программисту возможность использовать нестандартные типы данных и позволяет создавать приложения Windows.

Методы решения проблемы.

Приближенное решение задачи с параметром было бы легко осуществить, используя методы вычислительной математики, но для поставленной цели это не подойдет, ведь достоверно проверить решение ученика можно только имея точное решение поставленной задачи. Поэтому были созданы нестандартные типы данных (таблица 2).

Таблица 2. Типы данных.

Тип	Описание
TFraction=Record num, denum, sign:integer; end;	Тип для хранения обыкновенных дробей. В общем виде записывается: $sign \cdot \frac{num}{denum}$ Включает в себя поля: • Num – числитель дроби, целое число, больше либо равно 0; • Denum – знаменатель дроби, целое число, больше 0; • Sign – знак дроби, целое число. Если дробь отрицательна, то значение <i>sign</i> равно -1, в противном случае 1.

<pre> TKKU=Record num1,num2,denum1:Tfraction; sign1:integer; end;</pre>	Тип для хранения корней квадратного уравнения. В общем виде записывается: $\frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} = \frac{num1 + sign1 \cdot \sqrt{num2}}{denum1}$ Включает в себя поля: • Num1 – поле для хранения числа $-b$; • Num2 – поле для хранения числа D. • Denum1 – поле для хранения $2a$; следует строго следить, чтобы числитель этого поля был всегда отличен от нуля; • Sign1 – знак, стоящий перед квадратным корнем. Построенный таким образом тип обеспечивает точное решение квадратных уравнений и неравенств с рациональными коэффициентами.
<pre> Tinterval=record left,right:TKKU; empty:boolean; end;</pre>	Тип для хранения открытого интервала или пустого множества. Включает в себя поля: • Left – левый край интервала, вида (12); • Right – правый край интервала, вида (12); • Empty – флаг; если значение поля равно <i>true</i>, то переменная этого типа обозначает пустое множество, в противном случае – интервал с данными краями. Договоримся, что если $left.sign1=0$, то левый край интервала положим равным $-\infty$; если $right.sign1=0$, то правый край интервала положим равным $+\infty$. Таким образом, в переменных этого типа мы можем хранить:

	$\emptyset, (a; b), (-\infty; b), (a; +\infty), (-\infty; +\infty)$.
TSet=array[1..27] of Tinterval;	Тип для хранения конечного множества интервалов, массив из 27 элементов. Будет использоваться для записи решения системы неравенств. Почему 27 элементов массива будет достаточно – обсудим позднее.
TSignum=array[1..5] of integer;	Тип для хранения знаков, которые определяются при решении неравенства методом интервалов. Пяти элементов массива достаточно для решения неравенства четвертой степени.

В программе используются следующие формы (таблица 3).

Таблица 3. Описание форм.

Название формы	Описание
Главная форма	На этой форме расположены кнопка «Настройки», кнопка «Сгенерировать задачу» и поле для вывода условия сгенерированной задачи.
Настройки	На этой форме пользователь может настроить сложность задачи, а также выбрать, какие типы задач будут генерироваться.
Шаг 1	На этой форме пользователь выбирает чертежи, которые помогают составить систему неравенств, соответствующую поставленной задаче.
Шаг 2	На этой форме пользователь выбирает среди множества ложных одну из систем в общем виде (8), (9), (10), соответствующую поставленной задаче.
Шаг 3	Пользователь составляет конкретную систему неравенств, соответствующую системе в общем виде, которую он выбрал на предыдущем шаге.

	Затем сверяет свою систему с системами, предлагаемыми на этой форме, и выбирает правильную на его взгляд систему.
Шаг 4	Пользователь решает неравенство (5) и ищет правильный ответ среди предлагаемых программой.
Шаг 5	Пользователь решает неравенство (6) и ищет правильный ответ среди предлагаемых программой.
Шаг 6	Пользователь решает неравенство (7) и ищет правильный ответ среди предлагаемых программой.
Шаг 7	Пользователь находит пересечение множеств, полученных при решении неравенств (5)-(7) и ищет правильный ответ среди предлагаемых программой.
Подведение итогов	Пользователь может посмотреть, на каких шагах он допустил ошибки, а также узнать их количество. Затем может вернуться на главную форму и сгенерировать другую задачу.

Особенности реализации алгоритма.

Процесс генерации случайной задачи.

Когда пользователь нажимает на кнопку «Сгенерировать задачу», выполняются следующие шаги:

- Генерируются 2 случайных рациональных числа a_1 и a_2 .

Составляем трехчлен $A(a)$ так, чтобы числа a_1 и a_2 оказались его корнями, для этого пользуемся теоремой Виета.

Функцию $f(x)$ ищем в виде

$$f(x) = (Pa^2 + Qa + R)x^2 + (ka + p_1)x + C. \quad (12)$$

Коэффициенты k, p_1, C и число M подберем таким образом, чтобы корни уравнения $f(M)=0$ были рациональными числами.

$$\begin{aligned} f(M) &= (P\alpha^2 + Q\alpha + R)M^2 + (k\alpha + p_1)M + C = \\ &= \alpha^2(PM^2) + \alpha(QM^2 + kM) + (RM^2 + C + p_1M). \end{aligned} \quad (13)$$

Положим

$$M = \frac{1}{\sqrt{P}} \quad (14)$$

Тогда

$$f(M) = \alpha^2 + \alpha(QM^2 + kM) + (RM^2 + C + p_1M). \quad (15)$$

- Генерируются 2 случайных рациональных числа a_3 и a_4 – будущие корни многочлена $f(M)$. По теореме, обратной теореме Виета,

$$a_3 + a_4 = -(QM^2 + kM) = -\frac{Q}{P} - kM, \quad (16)$$

$$a_3 + a_4 + \frac{Q}{P} = -kM, \quad (17)$$

$$k = \frac{a_3 + a_4 + \frac{Q}{P}}{-M} = - \quad (18)$$

Также, по теореме, обратной теореме Виета

$$a_3 \cdot a_4 = RM^2 + p_1M + C, \text{ откуда} \quad (19)$$

$$C = a_3 \cdot a_4 - RM^2 - p_1 M = a_3 \cdot a_4 - \frac{R}{P} - p_1 M, \quad (20)$$

где p_1 – любое рациональное число.

Таким образом, подобран двучлен $B(a)$:

$$B(a) = ka + p_1. \quad (21)$$

где p_1 – рациональное число, выбираемое случайным образом, а k определяется из формулы (19). Коэффициент C определяется из формулы (21).

Итак, мы построили

$$f(x) = (Pa^2 + Qa + R)x^2 + (ka + p_1)x + C. \quad (22)$$

При этом числа a_1 и a_2 – корни трехчлена $Pa^2 + Qa + R$, а числа a_3 и a_4 – корни трехчлена $f(M)$. Тем самым мы добились, чтобы решения неравенств

$$A(a) \cdot f(M) > 0 \quad (23)$$

$$A(a) \cdot f(M) < 0$$

представляли собой объединение интервалов с рациональными краями.

- В соответствии с построенной $f(x)$ (формула (22)) и с выбором пользователем варианта задачи (1) – (3), на главную форму выводится сгенерированная задача, например: «Найти все значения параметра a , при которых все корни уравнения

$$(-a^2 - 4a - 4)x^2 + (-7a)x + 2 = 0 \text{ меньше } -1.$$

Поиск решения задачи

Для того, чтобы достаточно точно локализовать ошибки пользователя, решение задачи было разбито на достаточно мелкие шаги, описанные в таблице 3.

- Решение неравенств (23) в программе реализуется методом интервалов. Алгоритм метода интервалов в общем случае показан в блок-схеме (рис. 3). Корни a_1 , a_2 , a_3 и a_4 записываются в массив рациональных дробей. Этот массив сортируется по возрастанию пузырьковым алгоритмом и «сжимается»: если два или более корней совпадают, то все совпадающие элементы массива, кроме одного, удаляются, количество элементов массива уменьшается.
- Далее определяются знаки функции (23) на интервалах, на которые элементы массива разбивают числовую прямую. Для этого для каждого интервала находится рациональное число, принадлежащее этому интервалу. Его знак записывается в массив типа Tsignum.
- В зависимости того, какое из неравенств (23) решается, нам нужно записать в ответ интервалы, которые соответствуют нужным знакам в массиве типа Tsignum. Таким образом, неравенство (23) решено, верный ответ передается на форму «Шаг 4», а составленное неравенство (23) передается на форму «Шаг 3».
- На следующем этапе программа находит дискриминант трехчлена (12).

$$D(a) = (ka + p_1)^2 - 4C(Pa^2 + Qa + R). \quad (24)$$

Корни трехчлена $D(a)$ могут оказаться иррациональными, поэтому для их нахождения и хранения используется тип ТККУ, описанный в формуле (12).

Корни трехчлена $D(a)$ вычисляются, делается попытка частично извлечь квадратный корень, если это возможно. Выражения упрощаются.

В зависимости от количества корней трехчлена $D(a)$ и направления ветвей соответствующей параболы, возникают шесть случаев, в каждом из которых неравенство легко решается. Ответ формируется и отправляется на форму «Шаг 5», а составленное неравенство (24) передается на форму «Шаг 3».

- На следующем этапе программа решает третье неравенство системы (8) или (9). Например, для задачи (2) (система (9)) решение третьего неравенства имеет вид:

$$-\frac{B}{2A} < M, \quad (25)$$

$$-\frac{B}{2A} - \frac{2MA}{2A} < 0,$$

$$\frac{B + 2MA}{A} > 0,$$

$$(B + 2MA) \cdot A > 0, \text{ где} \quad (26)$$

$$A = Pa^2 + Qa + R, B = ka + p_1,$$

$$(B + 2MA) = ka + p_1 + 2M(Pa^2 + Qa + R). \text{ На}$$

$$a^2(2MP) + a(2MQ + k) + (p_1 + 2MR) = 0. \quad (27)$$

Обозначим $fr_1 = 2MP, fr_2 = 2MQ + k, fr_3 = p_1 + 2MR$,
тогда

$$\hat{D} = fr_2^2 - 4 \cdot fr_1 \cdot fr_3.$$

$\hat{D}$ может оказаться иррациональным, поэтому для нахождения и хранения корней уравнения (27) также используется тип TKKU, описанный в формуле (12).

Корни уравнения (27) вычисляются, делается попытка частично извлечь квадратный корень, если это возможно. Выражения упрощаются, а корни трехчлена A уже известны, так как они генерируются в самом начале алгоритма. Решение неравенства (26) осуществляется методом интервалов, аналогично решению неравенства (23).

Ответ формируется и отправляется на форму «Шаг 6», а составленное неравенство (26) передается на форму «Шаг 3».

Также с помощью приложения *Htm2chm* был подготовлен файл справки, который демонстрирует работу программы на конкретном примере, и является своеобразной инструкцией для

пользователя. Эта справка вызывается из меню программы с помощью Api-функции *ShellExecute*.

Меню «Помощь» тренажера дополнено ссылкой на видео, выложенное на Youtube, которое демонстрирует работу программы.

Пример работы программы см. в Приложении.

Заключение.

Поставленная в проекте цель в основном достигнута: разработана программа-тренажер, которая тренирует школьников приемам решения задач с параметрами. Эта программа генерирует случайную задачу с параметрами и сопровождает школьника на всех этапах решения, подтверждая верные шаги, находя ошибки и указывая на них.

Алгоритм осуществляет все вычисления в рациональных дробях и в числах вида

$$p \pm q\sqrt{n}, \text{ где } p, q \in Q, n \in N.$$

Это делает тренажер точным.

Также подготовлена справка, которая демонстрирует работу программы на конкретном примере и является своеобразной инструкцией для пользователя.

Построенный программный продукт – полезный помощник для учеников и учителей. Программа была предложена нескольким учителям математики, и они нашли ее довольно интересной и полезной. От них были получены ценные советы по совершенствованию программы.

Был получен положительный отзыв о программе от ведущего программиста Фирмы Industrial Measurements System (IMS) Промышленные Измерительные Системы (Израиль), руководителя отдела математического моделирования производственных процессов, кандидата технических наук, Зельцера Ефима Яковлевича.

Проект имеет широкие горизонты для дальнейшего развития и внедрения.

Литература:

1. Г.В. Дорофеев. (1991). Квадратный трехчлен в задачах. Львов.
2. П.И. Горнштейн, В. М. (2005). Задачи с параметрами. Москва: Илекса.
3. Статистика ЕГЭ. (2014). Получено из Официального информационного портала единого государственного экзамена: <http://ege.edu.ru/ru/main/satistics-ege/>

Приложение. Пример работы пользователя с программой.

- Пусть тренажер сгенерировал следующую задачу (рис. 1).

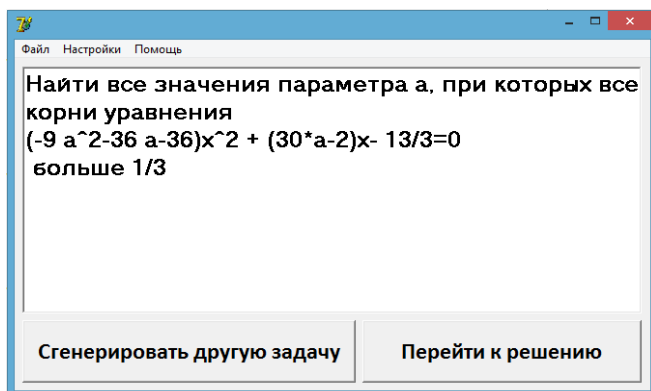


Рис. 1. Генерация задачи.

В программе приняты следующие обозначения:

Таблица 1. Текстовый эквивалент формулы в программе.

Элемент формулы	Текстовый эквивалент формулы в программе
x^2	x^2
$\sqrt{\text{Выражение}}$	Корень (Выражение)
∞	Бесконечность
$\frac{a}{b}$	a/b

Ученику следует переписать поставленную задачу себе в тетрадь. Далее пользователь щелкает на кнопку «Перейти к решению», откроется форма «Шаг 1» (рис. 2).

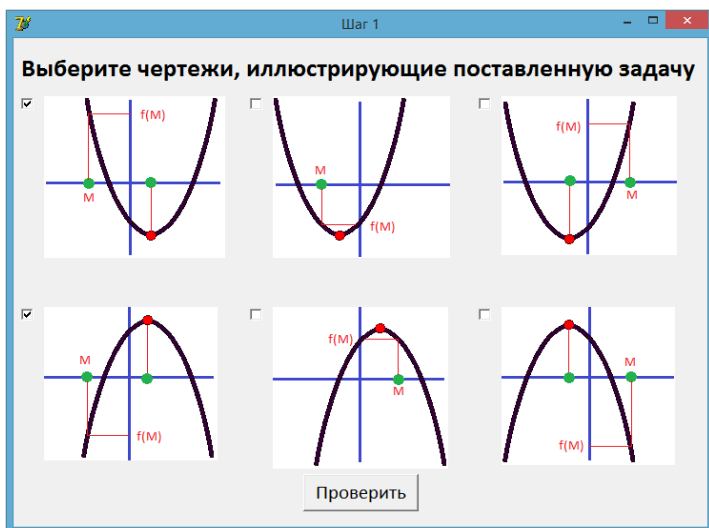


Рис. 2. Решение, шаг 1.

На этом шаге пользователю следует отметить чертежи, которые соответствуют положению точки M относительно корней уравнения в данной задаче. Поскольку по условию задачи оба корня уравнения должны быть больше M , отмечаем соответствующие варианты ответов. Далее щелкаем по кнопке «Проверить».

- Если пользователем допущена ошибка, то появляется сообщение «Неверно», а номер текущего шага и количество ошибок на этом шаге запоминается программой. Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.
- Открывается форма «Шаг 2» для выбора системы неравенств в общем виде, отвечающей поставленной задаче.

Очевидно, что это задача вида (1), поэтому, согласно Утверждению 1, задача равносильна системе неравенств

$$\begin{cases} A \cdot f(M) > 0, \\ D > 0, \\ M < -\frac{B}{2A}. \end{cases} \quad (8)$$

Отмечаем ее на форме (рис. 3).

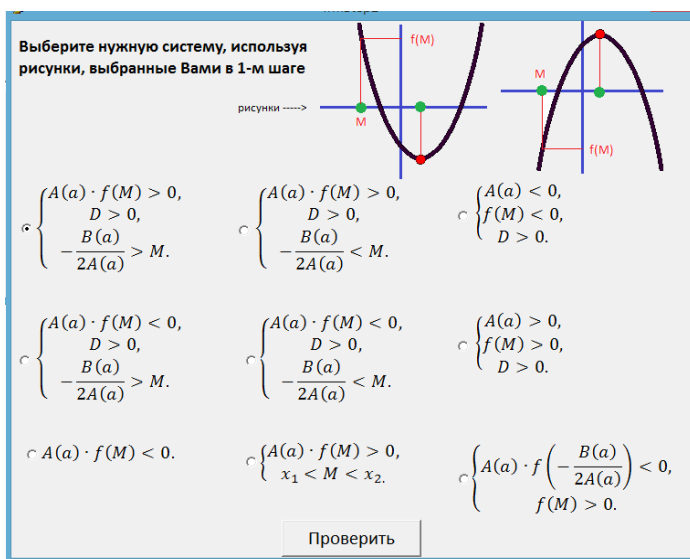


Рис. 3. Фрагмент программы.

Как и на предыдущем шаге, если пользователь выбрал неверную систему неравенств, то появляется сообщение «Неверно». Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.

Теперь составляем систему неравенств.

$$A(a) = -9(a^2 + 4a + 4) = -9(a + 2)^2.$$

$$f(M) = f\left(\frac{1}{3}\right) = -a^2 - 4a - 4 + 10a - \frac{2}{3} - \frac{13}{3} = -a^2 + 6a - 9 = -(a - 3)^2.$$

Таким образом, первое неравенство системы принимает вид

$$(a + 2)^2(a - 3)^2 > 0.$$

Дискриминант:

$$\begin{aligned} D &= 900a^2 - 120a + 4 + \frac{52}{3}(-9a^2 - 36a - 36) = \\ &= 900a^2 - 120a + 4 - 3 \cdot 52a^2 - 12 \cdot 52a - 12 \cdot 52 = \\ &= 744a^2 - 744a - 620 = 124(6a^2 - 6a - 5). \end{aligned}$$

Тогда второе неравенство принимает вид:

$$6a^2 - 6a - 5 > 0.$$

Составим третье неравенство системы:

$$\begin{aligned} M &< -\frac{B}{2A}; \\ \frac{1}{3} &< \frac{2 - 30a}{2(-9a^2 - 36a - 36)}; \\ \frac{1}{3} &< \frac{1 - 15a}{-9a^2 - 36a - 36}; \end{aligned}$$

$$\frac{1}{3} < \frac{15a - 1}{9a^2 + 36a + 36};$$

$$\frac{15a - 1}{3a^2 + 12a + 12} > 1;$$

$$\frac{15a - 1}{3a^2 + 12a + 12} > \frac{3a^2 + 12a + 12}{3a^2 + 12a + 12};$$

$$\frac{15a - 1}{3a^2 + 12a + 12} - \frac{3a^2 + 12a + 12}{3a^2 + 12a + 12} > 0;$$

$$\frac{15a - 1 - 3a^2 - 12a - 12}{3a^2 + 12a + 12} > 0;$$

$$\frac{-3a^2 + 3a - 13}{a^2 + 4a + 4} > 0;$$

$$(3a^2 - 3a + 13)(a + 2)^2 < 0.$$

Таким образом, система неравенств принимает вид:

$$\begin{cases} (a + 2)^2(a - 3)^2 > 0, \\ 6a^2 - 6a - 5 > 0, \\ (3a^2 - 3a + 13)(a + 2)^2 < 0. \end{cases}$$

На форме «Шаг 3» выбираем соответствующую систему среди нескольких предложенных и жмем кнопку «Проверить».

Следует обратить внимание на то, что система неравенств, полученная пользователем, может внешне отличаться от правильной системы на форме. Но пользователю не составит большого труда отыскать на форме нужную систему (рис. 4).

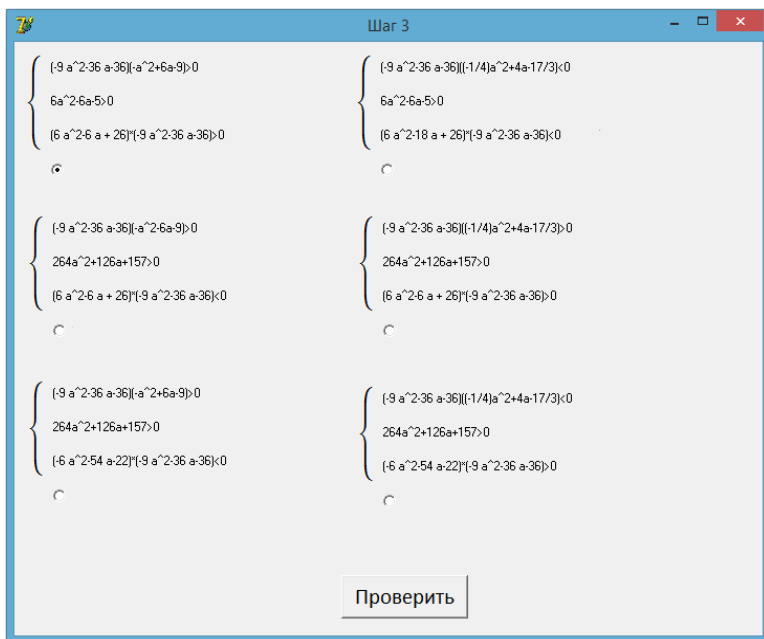


Рис. 4. Решение, шаг 3.

Если пользователь выбрал неверную систему неравенств, то появляется сообщение «Неверно». Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.

Теперь пользователю предстоит решить первое неравенство системы (рис. 5).

$$(a + 2)^2(a - 3)^2 > 0,$$

$$a \in (-\infty; -2) \cup (-2; 3) \cup (3; +\infty).$$

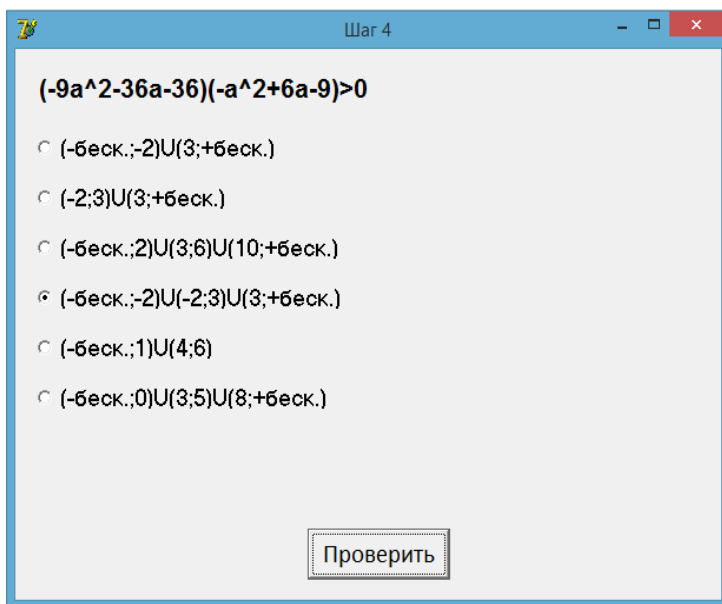


Рис. 5. Решение, шаг 4.

На форме «Шаг 4» выбираем соответствующее множество среди нескольких предложенных и жмем кнопку «Проверить».

Если пользователь выбрал неверный ответ, то появляется сообщение «Неверно». Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.

Теперь решаем второе неравенство – о дискриминанте:

$$6a^2 - 6a - 5 > 0,$$

$$\widehat{D} = 36 + 120 = 156 = 4 \cdot 39.$$

Корни квадратного трехчлена:

$$a_1 = \frac{6 - 2\sqrt{39}}{12} = \frac{3 - \sqrt{39}}{6},$$

$$a_2 = \frac{6 + 2\sqrt{39}}{12} = \frac{3 + \sqrt{39}}{6}.$$

Нетрудно видеть, что

$$a \in \left(-\infty; \frac{3 - \sqrt{39}}{6} \right) \cup \left(\frac{3 + \sqrt{39}}{6}; +\infty \right).$$

На форме «Шаг 5» выбираем соответствующее множество среди нескольких предложенных и нажимаем кнопку «Проверить» (рис. 6).

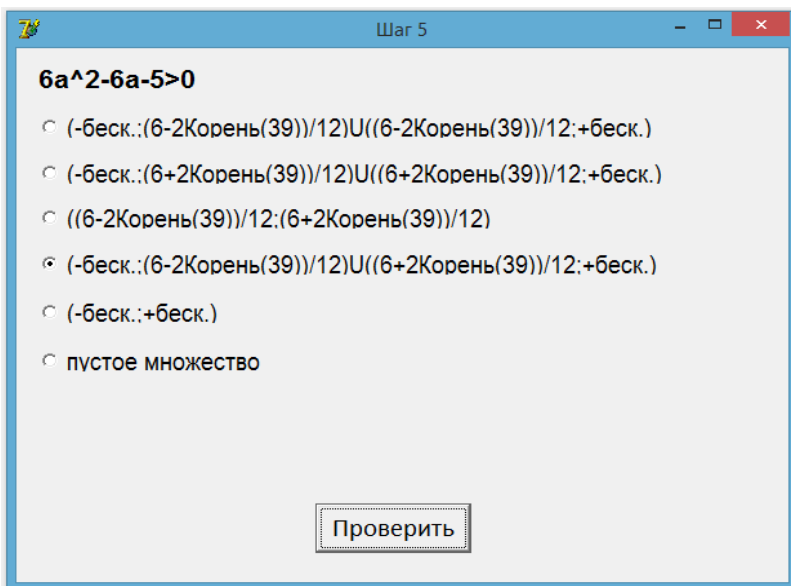


Рис. 6. Решение, шаг 5.

Если пользователь выбрал неверный ответ, то появляется сообщение «Неверно». Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.

Переходим к решению третьего неравенства:

$$(3a^2 - 3a + 13)(a + 2)^2 < 0.$$

Так как

$$\widehat{D} = 9 - 4 \cdot 3 \cdot 13 < 0, \text{ то}$$

$$\forall a, (3a^2 - 3a + 13)(a + 2)^2 > 0,$$

$$a \in \emptyset.$$

На форме «Шаг 6» выбираем соответствующее множество среди нескольких предложенных и нажимаем кнопку «Проверить» (рис. 7).

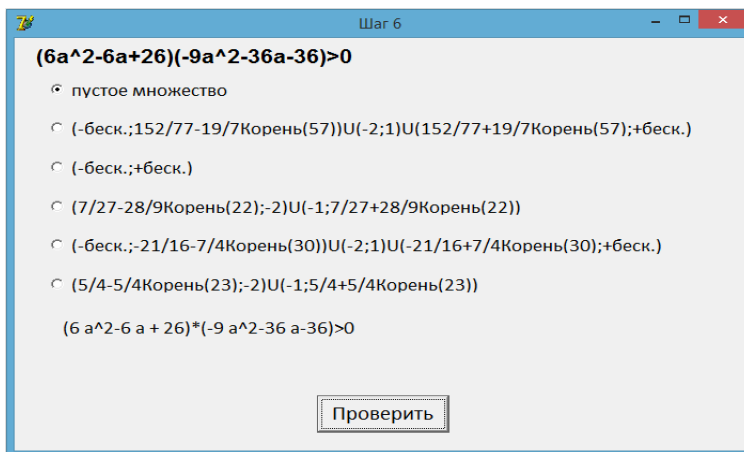


Рис. 7. Решение, шаг 6.

Если пользователь выбрал неверный ответ, то появляется сообщение «Неверно». Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.

Теперь пользователь находит пересечение трех полученных множеств. Очевидно, что в нашем примере пересечение пусто (рис. 8).

На предыдущих этапах получены ответы:

$(-\infty; -2) \cup (-2; 3) \cup (3; +\infty)$

$(-\infty; (6-2\sqrt{39})/12) \cup ((6+2\sqrt{39})/12; +\infty)$

пустое множество

Найдите их пересечение

- ☐ $(-\infty; +\infty)$
- ☐ пустое множество
- ☐ $(-\infty; -2) \cup (3; +\infty)$
- ☐ $(-2; 3)$

Проверить

Рис. 8. Решение, шаг 7.

На форме «Шаг 7» выбираем соответствующее множество среди нескольких предложенных и жмем кнопку «Проверить».

Если пользователь выбрал неверный ответ, то появляется сообщение «Неверно». Перейти к следующему шагу не получится, пока не будет выбран правильный ответ, при этом появятся сообщение «Верно!» и кнопка «Далее». Щелкаем по этой кнопке.

На открывшейся форме пользователь видит полученный ответ и протокол своих ошибок (рис. 9, 10).

Пусть a - массив корней многочлена, i - порядковый номер в массиве, sgn - массив знаков интервалов. Предположим, что корней многочлена 4, а, следовательно, интервалов - 5. Интервалы в этом случае: $(-\infty; a[1])$, $(a[1]; a[2])$, $(a[2]; a[3])$, $(a[3]; a[4])$, $(a[4]; +\infty)$. Знаки этих интервалов хранятся соответственно в $sgn[1]$, $sgn[2]$, $sgn[3]$, $sgn[4]$, $sgn[5]$

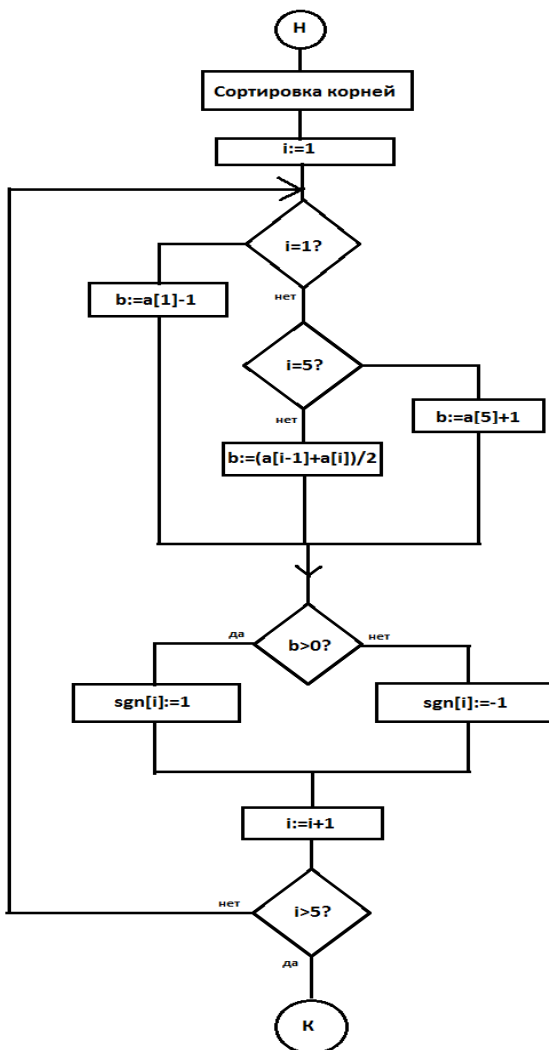
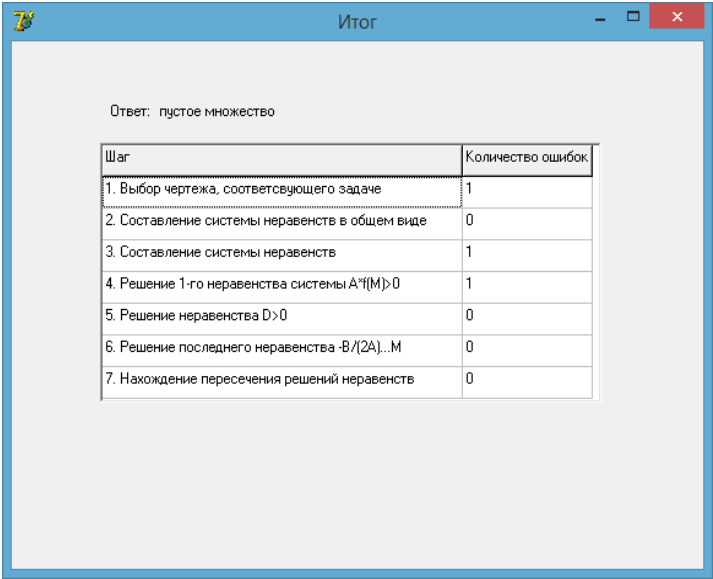


Рис. 9. Блок-схема решения задачи.



Ответ: пустое множество

Шаг	Количество ошибок
1. Выбор чертежа, соответствующего задаче	1
2. Составление системы неравенств в общем виде	0
3. Составление системы неравенств	1
4. Решение 1-го неравенства системы $A \cdot \{M\} > 0$	1
5. Решение неравенства $D > 0$	0
6. Решение последнего неравенства $-B/(2A) \dots M$	0
7. Нахождение пересечения решений неравенств	0

Рис. 10. Итог.

Основные возможности IDS Snort по обнаружению сетевых атак

ЮШКЕВИЧ Алексей Сергеевич

г. Бронницы, МОУ «Гимназия», 11 класс

Научный руководитель:

Алешин Вячеслав Алексеевич,

к.т.н., доцент кафедры

«Информационная безопасность»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

В современном мире информация представляет серьезную ценность для общества, а значит остро стоит вопрос о её защите. Информацию нужно защищать в тех случаях, когда есть опасения, что она станет доступной для посторонних. Последствиями действий злоумышленника могут быть: уничтожение, разрушение, искажение, подделка, копирование информации и обращение её во вред законному пользователю. Существуют как аппаратные, так и программные средства защиты. Все средства эффективны и незаменимы для обеспечения максимального уровня защищенности от атак. Далеко не все атаки могут обнаружить и отразить аппаратные средства защиты, именно поэтому, не так давно, стали разрабатываться специальные системы, позволяющие обнаружить

вторжение, оповестить об этом сетевого администратора сети и устранить или пресечь вредоносные действия злоумышленника или вредоносного программного обеспечения. Примером одной из таких программ может служить IDS Snort, который находит предполагаемые вторжения благодаря специальным правилам. Таким образом, на фоне всей происходящей ситуации в мире: взломы банковских систем, многочисленные крушения крупных корпораций из-за сетевых вторжений – все это напрямую связано с информационной безопасностью. Все изложенное только еще раз указывает на актуальность выбранной темы.

Целью научно-исследовательской работы является разработка правил по обнаружению сетевых атак для IDS Snort.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проведение анализа основных подходов к построению и возможностей современных IDS;
2. Изучение основных возможностей и функций Snort;
3. Изучить требования к написанию правил для IDS Snort;
4. Рассмотреть и протестировать существующие правила IDS Snort;
5. Разработать правила для IDS Snort;
6. Протестировать их на виртуальном сетевом стенде.

Объектом исследования является система IDS Snort.

Предметом исследования является функциональные возможности IDS Snort по обнаружению вторжений.

При написании работы были использованы следующие методы научного исследования:

- Анализ – декомпозиция единой системы на составные части и подробное их изучение по отдельности;
- Синтез – объединение в единую систему всех полученных результатов проведенного анализа, который позволит расширить собственные знания и создаст почву для начальной стадии разработки правил;
- Аналогия – рассмотрение аналогичных правил для системы, их адаптация и применение;
- Моделирование — конструирование и тестирование собственных правил.

Структура работы строилась в соответствии с поставленными целями и состоит из введения, двух глав, разделенных на параграфы, заключения, списка используемых источников и из приложений.

Глава 1. Теоретическая часть.

1.1. Системы обнаружения вторжений

По статистике с развитием IT-технологий растет и количество компьютерных преступлений, совершаемых в сфере высоких технологий [1]. С другой стороны, масштаб ущерба от промышленного шпионажа на практике ниже, чем от вынужденного простоя предприятия в результате вторжений во внутрисетевые

процессы. Стандартным средством обеспечения защиты компьютерных сетей от несанкционированного доступа к ресурсам сети является брандмауэр (или межсетевой экран), осуществляющий контроль и фильтрацию проходящего через него трафика в соответствии с заданными правилами. Межсетевой экран ограничивает поступление в защищаемую сеть определенных видов трафика для предотвращения вторжений и не отслеживает вторжения, происходящие внутри сети. Для этого в компьютерных сетях используют дополнительные средства защиты – системы обнаружения вторжений (COB, Intrusion Detection System, IDS), осуществляющие оперативный мониторинг сетевой активности и анализ трафика, обнаружение различных типов вредоносной активности, которая может нарушить безопасность компьютерной системы. К вредоносным активностям относятся сетевые атаки на уязвимые сервисы; атаки, направленные на повышение привилегий; неавторизованный доступ к важным файлам, а также действия вредоносного программного обеспечения (компьютерных вирусов, троянов и червей).

Можно выделить два основных класса подходов, которые используются в IDS:

1. Сигнатурные подходы (signature-based) - определяют атаки на основании выделения сигнатур сетевых атак, используя базы данных атак.
2. Подходы на основе выявления аномального поведения (anomaly-based) - выделяют необычные относительно ранее

наблюдаемых процессы, происходящие в сети, которые потенциально могут являться атаками.

Для обеспечения максимальной степени защищенности сети, лучше применять гибридную IDS, так как в ней интегрированы оба подхода. Данные от агентов на хостах комбинируются с сетевой информацией для создания наиболее полного представления о безопасности сети.

Существуют так же и сетевые IDS системы. Сетевая COB отслеживает вторжения, сканируя сетевой трафик, и ведет наблюдение за несколькими хостами. Такие IDS-системы располагаются в локальных сетях предприятий и производят в режиме реального времени мониторинг внутрисетевого трафика на предмет соответствия происходящих процессов по заранее определенным сигнатурам атак, признаки которых хранятся в обновляемой базе данных. База данных шаблонов атак поставляется вместе с IDS-системой и может пополняться разработчиками. Проблема такого подхода состоит в том, что проверка каждого проходящего пакета по сигнатурам отнимает заметную часть общей производительности маршрутизатора. Но маршрутизаторы, оборудованные программным обеспечением (ПО) определения вторжений и расположенные на стыке внутренних и публичных сетей, распознают и пресекают атаки до того, как они попадут во внутреннюю корпоративную сеть. Следует иметь в виду, что если атакующему удастся «сломать» анализатор пакетов, то дальнейшие действия в сети уже не будут отслеживаться. Если защищаемые

данные имеют высокую ценность для компании, то следует установить резервную IDS - систему, разместив ее на отличном от первой системы сервере с целью предотвращения одновременного вывода из строя обеих систем.

1.2. IDS Snort

IDS Snort (Martin Roesch, 1998г.) – свободно распространяемая сетевая система обнаружения вторжений, написанная на языке C, которая способна выполнять регистрацию пакетов и в реальном времени осуществлять анализ трафика в IP-сетях. Основной причиной создания этой IDS было отсутствие эффективного и открытого инструмента обнаружения атак. В настоящее время IDS Snort является одной из самых распространенных IDS в мире [2]. На основе множества правил IDS Snort может выявлять подозрительную активность и генерировать предупреждения. Обычно система анализирует данные из сети и применяет к ним свои правила. Таким образом, основной принцип функционирования IDS Snort строится на основе правил.

Snort использует правила, хранящиеся в текстовых конфигурационных файлах системы. Правила, относящиеся к разным категориям, хранятся в отдельных файлах. Эти файлы подключаются в основной конфигурационный файл `snort.conf`. Система по умолчанию имеет сформированный набор базовых правил, но, чтобы обнаружить несанкционированную деятельность с конкретными, характерными требованиями пользователя, можно

разрабатывать и добавлять собственные правила. Также предоставлена возможность удалять некоторые из стандартных правил с целью избегания ложных срабатываний.

К основным возможностям IDS Snort можно отнести:

1. Мониторинг трафика сети;
2. Сканирование системы (порты, операционные системы (ОС), пользователи и т.д.);
3. Обнаружение атак на такие службы, как Telnet, FTP, DNS;
4. Выявление атак, связанных с Web серверами, атаки на базы данных SQL, Oracle;
5. Возможность выполнения роли Web-фильтров;
6. Обнаружение вирусов.

Разработчики выделяют три режима работы Snort:

1. Режим снифера;
2. Режим регистратора пакетов;
3. Режим выявления атак.

В режиме снифера IDS Snort выводит в стандартный поток вывода частичное или полное содержание пакетов, которые перехватываются в сети. В режиме регистратора пакетов Snort сохраняет перехваченные пакеты в указанном каталоге файловой системы. В режиме сетевой системы выявления атак производится анализ трафика сети на соответствие правилам, предварительно сформулированным администратором, и выполняет определенные администратором действия в случае обнаружения атаки.

Snort поддерживается на ряде аппаратных платформ и операционных систем. На рис. 1 представлен список ОС, для которых в настоящее время доступен Snort.



Рис. 1. Операционные системы, поддерживаемые IDS Snort.

1.2.1. Датчики, места расположения и способы применения IDS Snort.

Машина, на которой работает IDS, называется датчиком (англ. sensor), так как он используется для обнаружения (англ. sense), в данном случае, вторжений в сеть. В зависимости от топологии сети, поместить данную систему можно в одном или нескольких местах в сети. Это зависит от выбранного режима безопасности: внутренняя, внешняя или оба. Например, если необходимо обнаружить только внешнюю вредоносную активность, используя один маршрутизатор при подключении к Интернету. Лучшее место для размещения системы обнаружения вторжений может быть только на маршрутизаторе. Если есть несколько точек

доступа к Интернету, можно разместить IDS на каждой точке входа в сеть. Однако, для обнаружения внутренних угроз, необходимо разместить IDS в каждом сегменте сети. Также важно отметить, что необязательно подключать IDS во все активные сегменты сети. Можно ограничиться размещением только на уязвимых сетевых областях. Но расчет на обнаружение большого количества вторжений означает большие затраты времени и средств на техническое обслуживание. На рис. 2 показаны типичные места размещения систем обнаружения. Можно заметить, что для правильного и эффективного действия системы обнаружения, IDS нужно размещать за каждым из брандмауэров и маршрутизаторов. В том случае, если сеть содержит демилитаризованную зону (DMZ), IDS может быть помещен в этой зоне.

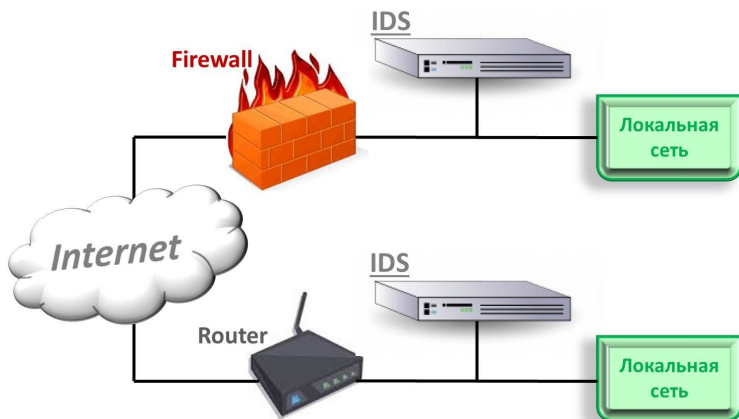


Рис. 2. Типичные места размещения систем обнаружения.

1.2.2. Механизмы вывода.

Модули вывода могут выполнять различные операции в зависимости от того, в каком формате и в какой форме необходимо произвести вывод. Модули вывода могут выполнять следующие действия:

- Отправка SNMP ловушки;
- Отправка сообщений syslog facility;
- Архивирование в базе данных, как MySQL или Oracle;
- Создание eXtensible Markup Language (XML) файла;
- Изменение конфигурации маршрутизаторов и брандмауэров;
- Отправка Server Message Block (SMB) сообщений на машины Microsoft Windows.

Существуют и другие инструменты, которые используются для генерации предупреждений, например, письмо на электронный почтовый адрес.

1.3. Правила для IDS Snort

При скачивании IDS Snort автоматически загружается стандартный набор правил для программы. Он находится в папке «rules». Все правила сохранены в формате rules. При написании собственных правил пользователь должен сохранить их в этом же формате и поместить в эту же папку, так как конфигурационный файл настроен на считывание файлов из данной директории. При добавлении нового правила в конфигурационном файле необходимо

добавить строчку, которая включает разработанное правило в общий список действующих правил, как показано на рис. 3.

```
514 #####
515 # Step #7: Customize your rule set
516 # For more information, see Snort Manual, Writing Snort Rules
517 #
518 # NOTE: All categories are enabled in this conf file
519 #####
520
521 # site specific rules
522 #include $RULE_PATH/local.rules
523
524 include $RULE_PATH/new1.rules
525 include $RULE_PATH/new2.rules
526 include $RULE_PATH/new3.rules
527 include $RULE_PATH/app-detect.rules
```

Рис. 3. Указания на правила в конфигурационном файле системы IDS Snort.

Каждое правило Snort делится на две части – заголовок и опции. Каждое правило должно иметь свой уникальный идентификатор, который прописывается в опциях. На рис. 4 представлены части, из которых состоит заголовок любого правила.

<действие> <протокол> <отправитель> <порт> <направление> <получатель> <порт>

Пример:

alert tcp any any -> 192.168.1.0/24 111

Рис. 4. Вид заголовка правил.

1.3.1. Составляющие заголовка.

Действие:

Заголовок правила содержит ключевое слово, которое определяет действие, выполняемое при совпадении всех заданных правилом условий. Действие всегда указывается первым и может быть одним из ключевых слов:

1. alert – генерировать сигнал тревоги и зарегистрировать пакет;
2. log – записать информацию о пакете в журнальный файл;
3. pass – пропустить (игнорировать) пакет;
4. activate – генерировать сигнал тревоги и активизировать другое динамическое правило;
5. dynamic – правило не выполняет никаких действий до его активации с помощью действия activate в другом правиле, а при активации действует как log.

Протокол:

Snort в настоящее время различает 4 протокола - TCP, UDP, ICMP и IP. В будущем планируется включить протоколы - ARP, IGRP, GRE, OSPF, RIP, IPX и т. п.

Отправитель, порт:

После протокола в правиле указываются адреса и номера портов отправителя или получателя для данного правила. Ключевому слову «ану» будут соответствовать все IP - адреса. Конкретные адреса задаются в формате: IP/mask - где IP – IP-адрес сети или узла, mask – маска сети. Маска сети задается в виде десятичного числа, которое

равняется числу единиц в двоичной маске. К IP-адресу может быть применен оператор отрицания « ! ». Также есть возможность указывать список или диапазон IP-адресов.

При обозначении портов ключевое слово «any» также применяется в значении «любой порт». Конкретные порты задаются десятичными числами. Символ « ! » инвертирует условие. С помощью оператора « : » можно задавать диапазоны портов. Например, «6000:6010» - диапазон портов с 6000 по 6010 включительно, «:1024» - с 1 по 1024, «1024:» - с 1024 по 65536.

Направление:

Операторы направления « ->, <> » показывают направление передачи трафика для данного правила. Адрес и порт слева от этого оператора относятся к отправителю пакетов, справа – к получателю. Можно создавать «двунаправленные» правила с помощью оператора « <> ». В данном случае каждая из пар «адрес-порт» будет трактоваться IDS Snort как отправитель, так и получатель. Такие правила удобны для анализа пакетов. Использование оператора « <- » недопустимо.

1.3.2. Опции правил.

Опции правила включают сообщение и информацию о том, какие части пакета следует проверить, чтобы определить следует ли применять по отношению к пакетам заданное действие.

В записи правил для разделения опций используется символ точка с запятой « ; ». Ключевые слова опций разделяются от аргументов двоеточием « : ». На рис. 5 приведено краткое описание

некоторых стандартных ключевых слов. Ключевое слово `sid` идентифицирует каждое правило для IDS Snort уникальным значением. Обычно используется диапазон от 100 до 1 000 000, значения до 100 зарезервированы.

Ключевое слово `content` обеспечивает проверку содержимого пакетов. Эта опция позволяет пользователю создавать правила для поиска в пакетах определенной информации и выполнение тех или

msg	выводит сообщение вместе с сигналом тревоги или протоколом пакета
msg: "текст сообщения";	
content	Проверяет на наличие в пакете определенных символов
content: "текст поиска";	
dsizе	Позволяет детектировать пакеты аномальных размеров, которые часто применяются для переполнения буфера
dsizе: целое число<>целое число;	
sameip	Детектирует пакеты с совпадающими IP для получателя и отправителя
sameip;	
sid	Предназначено для идентификации правил Snort
sid: 1000 ;	

Рис. 5. Основные стандартные ключевые слова.

иных действий при ее обнаружении. При поиске учитывается регистр символов. Аргумент может содержать как текст, так и двоичные данные. Они указываются между парой символов « | ». Данное ключевое слово можно использовать в одном правиле несколько раз и с ним можно ставить знак отрицания « ! ». Content поддерживает

несколько опций – модификаторов, которые изменяют параметры поиска. Список модификаторов приведен ниже:

1. *nocase* – без учета регистра символов;
2. *depth* – размер области поиска;
3. *rawbytes* – поиск в необработанных данных;
4. *within* – размер области поиска после первого найденного соответствия.

1.3.3. Разбор примеров правил для системы IDS Snort

Ниже приведены примеры правил IDS Snort:

```
log tcp any any <> 192.168.1.0/24 6000:6010 (msg: "Danger";  
sid: 99991)
```

Согласно этому правилу система будет записывать в журнальный файл информацию о tcp пакетах, которые адресованы от любых IP-адресов из любых портов на обычно используемые системой Windows XP порты хостов (в диапазоне «6000:6010») некоторой подсети и, наоборот, (от некоторой подсети к любым адресам), в журнальный файл. Также правило будет генерировать предупреждение «Danger» (*англ.* - опасность).

```
alert ip any any -> any any (content:"a"; content:"b";  
msg:"Warning"; sid: 99992)
```

При выполнении данного правила, IDS Snort выдаст сигнал тревоги сообщением «Warning» (*англ.* – предупреждение) при обнаружении ip пакета с содержанием символа «a», за которым сразу же следует символ «b». При сочетании символов “aab”

система даст отрицательный результат. Будут прослеживаться все пакеты, поступающие от любых отправителей к любым IP – адресам и к любым портам хостов.

1.4. Виртуальный сетевой стенд.

Виртуальный сетевой стенд строится на основе свободно распространяемого средства Oracle VM VirtualBox (версия 4.3.20 к96997), который представлен на рис. 6.

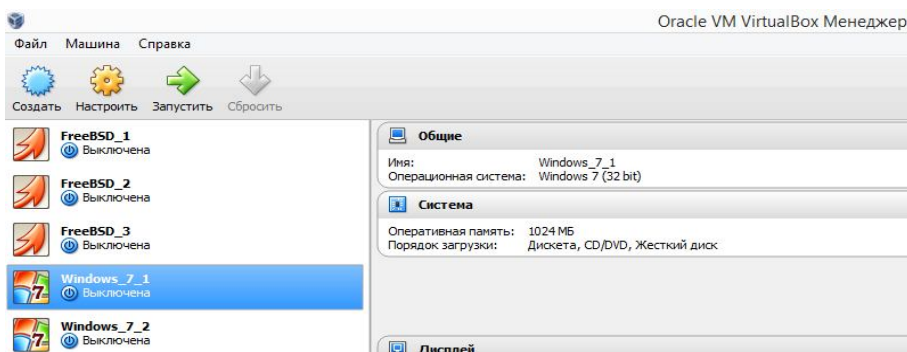


Рис. 6. Используемый виртуальный сетевой стенд.

Стенд состоит из двух пользователей сети, соединенных тремя маршрутизаторами. На маршрутизаторах установлена система IDS Snort. Каждый сегмент сети имеет настройки, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Сетевые настройки стенда.

Маршрутизатор FreeBSD 1	Маршрутизатор FreeBSD 2	Маршрутизатор FreeBSD 3
<u>IP-адреса</u> <u>сетевых интерфейсов</u> ifconfig_em0="192.16 8.11.1" ifconfig_em1="192.16 8.10.1"	<u>IP-адреса</u> <u>сетевых интерфейсов</u> ifconfig_em0="192.16 8.12.1" ifconfig_em1="192.16 8.10.2"	<u>IP-адреса</u> <u>сетевых интерфейсов</u> ifconfig_em0="192.16 8.13.1" ifconfig_em1="192.16 8.10.3"
Виртуальная машина Windows_7_1	Виртуальная машина Windows_7_2	
IP-адрес: 192.168.11.5 Маска: 255.255.255.0 Шлюз по умолчанию: 192.168.11.1	IP-адрес: 192.168.11.6 Маска: 255.255.255.0 Шлюз по умолчанию: 192.168.11.1	

Выводы по теоретической части.

В данной главе рассмотрены основные функциональные возможности IDS Snort, особенности и достоинства, места размещения IDS Snort в защищаемой сети, механизмы вывода результатов работы системы и типы отлавливаемых атак. Разработана структура правил фильтрации сетевого трафика для IDS Snort. Рассмотрены примеры правил. Произведен обзор экспериментального стенда для тестирования возможностей IDS Snort.

Для достижения цели необходимо выполнить все поставленные задачи, применив на практике теоретические знания, изложенные в главе 1.

Глава 2. Практическая часть.

1.1. Установка системы IDS Snort.

IDS Snort является свободно распространённым в сети Internet продуктом. Лицензионную последнюю версию для Windows (Snort 2.9.7.0.) можно скачать с официального сайта - <https://www.snort.org/>. С этого же Internet ресурса необходимо загрузить 2 архива: стандартный пакет с правилами и прочими документами. Выполнив разархивацию, с помощью файла «Snort_2_9_7_0_Installer.exe» устанавливаем систему. Нет необходимости загружать систему на пользователей виртуального стенда. Для корректной работы IDS Snort достаточно установить его на основной компьютер.

Стоит отметить, что при выполнении данной процедуры не требуется обязательной регистрации на сайте. Дальнейшие действия по установке IDS Snort (настройка конфигурационного файла, тестирование и запуск программы) изложен в видео[3].

1.2. Настройка виртуального стенда.

Для разработки правил, отладки и внедрения на предприятие правил, их необходимо протестировать на виртуальном стенде. С этой целью были созданы: 2 пользователя (Windows_7_1, Windows_7_2) и 3 маршрутизатора (FreeBSD 1, FreeBSD 2, FreeBSD

3). Для удобства дальнейшего использования сеть настраивалась вручную. Таким образом, получилась сеть следующей конфигурации (рис. 7).

Для начала работы с сетью необходимо отдельно запустить каждый ее сегмент в менеджере Oracle VM VirtualBox и проверить наличие соединения между пользователями (Windows_7_1, Windows_7_2) командой в строке администратора одного из пользователей «ping ip-адрес». Если команда выдаст такой же результат, как и на рис. 8, значит связь между пользователями установлена.



Рис. 7. Сеть для тестирования IDS Snort.

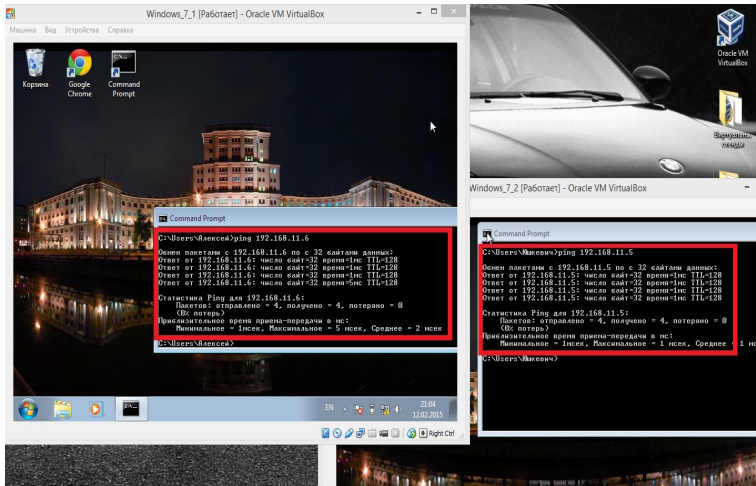


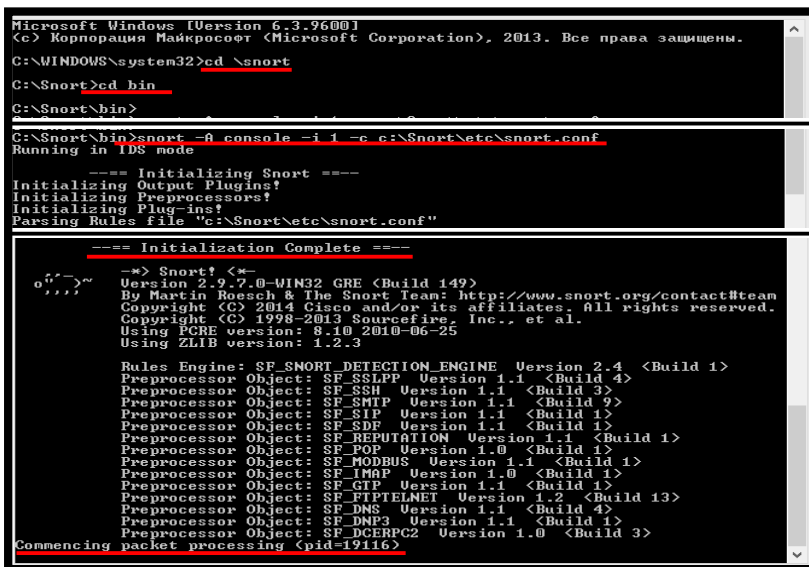
Рис. 8. Результат команды «ping».

В каждом маршрутизаторе (FreeBSD 1, FreeBSD 2, FreeBSD 3) заходим под суперпользователем root. Таким образом, активизировав все сегменты, сеть начинает функционировать.

1.3. Запуск IDS Snort.

Для запуска IDS Snort в командной строке администратора компьютера, где установлена система, указываем путь к каталогу, с которым будет проводиться дальнейшая работа (рис. 9, а). Вводим команду «snort -A console -i 1 -c c:\Snort\etc\snort.conf» для запуска процесса инициализации программы (рис. 9, б). При данной конфигурации строка администратора будет выводить результаты сработанных правил «alert» на экран, а с помощью команды «snort -A fast -b -i 1 -c c:\Snort\etc\snort.conf» Snort создаст в папке log файл

alert.ids, куда и будет записывать результаты сработанных правил «alert». Перечень возможных команд для IDS Snort и их описание можно найти из Internet ресурса [4]. Через некоторое время IDS Snort будет запущен, а, значит, система IDS Snort уже начала сканировать информационные потоки и сверять их с правилами. Строка администратора выдаст сообщение о завершении инициализации и о начале обработки пакетов (рис. 9, в).



```
Microsoft Windows [Version 6.3.9600]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation), 2013. Все права защищены.

C:\WINDOWS\system32>cd \snort
C:\Snort>cd bin
C:\Snort\bin>

C:\Snort\bin>snort -A console -i 1 -c c:\Snort\etc\snort.conf
Running in IDS mode

----- Initializing Snort -----
Initializing Output Plugins!
Initializing Preprocessors!
Initializing Plug-ins!
Parsing Rules file "c:\Snort\etc\snort.conf"

----- Initialization Complete -----

o'~
'''~
Version 2.9.7.0-WIN32 GRE <Build 149>
By Martin Roesch & The Snort Team: http://www.snort.org/contact#team
Copyright (C) 2014 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved.
Copyright (C) 1998-2013 Sourcefire, Inc., et al.
Using PCRE version: 8.10.2010-06-25
Using ZLIB version: 1.2.3

Rules Engine: SF_SNORT DETECTION ENGINE Version 2.4 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_SSLPP Version 1.1 <Build 4>
Preprocessor Object: SF_SSH Version 1.1 <Build 3>
Preprocessor Object: SF_SMTP Version 1.1 <Build 9>
Preprocessor Object: SF_SIP Version 1.1 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_SDP Version 1.1 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_REPUTATION Version 1.1 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_POP Version 1.0 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_MODBUS Version 1.1 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_IMAP Version 1.0 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_GTP Version 1.1 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_FIPIELNET Version 1.2 <Build 13>
Preprocessor Object: SF_DNS Version 1.1 <Build 4>
Preprocessor Object: SF_DNP3 Version 1.1 <Build 1>
Preprocessor Object: SF_DCERPC2 Version 1.0 <Build 3>

Commencing packet processing (pid=19116)
```

Рис. 9. Пример запуска IDS Snort (а) - указание пути к необходимому каталогу, (б) команда запуска IDS Snort, (в) начало работы IDS Snort.

В уже запущенных маршрутизаторах нужно ввести определенную команду, которая выдавала бы необходимые результаты сканирования системы или выполняла конкретные действия, соответствующие командам. Например, соблюдая данную команду `snort -vд` консоль будет выдавать подробный ответ обо

всех проходящих пакетах и формировать дампы декодированных данных прикладного уровня, то есть журналировать содержимое пакетов (рис. 10, 11).

```
02/12-23:49:06.269796 192.168.11.5:54565 -> 224.0.0.252:5355
UDP TTL:1 TOS:0x0 ID:6615 IpLen:20 DgmLen:50
Len: 22
55 8B 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 04 77 70 61 U.....wpa
64 00 00 01 00 01 d.....

=====

02/12-23:49:06.368063 fe80::9cb:ae47:d747:f4b0:50066 -> ff02::1:3:5355
UDP TTL:1 TOS:0x0 ID:0 IpLen:40 DgmLen:70
Len: 22
55 8B 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 04 77 70 61 U.....wpa
64 00 00 01 00 01 d.....

=====

02/12-23:49:06.368436 192.168.11.5:54565 -> 224.0.0.252:5355
UDP TTL:1 TOS:0x0 ID:6616 IpLen:20 DgmLen:50
Len: 22
55 8B 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 04 77 70 61 U.....wpa
64 00 00 01 00 01 d.....

=====
```

Рис. 10. Результат команды «snort -vd».

```
Len: 99
=====

02/12-23:59:54.090237 08:00:27:B3:D9:C2 -> 33:33:00:01:00:02 type:0x86DD len:0xA
1
fe80::99d4:945:9876:4e29:546 -> ff02::1:2:547 UDP TTL:1 TOS:0x0 ID:0 IpLen:40 Dg
mLen:147
Len: 99
=====

02/12-23:59:55.622492 08:00:27:90:75:7F -> 33:33:00:01:00:02 type:0x86DD len:0xA
1
fe80::9cb:ae47:d747:f4b0:546 -> ff02::1:2:547 UDP TTL:1 TOS:0x0 ID:0 IpLen:40 Dg
mLen:147
Len: 99
=====

02/12-23:59:56.103162 08:00:27:B3:D9:C2 -> 33:33:00:01:00:02 type:0x86DD len:0xA
1
fe80::99d4:945:9876:4e29:546 -> ff02::1:2:547 UDP TTL:1 TOS:0x0 ID:0 IpLen:40 Dg
mLen:147
Len: 99
=====
```

Рис. 11. Результат команды «snort -e».

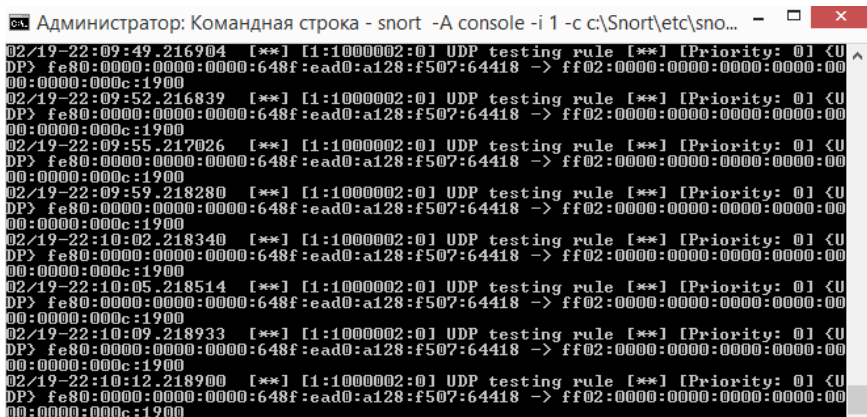
1.4. Тестирование стандартных правил.

В списке стандартных правил для IDS Snort есть специальное правило «local.rules» (рис. 12), предназначенное для тестирования работоспособности системы.

```
19 # LOCAL RULES
20 #-----
21 alert icmp any any -> any any (msg:"ICMP testing rule"; sid:1000001;
22 alert udp any any -> any any (msg:"UDP testing rule"; sid:1000002;)
23 alert tcp any any -> any 80 (msg:"TCP testing rule"; sid:1000003;)
```

Рис. 12. Правило local.rules.

Система будет генерировать тревогу при передаче пакетов типа ICMP, UDP, TCP, от любых IP - адресов к любым IP – адресам. На рис. 13 показан первый результат тестирования правила local.rules при команде «snort -A console -i 1 -c c:\Snort\etc\snort.conf». Второй результат тестирования при команде «snort -A fast -b -i 1 -c c:\Snort\etc\snort.conf» показан на рис. 14.



```
02/19-22:09:49.216904 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:09:52.216839 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:09:55.217026 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:09:59.218280 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:10:02.218340 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:10:05.218514 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:10:09.218933 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
02/19-22:10:12.218900 [**] [1:1000002:0] UDP testing rule [**] [Priority: 0] <U
DP> fe80:0000:0000:0000:648f:ead0:a128:f507:64418 -> ff02:0000:0000:0000:0000:00
00:0000:000c:1900
```

Рис. 13. Первый результат тестирования правила local.rules.

564	02/19-22:13:45.367081	[**]	[1:1000002:0]	UDP testing rule	[**]	[Priority: 0]	(UDP)	192.168.11.1:61748 -> 224.0.0.252:5355
565	02/19-22:13:45.698544	[**]	[1:1000002:0]	UDP testing rule	[**]	[Priority: 0]	(UDP)	192.168.11.1:137 -> 192.168.11.255:137
566	02/19-22:13:46.449341	[**]	[1:1000002:0]	UDP testing rule	[**]	[Priority: 0]	(UDP)	192.168.11.1:137 -> 192.168.11.255:137

Рис. 14. Второй результат тестирования правила local.rules.

1.5. Разработка правил для IDS Snort.

Первый блок правил «new1.rules», показанный на рис. 15, разработан для проверки работы Snort с созданной сетью. По своей структуре он не отличается от «local.rules» кроме конкретных IP – адресов пользователей.

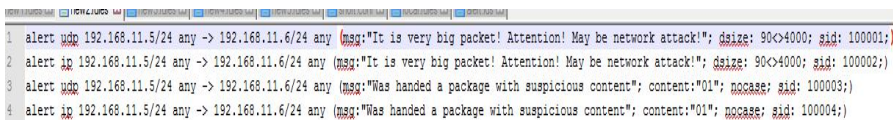
```
1 alert icmp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"There was an exchange of packets with a dangerous location (ICMP)"; sid:99990);
2 alert udp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"There was an exchange of packets with a dangerous location (UDP)"; sid:99991);
3 alert ip 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"There was an exchange of packets with a dangerous location (IP)"; sid:99992);
```

Рис. 15. Первый блок правил для IDS Snort.

Соблюдая данные правила, система должна выдавать тревогу при обнаружении ICMP, UDP, IP пакетов исходящие от первого пользователя сети (Windows_7_1) из любых портов к любым портам второго пользователя (Windows_7_2). Тревога будет сопровождаться сообщением о том, что был совершен обмен пакетами определенного типа с опасной локацией.

Второй блок (рис. 16) имеет несколько опций в одном правиле. При выполнении данных правил IDS Snort будет генерировать предупреждение в том случае, если размер UDP, IP пакетов, поступающих от первого пользователя ко второму, будет

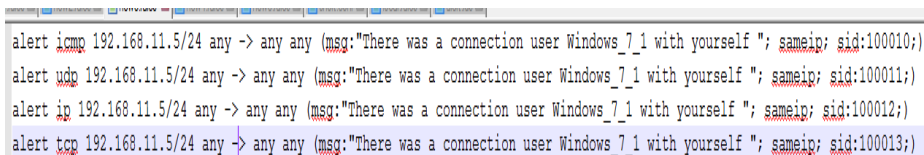
соответствовать диапазону от 90 до 4000 байт. При этом на экране появится сообщение «It is very big packet! Attention! May be network attack!» (англ. Этот пакет очень большой! Внимание! Возможно, это сетевая атака!). Также при наличии в пакетах данного набора символов «01» система выдаст сообщение о том, что был передан пакет с подозрительным содержимым и выдаст тревогу.



```
1 alert udp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"It is very big packet! Attention! May be network attack!"; dsize: 90<4000; sid: 100001;)
2 alert ip 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"It is very big packet! Attention! May be network attack!"; dsize: 90<4000; sid: 100002;)
3 alert udp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"Was handed a package with suspicious content"; content:"01"; nocase; sid: 100003;)
4 alert ip 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"Was handed a package with suspicious content"; content:"01"; nocase; sid: 100004;)
```

Рис. 16. Второй блок правил для IDS Snort.

Выполняя третий блок правил (рис. 17), система будет выдавать тревогу тогда, когда адрес отправителя совпадет с адресом получателя. Появится сообщение, информирующее о том, что произошло соединение пользователя Windows_7_1 с самим собой.



```
alert icmp 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100010;)
alert udp 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100011;)
alert ip 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100012;)
alert tcp 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100013;)
```

Рис. 17. Третий блок правил для IDS Snort.

1.6. Основные результаты тестирования.

Для наглядности результатов тестирования испытание разработанных правил осуществлялось с помощью команды «snort –A fast –b –i 1 –c c:\Snort\etc\snort.conf». Результат тестирования первого блока разработанных правил представлен на рис. 18, второго блока – на рис. 19, третьего блока – на рис. 20.

- Рассмотрено и протестировано стандартное правило для IDS Snort;
- Разработаны правила для IDS Snort;
- Проведено тестирование правил IDS Snort на экспериментальном стенде;
- Приведены и проанализированы результаты тестирования разработанных правил для IDS Snort.

Таким образом, была произведена загрузка и установка Snort версии 2.9.7.0. на операционную систему Windows. Создана и приведена в рабочее состояние сеть на виртуальном стенде с помощью проверки соединения пользователей через маршрутизаторы. Опираясь на полученные теоретические знания, разработано и описано 3 блока правил для IDS Snort, которые в дальнейшем прошли тестирование на собранном испытательном стенде и показали свою работоспособность.

Заключение

Основной целью научно-исследовательской работы являлась разработка правил по обнаружению сетевых атак для IDS Snort. Необходимо было провести анализ возможностей современных IDS, изучить возможности и функции системы Snort, рассмотреть и протестировать существующие правила IDS Snort, собрать виртуальный сетевой стенд и протестировать на нем собственные правила.

Тестирование правил для системы IDS Snort на виртуальном стенде показало, что разработанные правила функционируют в необходимом режиме. Но разработанные правила не предназначены для выявления и пресечения спланированных вторжений в сеть, поэтому в будущем планируется:

- дальнейшее изучение функциональных возможностей функций системы IDS Snort;
- работа с системой в других ОС;
- разработка более сложных правил, которые бы препятствовали вредоносной активности воздействиям на сеть.

Литература:

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. N 152-ФЗ «О персональных данных» и «Положения об обеспечении безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных»;
2. Энциклопедия для детей. Том 22. Информатика. ЗАО Детское издательство “Аванта”;
3. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: Учебник для студентов вузов. — М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2-е изд.;
4. 2003 Pearson Education, Inc. Publishing as Prentice Hall PTR,

Upper Saddle, River, New Jersey 07458: «Advanced IDS Techniques Using Snort, Apache, MySQL, PHP and ACID» *Rafeeq Ur Rehman*;

5. <https://www.snort.org/> ; 2014
6. http://www.opennet.ru/base/sec/snort_ids.txt.html ; 2014
7. <https://www.freebsd.org/doc/ru/books/handbook/firewalls.html> ; 2014
8. <http://www.bezopasnik.org/article/1.htm> ; 2014
9. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Snort> ; 2014
10. <http://infl.info/book/export/html/122> ; 2014
11. <http://suvan.ru/page/proizvoditelnost-i-sozdanie-pravil-snort.html> ; 2014
12. <http://www.nestor.minsk.by/sr/2006/01/sr60114.html> ; 2014
13. <http://www.protocols.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=98> ; 2014
14. <http://www.securitylab.ru/analytics/216181.php> ; 2014
15. <http://securos.org.ua/kratkoe-rukovodstvo-polzovatelya-snort/>; 2014
16. <http://www.protocols.ru/files/Papers/SnortRules.pdf> ; 2014
17. <https://ru.wikipedia.org/wiki/TCP> ; 2014
18. <http://ru.wikipedia.org/wiki/UDP> ; 2014
19. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ICMP> ; 2014
20. <http://www.osp.ru/win2000/2004/05/177049/> ; 2014

21. <http://www.cnews.ru/reviews/free/oldcom/security/ids.shtml> ; 2014
22. http://saturn.itep.ru/fuz_log.htm ; 2014
23. <http://www.ispreview.ru/ipcalc.html> ; 2014
24. <http://www.linuxcenter.ru/lib/articles/security/snort.phtml?style=print> ; 2014
25. <http://www.youtube.com/watch?v=X64-0ogjoP4>; 2014
26. <http://xgu.ru/xg-ids/ch09.html> ; 2014

Приложения.

Приложение 1. Разработанные правила.

Первый блок правил для проверки работы Snort с созданной сетью для IDS Snort (рис. 1).

```
1 alert icmp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"There was an exchange of packets with a dangerous location (ICMP)"; sid:999990;)
2 alert udp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"There was an exchange of packets with a dangerous location (UDP)"; sid:999991;)
3 alert ip 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"There was an exchange of packets with a dangerous location (IP)"; sid:999992;)
```

Рис. 1. Первый блок правил.

Правила описываются в конфигурационном файле snort.conf.

Второй блок правил захвата соответственно UDP, IP пакетов, отправителем которых является хост с IP адресом 192.168.11.5. Правила описываются в конфигурационном файле snort.conf для IDS Snort (рис. 2).

```
1 alert udp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"It is very big packet! Attention! May be network attack!"; dsize: 90<4000; sid: 100001;)
2 alert ip 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"It is very big packet! Attention! May be network attack!"; dsize: 90<4000; sid: 100002;)
3 alert udp 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"Was handed a package with suspicious content"; content:"01"; nocase; sid: 100003;)
4 alert ip 192.168.11.5/24 any -> 192.168.11.6/24 any (msg:"Was handed a package with suspicious content"; content:"01"; nocase; sid: 100004;)
```

Рис. 2. Второй блок правил.

Третий блок правил захвата соответственно ICMP, UDP, IP, TCP пакетов между любым отправителем и получателем в сети.

Правила описываются в конфигурационном файле `snort.conf` для IDS Snort.

```
alert icmp 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100010;)
alert udp 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100011;)
alert ip 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100012;)
alert tcp 192.168.11.5/24 any -> any any (msg:"There was a connection user Windows_7_1 with yourself "; sameip; sid:100013;)
```

Рис. 3. Третий блок правил.

Приложение 2. Разработанное программное обеспечение.

Виртуальный стенд из 5 машин для тестирования возможностей IDS Snort был развернут в свободно распространяемой среде Oracle VM VirtualBox, доступной по ссылке <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>.

Виртуальный стенд установлен на личном ноутбуке, с которого будет осуществляться доклад и показ работы. Виртуальный стенд включает в себя две виртуальные машины, выступающие в роли хостов в сети, и три виртуальных машины, выступающих в роли маршрутизаторов. Из-за большого объема информации (26GB) все разработанное программное обеспечение записано на внешнем запоминающем устройстве (USB – флеш – накопитель «TOSHIBA 32GB»), который прилагается вместе с работой.

Используемый виртуальный стенд представлен на рис. 4. Схема экспериментальной локальной вычислительной сети представлена на рис. 5. Локальная вычислительная сеть 01.06.14 представлена на рис. 6. Локальная вычислительная сеть 30.08.14 представлена на рис. 7.

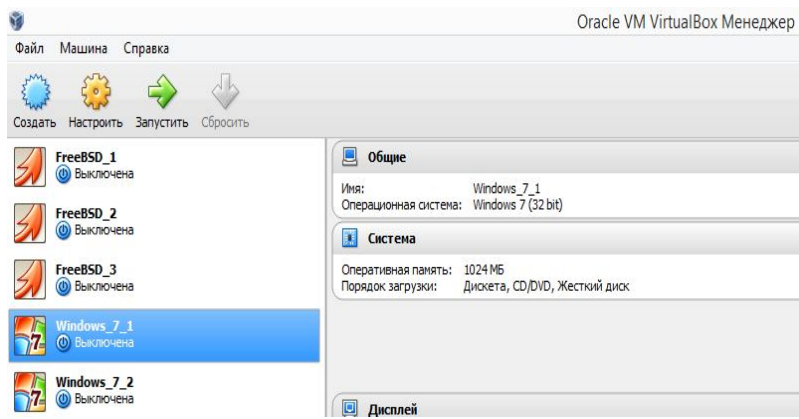


Рис. 4. Используемый виртуальный стенд.

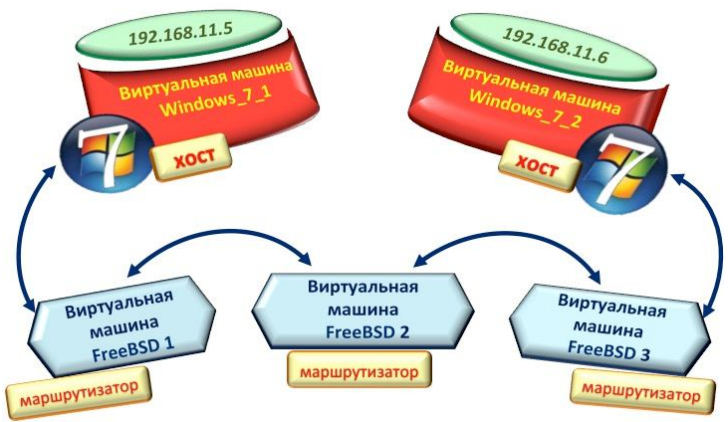


Рис. 5. Схема экспериментальной локальной вычислительной сети.

Отделы					
Бухгалтер-ский	Снабжения	Договорной	Сметный	Кадровый	Плановый

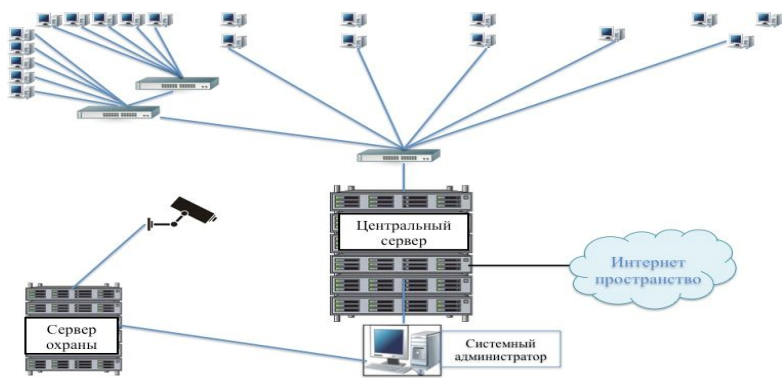


Рис. 6. Локальная вычислительная сеть 01.06.14.

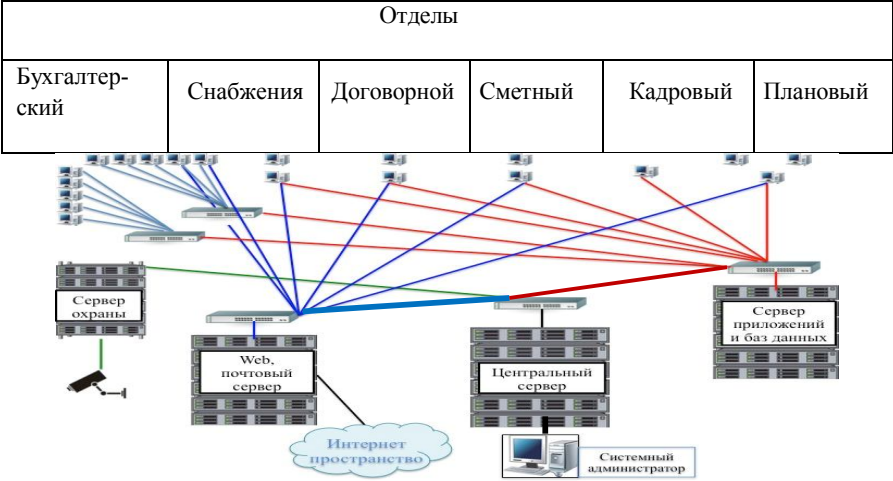


Рис. 7. Локальная вычислительная сеть 30.08.14.

Пилотируемый летательный аппарат подавления связи

*ПОЛЕЩУК Виталий Александрович
г. Королев, АОУ Лицей №19, 11 класс*

*Научный руководитель:
Медведев Николай Викторович,
к.т.н., доцент кафедры
«Информационная безопасность»
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Термины и сокращения, используемые в работе:

- ПДн – персональные данные;
- УБПДн – угрозы безопасности персональным данным;
- Глушилка - небольшое устройство для подавления связи;
- Генератор, Управляемый Напряжением (ГУН), - это устройство генерирования колебания, частота которого определяется управляющим напряжением.
- Настроечная Схема (для выбора желаемой частоты для подавления);
- Источник Помех (встроен в Настроечную Схему);
- Блок Усиления РЧ ("усилительный каскад") – блок, усиливающий мощность сигнала и расширяющий радиус действия помех.

- Передающая Антенна - это устройство, передающее сигналы, которые генерирует Ваш подавитель. Основной характеристикой антенны является КСВН (Коэффициент Стоячей Волны Напряжения).
- Квадрокоптер - это летающий аппарат,двигающийся посредством регулирования скорости вращения двигателей с пропеллерами.
- DoS атака — это разновидности атак на электронные системы, цель которых довести систему до отказа. То есть, создание таких условий, при которых легитимные (правомерные) пользователи системы не могут получить доступ к предоставляемым системой возможностям, либо этот доступ затруднён.
- ПЛАПС - пилотируемый летательный аппарат подавления связи.

УБПДн:

В 1981 г. Совет Европы принял Конвенцию «О защите личности в связи с автоматической обработкой персональных данных», которую Государственная Дума Российской Федерации ратифицировала 25 ноября 2005 г. В Российской Федерации был принят Федеральный закон «О ратификации Конвенции Совета Европы о защите физических лиц при автоматической обработке персональных данных» (№160-ФЗ от 19.12.2005г.). Таким образом, на Российскую Федерацию были возложены обязательства по

приведению в соответствие с нормами европейского законодательства деятельность в области защиты прав субъектов ПДн.

Данные обязательства требуют внедрения новых ИТ-продуктов, принятия организационных мер и модернизации бизнес-процессов. Таким образом, Концепция защиты персональных данных в информационных системах персональных данных (далее - Концепция) является отраслевым нормативным документом, в котором определяются принципы обеспечения безопасности персональных данных (ПДн) и организационно-технические меры по защите ПДн в информационных системах персональных данных (ИСПДн).

Концепция была разработана в целях реализации требований Федерального закона №152-ФЗ от 27.07.2006 года «О персональных данных» по обеспечению безопасности ПДн, обрабатываемых в ИСПДн на территории РФ и выполнения международных обязательств РФ.

Мне кажется, что стремление узнать чьи-то секреты присуще самой природе человека. Чтобы там ни говорили, но подслушать чужие разговоры, несмотря на всю предосудительность этого занятия, всегда было очень привлекательным. Возможность упредить действия противника, например, вождя соседнего племени, узнать планы конкурента, наконец, нейтрализовать чьи-то интриги - это ли не заветная мечта любого политика, коммерсанта или просто обывателя!

Хищение личных данных – это любой вид мошенничества, который приводит к утрате таких персональных данных, как пароли, логины, банковские данные, номера кредитных карт и т.д.

Хищение личных данных – явление не новое. Воры всегда находили способы, чтобы незаконно получить доступ к личным персональным сведениям с использованием мошеннических схем, также известных как методы социальной инженерии. После того как кража личных данных переместилась в Интернет, у злоумышленников появилась возможность обманывать большее количество людей одновременно, что значительно повысило прибыльность этого незаконного занятия. Но похищением данных занимаются не только бандиты. Все страны стремятся знать о планах и возможностях конкурентов. По этой причине получение доступа к секретной информации всегда являлось основной задачей любой разведки. Вполне объяснимо, почему спецслужбы ведущих стран мира тратят огромные средства на создание устройств, позволяющих им прослушивать разговоры противника. Достижения радиотехники и, в особенности микроэлектроники, позволили наилучшим образом решить эту проблему. Микроскопические микрофоны дополняются миниатюрными усилителями, передатчиками. Другие устройства помогают перехватывать сигналы с сотовых телефонов.

Как правило, информация, добываемая с помощью средств подслушивания, передается на контрольный пункт по радио. При этом сигнал радиопередатчика, несущий информацию от скрыто

установленного микрофона, должен быть достаточно сильным, чтобы достигнуть контрольного пункта, но в то же время весьма слабым, чтобы затруднить его выявление с помощью простейших средств поиска “жучков”. К примеру, существуют подслушивающие устройства, которые накапливают полезную информацию в устройствах цифровой памяти и в нужное время за считанные секунды “выстреливают” ее в сторону контрольного пункта.

Но в наши дни прослушка перестала быть прерогативой спецслужб. Любой желающий может приобрести любительский «жучок» в магазине. Человек, разбирающийся в радиотехнике, может соорудить прослушивающее устройство самостоятельно. Но нужно ли всё это, когда на каждом из нас и так «висит» следящее устройство, за которым мы так трепетно следим, боясь выйти из дома без его сопровождения. Речь, безусловно, идет о мобильном телефоне. Он привнес в нашу жизнь массу приятностей и удобств: родные, близкие и коллеги всегда при необходимости могут нас услышать; под рукой всегда есть доступ к Интернету и сервисам, базирующимся на нем. Еще несколько лет назад возможности и функционал современных смартфонов был из разряда фантастики. Но у каждой медали есть и обратная сторона... С развитием мобильной связи, у каждого из нас появилась еще одна «ахиллесова пята»: злоумышленники с легкостью могут использовать ваш телефон как прослушивающее устройство GSM! И, к сожалению,

прослушивание мобильных телефонов - не единственный способ получения важной информации.

Современные средства слежения могут за считанные секунды определить местоположение телефона, а прослушивание помещений и перехват смс теперь не представляют особой сложности. Но это еще не все «возможности» вашего мобильного...

В 1999 году был разработан стандарта 802.11b, а в 2000 году стали появляться первые устройства для беспроводной связи. Wi-Fi предназначался как альтернатива корпоративным кабельным сетям – более простая и экономичная по затратам технология, т.к. не требует прокладки кабеля, но не менее эффективная. Уже через 5 лет на выставке Consumer Electronics Show 2005 (CES) в Лас-Вегасе компания Motorola представила первую модель телефона с поддержкой нового стандарта. В начале 2010 года на рынок начинают выходить телефоны с функцией wi-fi direct. Отныне любой телефон, обладающий данным функционалом, может служить источником сети Wi-Fi. Данная технология продолжает развиваться. Так, совсем не давно, выяснились новые способы её применения в качестве радара.

Инженеры Карл Вудбридж (Karl Woodbridge) и Кевин Четти (Kevin Chetty) из Лондонского университетского колледжа сконструировали пассивный WiFi-радар. Уникальное устройство улавливает изменения в частоте радиосигнала и способно определять движущиеся/дышащие объекты даже за стеной. WiFi-радар использует тот же принцип действия, что и обычные радары.

Благодаря доплеровскому эффекту, любой движущийся объект отражает радиосигнал с изменением частоты на несколько герц, причем разница тем больше, чем выше скорость объекта. Таким образом, достаточно всего лишь точно регистрировать частоту отраженного сигнала и время его возврата, чтобы знать скорость и расстояние до движущегося объекта. Если научиться делать это достаточно точно, то можно даже регистрировать пульс и частоту дыхания человека!

В прошлом году интригующая новость пришла из Вашингтонского университета. Оказывается, там продолжили работу английских специалистов и сделали более продвинутый вариант пассивного WiFi-радар, который способен распознавать даже отдельные жесты человека в зоне действия хотспота. В данный момент система WiSee распознает девять жестов с точностью 94%. Таким образом, любой маршрутизатор при использовании специального оборудования можно превратить в точный радар, определяющий малейшие наши движения. Но каждый имеет право на личную жизнь и конфиденциальность работы. Поэтому «жучки», скрытые камеры и микрофоны, желание незаметно и незаконно заполучить информацию - всё это должно пресекаться.

Так как же обезопасить себя от возможного, столь близкого присмотра и вернуть своей жизни, работе и общению статус личных? В подобных условиях это представляется довольно затруднительным. Первым что приходит на ум, это огородить себя

от всевозможных передатчиков связи. Но выкинутый телефон и отключенный роутер не сделают вашу жизнь безопаснее, ведь вы не сможете всегда проверять помещение, в котором находитесь на предмет «жучков». Да и как выяснилось ранее, Wi-Fi, действующий неподалеку, может видеть вас при малейших движениях. Вторым возможным вариантом будет использование экранирующих барьеров. Если обшить подобным материалом всё вокруг себя, то в этой зоне действительно будет невозможна беспроводная передача данных. Но это тяжело реализуемо и крайне неудобно. Так неужели совсем не остаётся возможности оградить себя от слежки? Она есть, и именно ей я посвятил свою работу, а именно устройству, подавляющему связь!

ПЛАПС

Придя с работы домой и поужинав, советский человек устраивался на диване со "Спидолой", настраивался на волну Би-би-си или "Свободы", начинал осторожно покручивать верньер, чтобы пробиться сквозь атмосферные помехи - и вдруг по барабанным перепонкам ему ударял резкий монотонный звук, похожий либо на визг циркулярной пилы, либо на тарахтение тракторного дизеля. Это был, по выражению историка Михаила Восленского, "вой холодной войны" - помехи, создаваемые советскими "глушилками". Они работали на полную мощность 30 лет.

Вопрос о том, как "оградить население от антисоветских радиосеансов", регулярно обсуждался на разных уровнях. В 1984 году было принято секретное постановление Политбюро ЦК КПСС

и Совета Министров СССР о строительстве 18 новых "глушилок", по известным причинам оставшееся нереализованным.

Но сегодня данный «вой» может испускать каждый. В значительной мере модернизированные и уменьшенные до масштабов ноутбука, глушилки стали доступны для покупки. Коммерческое производство данных устройств началось относительно недавно и до сих пор во многом оспаривается легальность их применения. Ознакомившись с приборами, представленными на рынке, я увлекся мыслью создания собственного устройства и его развития в рамках олимпиады «Шаг в будущее».

Конечной целью стало желание сконструировать устройство подавления связи, компактное и мощное, способное нейтрализовать сотовую, Bluetooth и Wi-fi связь на окружающей территории. Данный прибор должен будет подавлять сигнал сотовой связи на частоте 800 МГц, а также Wi-Fi и Bluetooth на частоте 2400 МГц.

Роль генератора управления напряжением сыграл генератор качающейся волны. Далее потребовался генератор синхросигналов, настроенный на 45МГц и 100МГц, на который реагирует порт гетеродина на микросхеме приемника, в результате чего генерируются помехи. Пришлось также сравнить сопротивление в генераторе синхросигналов и порте гетеродинов. Для этого я направил через сеть согласования сопротивлений сигнал от местного генератора электрических колебаний приемника. Порт генератора электрических колебаний, который является РЧ-входом,

должен был иметь антенну на 800 МГц и 2400 МГц, а РЧ-выход потребовалось подключить к усилителю сигнала, что повысило мощность устройства на выходе на 15–16 дБм. Затем уже усиленный сигнал попадал на исходящую антенну.

Разница частоты входящего и исходящего сигналов любого мобильного телефона, настроенного на частоту 800 МГц, равна точно 45 МГц. Разница частот для Wi-Fi и Bluetooth - 100 МГц. Таким образом, если кто-нибудь будет рядом разговаривать по телефону, включенный глушитель мобильной связи просто направит на телефон им же отправленный сигнал, и человек не услышит ничего, кроме своего голоса. В случае же с wi-fi, канал будет наполнен помехами, и никакой прибор не обнаружит точку доступа.

Далее, мне понадобилось объединить (спаять) необходимые детали. Вот их список:

- Генератор, Управляемый Напряжением (ГУН).
- Настроечная Схема (для выбора желаемой частоты для подавления).
- Источник Помех (как правило, встроен в Настроечную Схему).
- Блок Усиления РЧ (так называемый “усилительный каскад”).
- Передающая Антенна.
- Источник питания на 12V.
- Соединительные провода.
- Катушки по 10 витков .

- Транзисторы.
- Мини кулер.
- Схема устройства представлена на рис. 1.

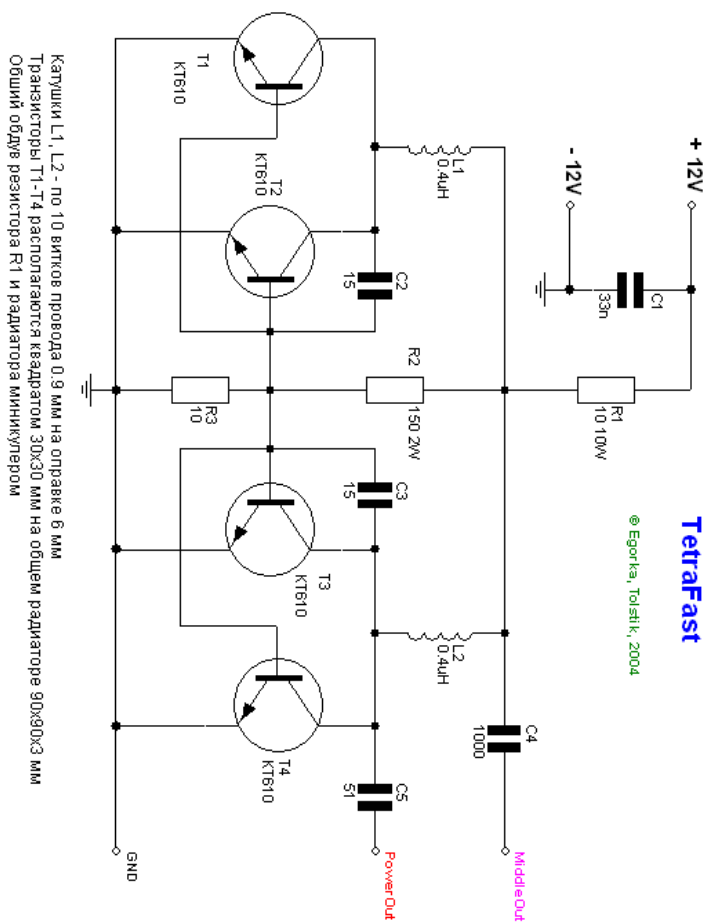


Рис. 1. Схема устройства.

ГУН является самой важной частью. Он производит РЧ сигнал, который будет взаимодействовать с блокируемым устройством.

Настроечная Схема может быть двух видов: разомкнутая схема и с обратной связью. Разомкнутая схема довольно проста и требует всего лишь несколько составляющих и дополнительные пассивные компоненты. Генератор пилообразных колебаний заставляет ГУН ходить от нижней частоте к верхней. Схема с обратной связью использует ФАПЧ, чтобы настроить и удерживать частоту ГУН на одном уровне. Для этой цели мне нужно было бы использовать микроконтроллер. Он программируется один раз и подключается к ГУН, поэтому он не настраиваемый.

Блок Усиления РЧ потребовался, чтобы расширить зону покрытия глушилки вместе с мощностью сигнала. Чем больше мощности подавителя сигналов, тем шире радиус его подавления. Ценой этому послужило время работы устройства. Большие мощности привели к меньшему времени работы батареи.

Передающая Антенна – это устройство, передающее сигналы, которые генерирует Ваш подавитель. Основной характеристикой антенны является КСВН (Коэффициент Стоячей Волны Напряжения). КСВН антенны должен равняться трем или ниже, так как обратные потери этой антенны минимальны.

Источник Питания поддерживает работу устройства. Обычно для работы подавителя мобильных телефонов используют 5В постоянного тока. Но разрабатываемое мною устройство глушит

также Wi-Fi. Кроме того, я установил мини кулер, не позволяющий устройству перегреваться. В результате пришлось использовать небольшой аккумулятор 12V. Из-за незначительных габаритов, он обеспечивает лишь 25-30 мин работы глушилки. Но стремительное развитие промышленности позволит решить эту проблему в будущем, путем использования более энергоёмкой батареи.

После завершения конструирования устройства, я приступил к испытаниям. Оказалось, что, несмотря на РЧ, толстые стены и/или большие предметы, стоящие на пути сигнала, они могут препятствовать распространению сигнала, что снизило радиус действия прибора в помещениях и на оживлённой улице. Кроме того, новые смартфоны начинали ловить сигнал на меньшем удалении, скорее всего из-за использования более совершенных антенн и приёмников. На рис. 2 представлен примерный график зависимости мощности сигнала от расстояния.

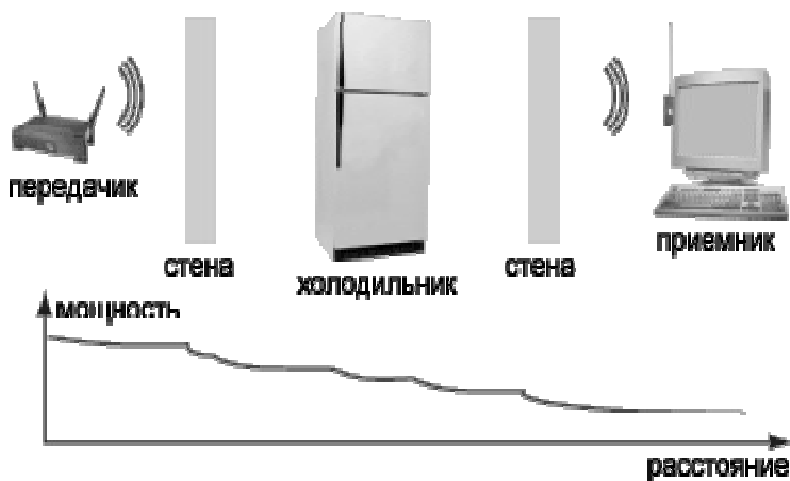


Рис. 2. График зависимости мощности сигнала от расстояния.

С учётом понизившегося радиуса действия я начал искать пути устранения проблемы. Дальнейшее усиление мощности РЧ не представлялось возможным, так как это исключило бы возможность продолжительной работы подавителя от аккумулятора. Тогда я задумался о возможной «мобильности» глушилки, то есть перемещении в желаемую область или за желаемым человеком без непосредственной переноски человеком. За решением я обратился к робототехнике.

На взлёт.

Квадрокоптер - это летающий аппарат,двигающийся посредством регулирования скорости вращения двигателей с пропеллерами (рис. 3). Именно его я решил использовать для

перемещения моего подавителя в будущем. Подбор нужного дрона я осуществлял с учётом необходимых параметров:

1. Дрон должен иметь ёмкую батарею для продолжительной работы.
2. Он должен управляться через нестандартный Wi-Fi частотой 5800МГц, чтобы иметь возможность управления в условиях работы глушилки.
3. Должен иметь возможность нести на борту подавитель и сохранять при этом стабильность полёта.
4. Должен иметь дальность полёта от 1 км, чтобы свободно перемещаться на обширных территориях.
5. Должен быть компактен и малозаметен.

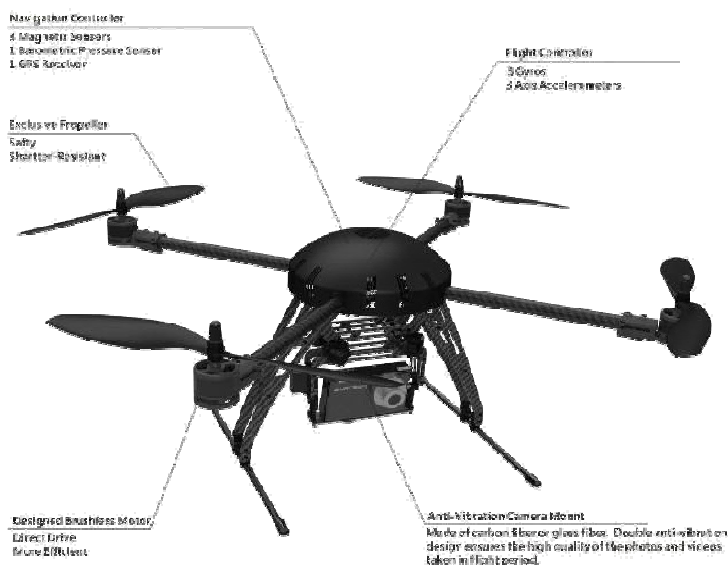


Рис. 3. Квадрокоптер.

Под данные критерии подходило лишь несколько профессиональных дронов с полностью ручным управлением. Я не смог использовать их в своей работе, так как их контроль в воздухе требует большого навыка, и стоимость дронов достаточно высока. Но квадрокоптер, не обладающий нужными параметрами, не подошёл бы для работы. По этой причине я обратился к сайтам моделлистов, и узнал, что дроны поддаются модернизации и доработке. Купленный мною квадрокоптер мог летать на расстояние до 1.6 км, но при этом обладал рядом недостатков, которые потребовалось исправить и доработать. А именно:

- Пластик корпуса оставлял желать лучшего и деформировался даже без падений. Появлялись трещинки под винтиками около двигателей, невысокая общая жёсткость. Сразу после покупки потребовалось проверить и подтянуть все крепления моторов к корпусу.
- Коптер потребовал точной настройки и калибровки, так как он не был настроен на заводе-изготовителе.
- Отсутствовал компас. Я установил специально разработанный для коптеров компас. Корпус пластиковый, а вот пара стальных винтов проходила в непосредственной близости от магнито-чувствительного датчика, что могло нарушать его нормальную работу. Их я заменил на винты из нержавеющей стали.
- Штатный подвес имел большой вес и не управлялся с пульта. Его я заменил на Zenmuse H3-2D, который не имел данных недостатков.
- Отсутствовала камера. На подвес я установил камеру DJI eye. Она транслирует изображение в режиме реального времени на смартфон, что позволяет управлять коптером при его вылете из зоны видимости.
- Идущий в комплекте видеопередатчик транслировал видео на частоте 2400МГц, которая заглушалась моим подавителем. Для получения изображения с камеры, я заменил видеопередатчик на аналог. Видеопередатчик DJI swv AVL58 имеет меньший радиус действия, но работает на

5800 МГц. После разграничения частот он перестал вносить помехи в сигнал от пульта управления.

- Скорость вращения винтов была программно ограничена, что не позволяло дрону нести на себе груз. Найденный в интернете Developer Kit – набор программ для разработчиков, позволил снять эти ограничения. Отныне коптер свободно перемещался с грузом на борту, но снятое ограничение сильно снизило время работы от аккумулятора, и сделало его полёт слегка дёрганым.
- Идущий в комплекте аккумулятор был рассчитан лишь на 15-20 мин. полёта. На практике квадрокоптер разряжался уже через 10 мин. активного пилотирования. После увеличения мощности винтов это время и вовсе сократилось до 5 мин. Чтобы вернуть исходное время работы, я заменил аккумулятор на аналог - LiPo HPR. ним коптер летает до 20 мин. на средних скоростях.
- Не устраивало прилагаемое в комплекте зарядное устройство. Вместо штатного зарядного устройства, которое вызывало множество нареканий от пользователей, я приобрёл более качественное - IMAX B6.
- Не рассчитан на полеты в помещениях. Изначально квадрокоптер был разработан для полётов на открытых пространствах. Для полётов в помещениях я установил дополнительный каркас, защищающий винты при возможных столкновениях. А также с помощью всё того же

Итоги:

Таким образом, я создал желаемый прибор. Устройство может свободно отлетать на расстояние до 1.3 км от пункта управления и глушить сигналы сотовых телефонов, wi-fi передатчиков и сеть Bluetooth.

Я уверен, что оно найдёт широкий спектр применения, так как сможет обеспечить конфиденциальность при встречах, закрытых показах и представлениях, устраняя возможность трансляции мероприятий по широко используемым каналам. Кроме того, нарушит работу подслушивающих «жучков» и камер. Не позволит злоумышленнику выйти за радиус своего действия для передачи незаконных данных, преследуя его. Обеспечит честность проведения экзаменов и аттестаций, имея возможность сопровождать учащихся, даже за пределами класса. Устранит нежелательные телефонные вызовы на концертах, в театрах и кинотеатрах, а также данный блокиратор может заглушить устройства, отслеживающие машины по их навигационным приборам. Подавитель может пригодиться даже саперам, чтобы заглушить сигнал детонатора, направленный через сотовую сеть или Wi-Fi.

Устройство ПЛАПС можно считать далёким от совершенства. Остаётся множество путей для его развития и модернизации, что откроет новые области его применения. Вот некоторые из возможных совершенствований:

- Замена корпуса на более прочный, например, алюминиевый.

- Усиление действующего сигнала подавителя, пульта управления и видеопередатчика.
- Оснащение коптера сложным ПО, позволяющим работать без оператора. Внедрение возможностей самостоятельного патрулирования и преследования намеченной цели.
- Отказ от бортовой камеры и глушение Wi-Fi 5.8 ГГц
- Уменьшение габаритов устройства и шума при работе для незаметности при полёте.
- Улучшение летательных характеристик коптера – манёвренности, устойчивости в воздухе.

СЕКЦИЯ IV. Системы безопасности

Сигнатурные алгоритмы поиска компьютерных вирусов

*СЛОБОДЧИКОВА Яна Олеговна
г. Стокгольм, СОШ при посольстве РФ
в Королевстве Швеция, 11 класс*

*Научный руководитель:
Астрахов Алексей Витальевич,
к.т.н., доцент кафедры «Защита
информации» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

1. Обзор предметной области борьбы с компьютерными вирусами.

1.1. Вредоносными программами называются любое программное обеспечение, предназначенное для получения несанкционированного доступа к вычислительным ресурсам компьютера или к информации, хранимой на нем, с целью несанкционированного использования ресурсов компьютера или нанесения ущерба владельцу информации путем копирования, искажения, удаления или подмены информации. По способу распространения и наносимому ущербу вредоносные программы условно можно поделить на три типа: вирус, троянская программа, сетевой червь.

1.1.1. Вирус - это небольшая, специально написанная вредоносная программа, способная создавать собственные копии и

внедрять их в коды других файлов, а также распространять указанные копии по каналам связи с целью нарушения работы программно-аппаратных комплексов, удаления файлов, приведения в негодность структур размещения данных, блокирования работы пользователей или же приведения в негодность аппаратных узлов компьютера.

1.1.2. Троянская программа - это вредоносная программа, распространяемая человеком для сбора, модификации и уничтожения информации, нарушении работы компьютера и использования его ресурсов. Троянская программа может имитировать имя и иконку существующей, несуществующей, или просто привлекательной программы, компонента, или файла данных (например, картинки), как для запуска пользователем, так и для маскировки в системе своего присутствия.

Троян может в той или иной мере имитировать или даже полноценно выполнять задачу, под которую она маскируется. В последнем случае вредоносный код встраивается злоумышленником в нормальную, легальную программу.

1.1.3. Сетевые черви - разновидность самовоспроизводящихся компьютерных программ, распространяющихся в локальных и глобальных компьютерных сетях. В отличие от компьютерных вирусов червь является самостоятельной программой. В первую очередь компьютерные черви передаются через электронную почту, различные интернет-мессенджеры, файлообменные и торрент-сети, локальные сети, сети обмена между мобильными устройствами. В основном они распространяются в виде

файлов, прикрепленных в качестве вложений к электронным письмам и сообщениям, или различными способами пользователю предлагается пройти по определенной ссылке, загрузить и запустить у себя на локальном компьютере некую крайне нужную и бесплатную программу, фотографию и т.д.

1.2. Вирусы и наносимый ими ущерб.

1.2.1. В настоящее время вирусы можно классифицировать по следующим признакам:

А). по среде обитания:

-- файловые вирусы, внедряющиеся в исполняемые файлы (*.COM, *.EXE, *.SYS, *.BAT, *.DLL).

-- загрузочные вирусы, внедряются в загрузочный сектор диска или в сектор, содержащий системный загрузчик винчестера.

-- макровирусы, внедряются в системы, использующие при работе так называемые макросы.

Б). по способу заражения среды обитания:

-- резидентные: при данном виде инфицирования компьютера вирус оставляет в оперативной памяти свою резидентную часть, которая затем перехватывает обращение операционной системы к объектам заражения и внедряется в них. Резидентные вирусы находятся в памяти и являются активными вплоть до выключения или перезагрузки компьютера.

-- нерезидентные: не заражают память компьютера и являются активными лишь ограниченное время.

В). по деструктивным возможностям:

-- **безвредные**: никак не влияют на работу компьютера, кроме уменьшения свободной памяти на диске в результате своего распространения.

-- **неопасные**: влияние данного типа вирусов ограничивается уменьшением свободной памяти на диске и графическими, звуковыми и пр. эффектами.

-- **опасные**: вирусы, которые могут привести к серьезным сбоям в работе программного обеспечения компьютера.

-- **очень опасные**: могут привести к потере программ, уничтожить данные, стереть необходимую для работы компьютера информацию, записанную в системных областях памяти и т.д.

Г). по особенностям алгоритма:

-- **компаньон-вирусы** - алгоритм работы этих вирусов состоит в том, что они создают для EXE-файлов файлы-спутники, имеющие то же самое имя, но с расширением COM. При запуске такого файла DOS первым обнаружит и выполнит COM-файл, т.е. вирус, который затем запустит и EXE-файл.

-- **вирусы-«черви»** - вариант компаньон-вирусов. «Черви» не связывают свои копии с какими-то файлами. Они создают свои копии на дисках и в подкаталогах дисков, никаким образом не изменяя других файлов и не используя COM-EXE прием, описанный выше.

-- **«паразитические»** - все вирусы, которые при распространении своих копий обязательно изменяют содержимое дисковых секторов или файлов.

-- **«студенческие»** - крайне примитивные вирусы, часто нерезидентные и содержащие большое число ошибок.

-- **«стелс»-вирусы** - представляют собой весьма совершенные программы, которые перехватывают обращения DOS к пораженным файлам или секторам дисков и «подставляют» вместо себя незараженные участки информации. Кроме того, такие вирусы при обращении к файлам используют достаточно оригинальные алгоритмы, позволяющие «обманывать» резидентные антивирусные мониторы.

-- **«полиморфик»-вирусы** - достаточно трудно обнаруживаемые вирусы, не содержащие ни одного постоянного участка кода. В большинстве случаев два образца одного и того же полиморфик-вируса не будут иметь ни одного совпадения. Это достигается шифрованием основного тела вируса и модификациями программы-расшифровщика.

-- **макровирусы** - вирусы этого семейства используют возможности макроязыков, встроенных в системы обработки данных.

1.2.2. Источники заражения:

А). CD\DVD диск, на котором находятся зараженные вирусом файлы.

Б). Компьютерная сеть, в том числе система электронной почты и Internet.

В). Жесткий диск, на который попал вирус в результате работы с зараженными программами.

Г). Вирус, оставшийся в оперативной памяти после предшествующего пользователя.

1.2.3. Признаки заражения:

А). уменьшение объема свободной оперативной памяти.

Б). замедление загрузки и работы компьютера;

В). странные изменения в файлах, а также изменения размеров и даты последней модификации файлов;

Г). ошибки при загрузке операционной системы;

Д). невозможность сохранять файлы в нужных каталогах;

Е). непонятные системные сообщения, музыкальные и визуальные эффекты и т.д.

1.2.4. Признаки активной фазы:

А). исчезновение файлов.

Б). форматирование жесткого диска.

В). невозможность загрузки файлов или операционной системы.

1.3. Методы борьбы с вирусами.

1.3.1. Профилактика:

1.3.1.1. Установка программ антивирусов: антивирус - специализированная программа, предназначенная для обнаружения компьютерных вирусов, а также нежелательных программ вообще и восстановления заражённых такими программами файлов, а также для профилактики предотвращения заражения файлов или операционной системы вредоносным кодом.

1.3.1.2. Обновление баз данных антивирусного ПО: новые вирусы и их модификации появляются каждый день в огромном количестве, поэтому, чтобы обезопасить компьютер от заражения, необходимо регулярно проводить обновление баз данных антивирусного ПО, а также не реже одного раза в неделю проводить полную проверку компьютера с обновленными базами.

1.3.1.3. Использование лицензионного ПО снижает риск заражения компьютера от этого программного обеспечения до минимума.

1.3.2. Уменьшение предполагаемого ущерба от заражения:

1.3.2.1. При заражении файла вирусом, пользователю будет предложено выбрать одно из следующих действий:

- переместить файл в карантин. Карантин – это специальное хранилище, в которое помещаются подозрительные объекты, возможно зараженные вирусами;
- исправить заражённый файл;
- удалить заражённый файл;
- игнорировать угрозу (нежелательно).

Выбор действия может быть произведён автоматически при задании данной опции в настройках программы или осуществлён пользователем в «ручном режиме».

1.4. Антивирусное программное обеспечение – это компьютерная программа (набор программ), которая выявляет вирусы, предотвращает заражение рабочих файлов и выполняет определенные действия, чтобы блокировать или удалять вредоносные программы.

1.4.1. Классификация антивирусного ПО:

1.4.1.1. По целевым платформам:

Антивирусные продукты для ОС семейства Windows.

Антивирусные продукты для ОС семейства UNIX.

Антивирусные продукты для ОС семейства MacOS.

Антивирусные продукты для мобильных платформ.

1.4.1.2. По технологиям антивирусной защиты:

- классические антивирусные продукты (продукты, применяющие только сигнатурный метод детектирования);
- продукты проактивной антивирусной защиты (продукты, применяющие только проактивные технологии антивирусной защиты);
- комбинированные продукты (продукты, применяющие как классические, сигнатурные методы защиты, так и проактивные)

1.4.1.3. По функциональности:

-- **сканеры** — определяют наличие вируса по базе сигнатур, хранящей сигнатуры вирусов. Их эффективность определяется актуальностью вирусной базы и наличием эвристического анализатора.

-- **ревизоры** — запоминают состояние файловой системы, что делает в дальнейшем возможным анализ изменений.

-- **сторожа** — отслеживают потенциально опасные операции, выдавая пользователю соответствующий запрос на разрешение/запрещение операции.

-- **вакцины** — изменяют прививаемый файл таким образом, чтобы вирус, против которого делается прививка, уже считал файл заражённым. В современных условиях, когда количество возможных вирусов измеряется сотнями тысяч, этот подход практически неприменим.

1.4.2. Сравнительный анализ четырех самых лучших антивирусов по рейтингам 2014 года:

А). **Norton** — антивирусная программа. Производится американской компанией Symantec на протяжении десяти лет. Последняя версия вышла в 2014 году. Считается первой коммерческой антивирусной программой. Это довольно быстрый антивирус для компьютера, который использует собственную запатентованную защиту, которая состоит из разных уровней, благодаря чему может надежно защитить компьютер от различных вредоносных видов программ и онлайн - угроз.

Защита компьютера Norton AntiVirus производится в фоновом режиме, благодаря чему возможно предотвращение кражи личных данных, а также блокировка «подозрительных» сайтов и информирование о «подозрительных» ссылках. С помощью новой версии Norton AntiVirus 2014 можно оптимизировать работу жесткого диска компьютера. При этом любой вредоносный файл при обнаружении антивирусом будет уничтожен.

В). **ESET-антивирус**, Новое решение для проактивной защиты клиентских рабочих станций от всех типов вредоносного ПО. Блокирует работу запрещенных приложений и исключает вероятность утечки конфиденциальной информации.

Позволяет проводить оперативное сканирование и распознавание всех типов угроз за счет сочетания интеллектуальных «облачных» технологий и запатентованного метода эвристического анализа. Такой подход позволяет мгновенно реагировать на все попытки проникновения вредоносных программ в корпоративную сеть компании.

В). **Kaspersky** — антивирусное программное обеспечение, разрабатываемое Лабораторией Касперского. Предоставляет пользователю защиту от вирусов, троянских и шпионских программ, руткитов, adware, а также от неизвестных угроз с помощью проактивной защиты, включающей компонент HIPS (только для старших версий, именуемых «Kaspersky Internet Security 2009+», где '+' — порядковый номер предыдущего регистра, ежегодно увеличиваемый на единицу в соответствии с номером года,

следующим за годом выпуска очередной версии антивируса). Первоначально, в начале 1990-х, именовался -V, затем — AntiViral Toolkit Pro.

Г). **Dr.web** – минимально необходимая защита от вирусов, шпионского ПО и хакеров. Включает комплекс программ: антивирусный сканер, антишпион, антируткит, превентивную защиту и персональный фаервол.

2.1. Сигнатурный поиск.

Сигнатурный поиск позволяет программам для восстановления данных работать с поврежденными и отформатированными разделами, а также с дисками, заново разбитыми на разделы.

2.1.1. Эвристический анализ основывается на предположении, что новые вирусы часто оказываются похожи на какие-либо из уже известных. Поэтому в антивирусных базах находятся сигнатуры для определения не одного, а сразу нескольких вирусов. Следовательно, эвристический метод заключается в поиске файлов, которые не полностью, но очень близко соответствуют сигнатурам известных вирусов.

2.1.2. Сигнатурные методы - точные методы обнаружения вирусов, основанные на сравнении файла с известными образцами вирусов. Анализ на основе сигнатурного метода основан на том, что большинство атак на систему известны, и развиваются по схожим сценариям. В данном подходе сигнатуры вторжений определяют характерные особенности, условия, устройства и взаимосвязь событий, которые ведут к попыткам или собственно к вторжению.

Простейшим методом реализации сигнатурного анализа является поддержание системой безопасности базы данных сигнатур вторжений. Последовательность действий, выполняемая пользователем или программой во время выполнения, сравнивается с известными сигнатурами. Признаком попытки нарушения безопасности может служить частичное соответствие последовательности событий сигнатуре.

Типичными представителями, реализующими данную идею, являются антивирусные сканеры (работают с базой данных сигнатур вирусов) и системы обнаружения сетевых атак (работают с базой данных сигнатур удаленных атак).

Необходимо отметить, что непосредственное сравнение сигнатуры вторжения с регистрируемой активностью малоэффективно в связи с тем, что регистрируемые данные, относящиеся к атаке, часто бывают «зашумлены» вследствие вариаций действий нарушителя во время атаки или мутаций сценария. Таким образом, сигнатурный метод вторжения предполагает использование методов искусственного интеллекта.

2.1.3. Алгоритм Рабина – Карпа - это алгоритм поиска строки, который ищет шаблон, то есть подстроку, в тексте используя хеширование. Алгоритм редко используется для поиска одиночного шаблона, но имеет значительную теоретическую важность и очень эффективен в поиске совпадений множественных шаблонов.

2.1.4. Алгоритм Кнута - Морриса –Пратта - эффективный алгоритм, осуществляющий поиск подстроки в строке. Время работы

алгоритма линейно зависит от объёма входных данных, то есть разработать асимптотически более эффективный алгоритм невозможно.

2.1.5. Алгоритм поиска строки Бойера — Мура считается наиболее быстрым среди алгоритмов общего назначения, предназначенных для поиска подстроки в строке. Преимущество этого алгоритма в том, что ценой некоторого количества предварительных вычислений над шаблоном шаблон сравнивается с исходным текстом не во всех позициях. Часть проверок пропускаются как заведомо не дающие результата.

2.2. Программа.

ПОИСК СОВПАДЕНИЯ "ГОЛОВЫ" СИГНАТУРЫ И
СОДЕРЖИМОГО ПРОВЕРЯЕМОГО ФАЙЛА

```
fseek(han_input,0L,SEEK_SET); i=0;

while(!feof(han_input)){

fread(bufer_in, 1, block_length, han_input);

for(i=0;i<kol_sig;i++){

for(k=0;k<block_length;k++){ kol_sovp=0;

for(j=0;j<head_of_sig1;j++){
```

```
if(bufer_in[k+j]==bulk[j][i]){ kol_sovp++;
```

```
//ЕСЛИ КОЛ-ВО СОВПАДЕНИЙ РАВНО ДЛИНЕ "ГОЛОВЫ", ТО  
ПРОВОДИМ ПОИСК ПО «ТЕЛУ» ВИРУСА
```

```
if(kol_sovp==head_of_sig1){    sig_length=sat[i+1]-sat[i]-  
head_of_sig1;
```

```
if ((sig_full = (unsigned char *) malloc(sig_length)) ==  
NULL){
```

```
printf("\nNOT ENOUGH MEMORY TO ALLOCATE  
FOR BUFER_FULL\n");
```

```
goto finish;
```

```
}
```

```
kol_sovp=0;k1=k+j+1;
```

```
fseek(han_bulk,sat[i]+head_of_sig1,SEEK_SET);
```

```
fread(sig_full, 1, sig_length, han_bulk);
```

```
for(j1=0;j1<sig_length;j1++){
```



```
if(bufer_in[k1+j1]==sig_full[j1]){ kol_sovp++;  
  
if(kol_sovp==sig_length){  
  
printf("\nFILE'%s' IS INFECTED",FILE_NAME);  
  
printf("\nTHE      VIRUS      NAME      IS      '%s'  
",*SIG_NAME[i+1]);  
  
goto finish;  
  
}  
  
}  
  
else break;  
  
}
```

Литература:

1. <http://www.kaspersky.ru/anti-virus-downloads?tc=UA&=>
2. <http://www.esetnod32.ru/business/products/antivirus/overview/>
3. <http://onprog.ru/norton-antivirus-2014.html>
4. <http://www.drweb.com/>

Методы измерения активного электрического сопротивления

*СУХОПУКОВА Надежда Алексеевна
г. Сергиев Посад, МБОУ «СОШ
с углубленным изучением отдельных
предметов № 18», 11 класс*

*Научный руководитель:
Козлачков Сергей Борисович,
к.н., доцент кафедры «Защита
информации» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Введение.

При проектировании, испытаниях и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры возникает необходимость точного знания электрического сопротивления как самих радиоэлектронных приборов, так и их составных частей, от сложных блоков до простейших радиодеталей [1-4]. Без знания этого основополагающего параметра электрической цепи невозможно определить, какую мощность будет потреблять прибор, невозможно сгенерировать колебания, настроить приёмник или передатчик на нужную частоту.

Измерение электрического сопротивления является одним из самых распространенных видов измерений. В данной работе рассмотрены различные способы измерения электрического сопротивления, приведены результаты практического измерения электрического сопротивления резисторов и оценка этих результатов, проведено сравнение точности методов измерения.

1. Методы измерения электрического сопротивления

1.1 Метод вольтметра-амперметра.

Измерение электрических сопротивлений можно производить с помощью вольтметра и амперметра. Идея измерения сопротивления основывается на использовании закона Ома: измеряемое сопротивление R_x подсчитывается по величинам напряжения U и тока I :

$$R_x = U/I.$$

Методу вольтметра-амперметра присуща погрешность, обусловленная собственным потреблением приборов. Он применяется в тех случаях, когда не требуется высокая точность, а также когда сопротивление должно быть измерено при некотором определенном значении тока или напряжения.

Возможны два варианта взаимного расположения приборов (рис. 1):

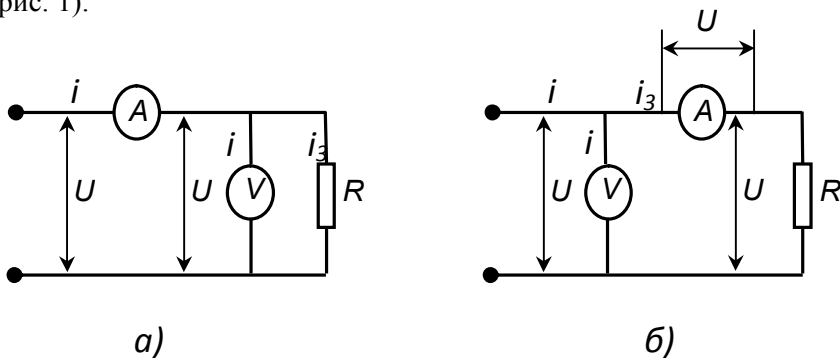


Рис. 1. Способы включения амперметра и вольтметра для измерения сопротивления.

Действительное значение сопротивления для схемы (рис. 1,а) равно U_2/i_3 , а значение, рассчитанное по показаниям приборов, равно

U_2/i_1 . Следовательно, погрешность измерения будет определяться сопротивлением вольтметра R_V :

$$\delta R = |R_{\Sigma} - R| = \left| \frac{RR_V}{R+R_V} - R \right| = \left| \frac{-R^2}{R+R_V} \right| = \frac{R^2}{R+R_V}.$$

Таким образом, для схемы (рис. 1,а) погрешность измерения будет обратно пропорциональна сопротивлению вольтметра.

$$\delta R \sim \frac{R}{R_V}.$$

Для схемы (рис. 1,б) действительное значение сопротивления равно $(U_1-U_a)/i_3$, а значение, рассчитанное по показаниям приборов, равно U_1/i_3 . Следовательно, погрешность измерения будет определяться сопротивлением амперметра:

$$\delta R = |R_{\Sigma} - R| = |R_a + R - R| = R_a$$

То есть, для схемы рис.1б погрешность измерения будет равна сопротивлению амперметра.

Таким образом, можно рекомендовать правило: измерение малых сопротивлений следует проводить по схеме рис. 1а, при измерении больших сопротивлений предпочтительнее схема рис. 1б.

Достоинством метода вольтметра-амперметра является его простота, недостатками - сравнительно невысокая точность результата измерения, которая ограничена точностью применяемых измерительных приборов и потребляемой ими мощностью, отсутствие

непосредственной оценки, необходимость вычислений для определения результатов измерений.

1.2 Мостовой метод

Мостом называется четырехполюсник (рис.2), к входным зажимам которого подводится питающее напряжение (точки *в* и *г*), а к двум другим присоединяется указатель равновесия (точки *а* и *б*).

Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и R_4 называются плечами моста, а цепи питания и указателя равновесия - диагоналями. Измеряемое сопротивление включается в одно из плеч схемы. Измерение при помощи мостов основано на том, что при соблюдении равновесия моста напряжение и, следовательно, ток между точками *а* и *б* равны нулю. Пользуясь этим условием, можно определить искомое значение сопротивления одного плеча по трем другим.

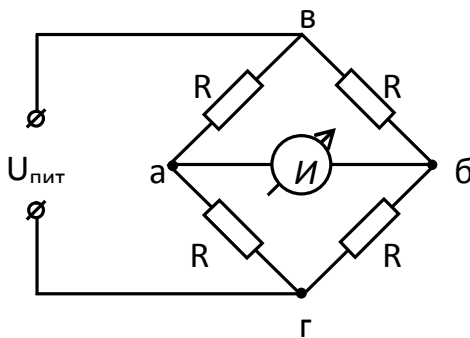


Рис. 2. Схема четырехплечего моста.

Уравнение равновесия выглядит как:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4.$$

Момент уравнивания моста определяется с помощью индикатора равновесия, в качестве которого могут быть использованы амперметр либо вольтметр. Достоинством мостового метода является высокая точность, недостатками – отсутствие непосредственной оценки, необходимость регулировок и вычислений для определения результатов измерений.

11.3 Резонансный метод

Для измерения активного сопротивления контура с помощью добавочного образцового сопротивления собирается схема, изображенная на рис. 3.

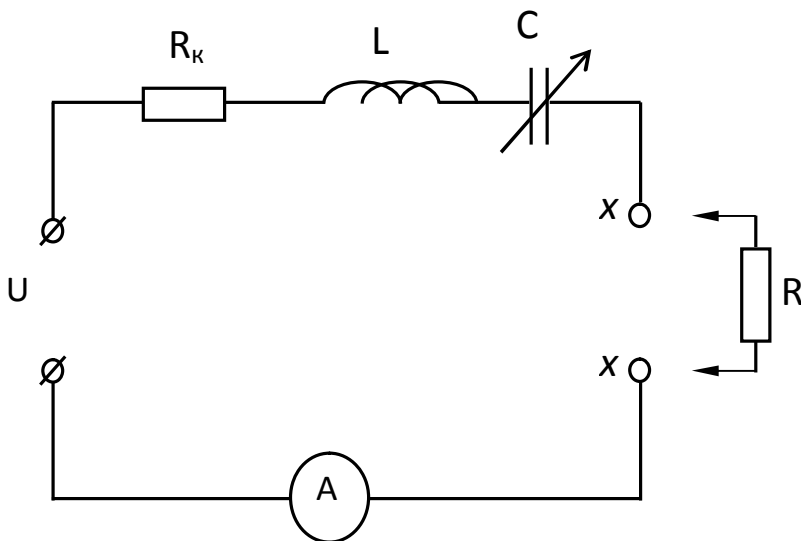


Рис. 3. Схема измерения активных сопротивлений резонансным методом.

При замкнутых накоротко клеммах x-x изменением ёмкости C контур настраивается в резонанс. Наступление резонанса

контролируется по показаниям амперметра, при резонансе они будут максимальными. Измеряется ток $I = I_1$.

Затем к клеммам х-х подключается измеряемое сопротивление R и снова измеряется ток $I = I_2$.

При резонансе без измеряемого сопротивления ток в контуре:

$$I_1 = U / R_{\kappa} .$$

а при включении сопротивления:

$$I_2 = U / (R_{\kappa} + R) .$$

Разрешая эти уравнения относительно R , получим

$$R = R_{\kappa} \frac{I_1 - I_2}{I_2} .$$

Погрешность измерения сопротивления определяется соотношением величин измеряемого сопротивления и сопротивления контура, а также точностью, с которой известно сопротивление контура. Кроме того, точность измерения сопротивления зависит от точности определения момента резонанса контура.

2. Практическое измерение активного сопротивления резистора

В данной работе выполнены практические измерения активных сопротивлений резисторов № 1 и № 2 (рис. 4).

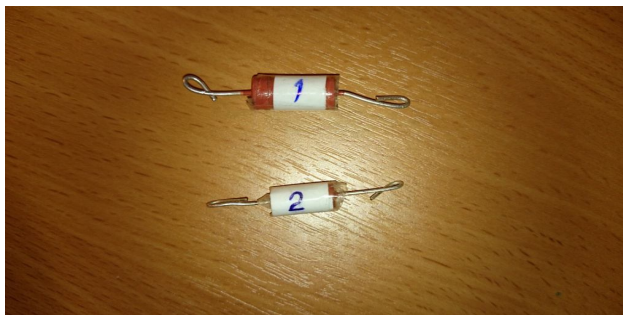


Рис. 4. Образцы резисторов.

2.1. Измерение методом вольтметра-амперметра

Измерения проводились с помощью следующих приборов:

- цифровой настольный мультиметр UNI-T UT803, который использовался в качестве вольтметра, погрешность измерения 0,01В;
- вольтметр универсальный В7-41, который использовался в качестве амперметра, погрешность измерения $\pm 0,5\%$.

Результаты измерений для схемы, приведенной на рис. 1,а, представлены в таблице 1, на рис. 1,б – в таблице 2.

Расчет погрешностей измерений R проводился по формуле:

$$\Delta R = \left| \frac{dR}{dU} \right| \Delta U + \left| \frac{dR}{dI} \right| \Delta I = \frac{1}{I} \Delta U + \frac{U}{I^2} \beta I \cdot I,$$

где U – измеренное значение напряжения, I – измеренное значение силы тока, βI – относительная погрешность измерения силы тока.

Пример собранной схемы измерений, соответствующей рис. 1,б, приведен на рис. 7.



а) UNI-T UT803



б) B7-41

Рис. 5. Измерительные приборы.

Accuracy Specifications
Accuracy: $\pm(1\% \text{ reading} + 5 \text{ digits})$ guarantee for 1 year.
Operating temperature: $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
Relative humidity: not more than 75% RH.
Temperature coefficient: 0.1% (specified accuracy/ $^{\circ}\text{C}$).
None:
Under the influence of Radiated, Radio-Frequency Electromagnetic Field phenomenon, the malfunction and can self-recover after the test.

A. DC Voltage

Range	Resolution	Accuracy	Over
600mV	0.1mV	$\pm(0.6\%+2)$	
6V	0.001V		
60V	0.01V	$\pm(0.3\%+2)$	
600V	0.1V		
1000V	1V	$\pm(0.5\%+3)$	

Remarks:
● Input Impedance:
At 600mV range : Around $>3000\text{M}\Omega$.
At all other ranges: Around $10\text{M}\Omega$.

38

а) UNI-T UT803

Продолжение таб.

Измеряемая величина	Диапазон измерений, В, мВ, мА	Пределы измерений	Пределы допускаемой относительной погрешности, %
Среднеквадратичное значение тока	$10^{-6} \div 10^{-4}$	200 мВ 2,20,200 мВ 2 мВ	$\pm[0,4+0,15(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[0,5+0,1(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[1,0+0,01(\frac{f}{f_0}-1)]$
Среднеквадратичное напряжение	$10^{-6} \div 10^{-4}$	200 мВ 2,20,200 мВ 2 мВ	$\pm[0,4+0,15(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[0,5+0,1(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[1,0+0,01(\frac{f}{f_0}-1)]$
Среднеквадратичное напряжение частотой 20-40 Гц	$10^{-6} \div 10^{-4}$	200 мВ 2,20,200 мВ 2 мВ	$\pm[2,0+0,20(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[2,0+0,20(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[2,0+0,20(\frac{f}{f_0}-1)]$
Среднеквадратичное напряжение частотой 40 Гц-1 кГц	$10^{-6} \div 10^{-4}$	200 мВ 2,20,200 мВ 2 мВ	$\pm[2,0+0,20(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[2,0+0,20(\frac{f}{f_0}-1)]$ $\pm[2,0+0,20(\frac{f}{f_0}-1)]$

б) B7-41

Рис. 6. Точностные характеристики измерительных приборов.

Таблица 1. Результаты измерений для схемы, приведенной на рис. 1,а.

№ п/п	U, В	I, мА	$R = \frac{U}{I}$, Ом	ΔR
-------	------	-------	------------------------	------------

Резистор № 1				
1	11,48	1,84	6239	36,6
2	12,60	2,02	6238	36,1
3	14,91	2,39	6238	35,4
4	15,55	2,49	6245	35,2
5	18,20	2,92	6233	34,6
	среднее значение		6239	35,6
Резистор № 2				
1	11,41	0,169	67515	397
2	13,74	0,204	67353	386
3	15,28	0,227	67313	381
4	19,79	0,294	67313	371
5	21,85	0,324	67438	368
	среднее значение		67386	380

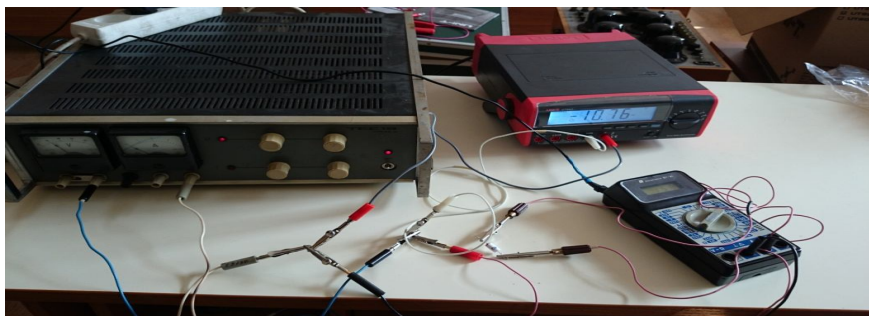


Рис. 7. Схема измерений, собранная в соответствии с рис. 1,б.

Таблица 2. Результаты измерений для схемы, приведенной на рис. 1,б.

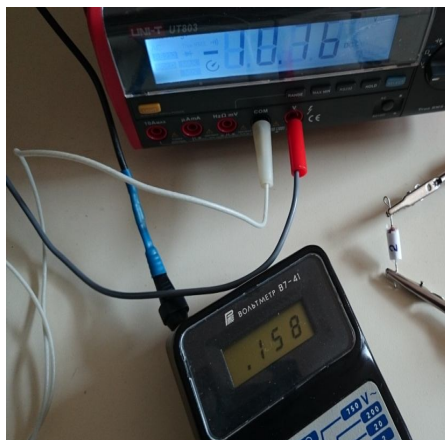
№ п/п	U, В	I, мА	$R = \frac{U}{I}$, Ом	ΔR
Резистор № 1				
1	13,42	2,15	6242	35,9
2	15,55	2,49	6245	35,2
3	16,59	2,66	6237	34,9
4	17,05	2,73	6245	34,9
5	20,30	3,25	6246	34,3
	среднее значение		6343	35,0
Резистор № 2				
1	20,30	0,299	67893	373
2	16,82	0,248	67823	379
3	15,14	0,223	67892	384
4	12,14	0,179	67821	395
5	10,76	0,158	68101	404
	среднее значение		67906	387

Примеры показаний приборов для измерения сопротивления резистора № 1 по схеме, соответствующей рис. 1а, (измерение № 4), приведены на рис. 8, а.

Примеры показаний приборов для измерения сопротивления резистора № 2 по схеме рис. 1б, (измерение № 5) приведены на рис. 8, б.



а)



б)

Рис. 8. Примеры показаний приборов при измерениях сопротивлений резисторов методом вольтметра – амперметра:

а) резистора № 1 по схеме рис. 1а, (измерение № 4;

б) резистора № 2 по схеме рис. 1,б, измерение № 5.

Используя распределение Стьюдента, оценим значение доверительного интервала для доверительной вероятности $P = 0,95$.

Количество измерений из $n=5$, число степеней свободы $k = n - 1 = 4$. Табличное значение параметра t для данных ($P = 0,95$, $k = 4$) равно $t = 2.78$

Полуширина доверительного интервала рассчитывается по соотношениям:

$$\varepsilon = \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}},$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{ср}})^2}{n - 1}},$$

$$x_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где S – среднеквадратическое отклонение, x_{cp} – среднее значение измерений. Результаты расчетов приведены в табл.3.

Таблица 3. Результаты расчета доверительного интервала по критерию Стьюдента.

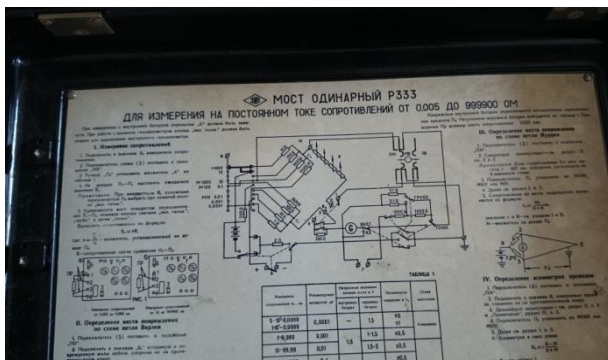
Исследуемый образец	Среднее значение x_{cp} , Ом	Среднеквадратическое отклонение S , Ом	Полуширина доверительного интервала	Границы доверительного интервала	
Схема рис. 1,а					
резистор № 1	6239	4,32	5,37	6233,2	6244,0
резистор № 2	67386	88,20	109,65	67276,7	67496,0
Схема рис. 2,а.					
резистор № 1	6243	3,84	4,77	6238,3	6247,8
резистор № 2	67906	114,70	142,61	67763,5	68048,7

2.2. Измерение мостовым методом

Измерения проводились с помощью моста постоянного тока Р333, представленного на рис. 9. В пределах измерения от 1 Ом до 10 кОм этот прибор имеет класс точности 0,5, что означает, что относительная погрешность измерения составляет 0,5%.



а) внешний вид



б) технические характеристики

Рис. 9. Мост постоянного тока Р333.

Результаты измерений сопротивлений резисторов № 1 и № 2 представлены в таблице 4 и на рис. 10. Результаты расчета доверительного интервала по критерию Стьюдента приведены в таблице 5.



а) резистор № 1



б) резистор № 2

Рис. 10. Измерение сопротивлений мостовым методом.

Таблица 4. Измерения сопротивлений резисторов мостовым методом.

Номер опыта	Результат измерения R , Ом	Абсолютная погрешность измерения ΔR , Ом
Резистор № 1		
1	6227	31,1
2	6228	31,1
3	6227	31,1
4	6228	31,1
5	6228	31,1
среднее значение	6228	31,1
Резистор № 2		
1	67850	339
2	67860	339
3	67850	339
4	67850	339
5	67840	339
среднее значение	67850	339

Таблица 5. Результаты расчета доверительного интервала по критерию Стьюдента.

Исследуемый образец	Среднее значение $x_{\text{ср}}$, Ом	Среднеквадратическое отклонение S , Ом	Полуширина доверительного интервала	Границы доверительного интервала	
резистор № 1	6228	0,55	0,68	6226,9	6228,3
резистор № 2	67850	7,07	8,79	67841,2	67858,8

3. Анализ результатов.

Обработка полученных при измерениях активных сопротивлений резисторов № 1 и № 2 данных позволила определить доверительные интервалы, в которых с вероятностью 0,95 будут находиться действительные значения сопротивлений резисторов. Эти интервалы для различных методов измерений приведены на рисунке 11. ирина доверительного интервала для мостового метода измерений меньше примерно от 8 до 16 раз, чем для метода вольтметра-амперметра, следовательно, мостовой метод является более точным. То, что доверительные интервалы этих методов не всегда перекрываются, можно объяснить погрешностями измерений за счет собственных сопротивлений вольтметра и амперметра в методе вольтметра-амперметра.

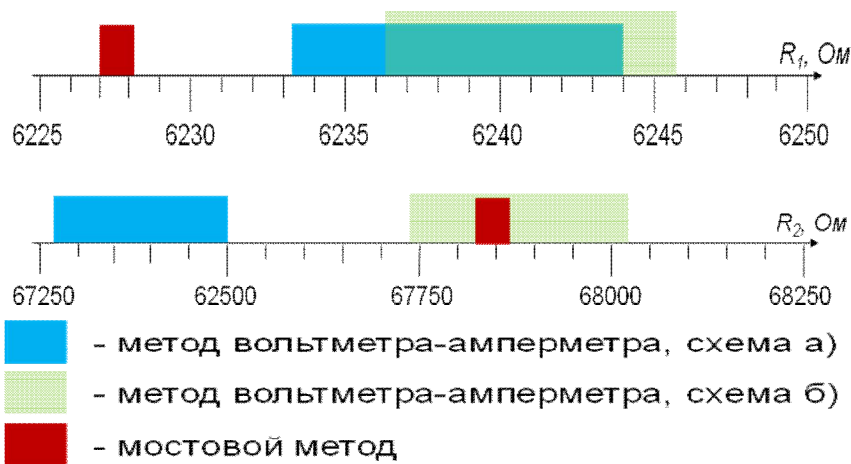


Рис.11. Доверительные интервалы результатов измерения активного сопротивления резисторов R_1 и R_2

Ширина доверительного интервала для мостового метода измерений меньше примерно от 8 до 16 раз, чем для метода вольтметра-амперметра, следовательно, мостовой метод является более точным.

То, что доверительные интервалы этих методов не всегда перекрываются, можно объяснить погрешностями измерений за счет собственных сопротивлений вольтметра и амперметра в методе вольтметра-амперметра.

Заключение.

В ходе выполнения данной работы получены следующие результаты:

1. Проведен анализ методов измерения активного сопротивления:

- метода вольтметра-амперметра при различных вариантах включения измерительных приборов;
- мостового метода;
- резонансного метода.

2. Проведены практические измерения сопротивления двух резисторов методами вольтметра-амперметра, при различных схемах включения приборов, и мостовым.

3. Оценены погрешности измерений. С помощью распределения Стьюдента оценены значения доверительных интервалов для доверительной вероятности 0,95.

4. Показано, что наиболее точным является мостовой метод измерения активного сопротивления.

Литература:

1. Анцыферов С. С. Общая теория измерений. Учебное пособие для ВУЗов. Горячая линия-Телеком, 2007
2. Романов В.Н. Теория измерений. Точность средств измерений: Учебное пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003. - 154 с.
3. Журавлев Л.Г., Маринейко М.А., Семенов Е.И., Цветков Э.И. Методы электрических измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Мурашкина Т. И., Мещеряков В. А., Бадеева Е. А. Теория измерений: Учеб. пособие для вузов. (Общетехнические дисциплины) М.: Высшая школа 2007.

СЕКЦИЯ V. Радио-опто-электроника

Расчет диаграмм направленности линзовых антенн

*ГЕРЖИК Анастасия Алексеевна
г. Москва, ГБОУ Лицей №1793, 11 класс*

*Научный руководитель:
Ахияров Владимир Влорович,
к.т.н., доцент кафедры
«Радиоэлектронные системы и
устройства» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Введение

В работе исследована слоистая линзовая антенна с цилиндрической симметрией, называемая линзой Люнеберга. Рассмотрены ее параметры и изучена конструкция. Представлены диаграммы направленности для различного числа слоев в линзе и сделаны выводы о том, насколько допустимо упрощать конструкцию линзовой антенны.

В первой главе приведены общие сведения о линзовых антеннах, особое внимание уделяется сферическим линзовым антеннам Люнеберга. Представлена классификация всех линзовых антенн, а также формулы для теоретического расчета основных параметров антенны.

В начале второй главы составлен план проведенного исследования: определение фокуса и построение диаграммы направленности. Показана геометрия линзы: концентрические слои

диэлектрика между двумя металлическими дисками. Далее последовательно рассматриваются характеристики линзы Люнеберга, состоящей из пяти, трех и двух слоев. Для каждого случая исследование характеристик проводится на двух разных длинах волн, равных 8,6 мм и 3 см. В работе представлены графики распределения амплитуды ближнего поля и диаграммы направленности. Для каждой линзы теоретически просчитаны значения КНД и ширины луча, которые впоследствии сравниваются с рассчитанными с помощью компьютерной программы электродинамического моделирования.

В заключении подведены основные итоги по проделанной работе и сделаны выводы о том, насколько эффективна линзовая антенна, имеющая наиболее простую геометрию.

1. Общие сведения о линзовых антеннах

1.1 Классификация линзовых антенн

Линзовые антенны занимают особое место в радиотехнических системах СВЧ диапазона. Они обладают многими замечательными свойствами. К примеру, в них сравнительно легко создать такое распределение поля по раскрыву, которое обеспечит диаграмму направленности (ДН) с малым уровнем боковых лепестков. Линзы без перестройки работают в широкой полосе частот. С их помощью нетрудно создать диаграмму направленности заданной формы. Линзы одинаково хорошо работают как на линейно-поляризованной волне, так и на волне с круговой поляризацией. Линзовые антенны имеют свою классификацию, которая представлена на рис. 1.1.

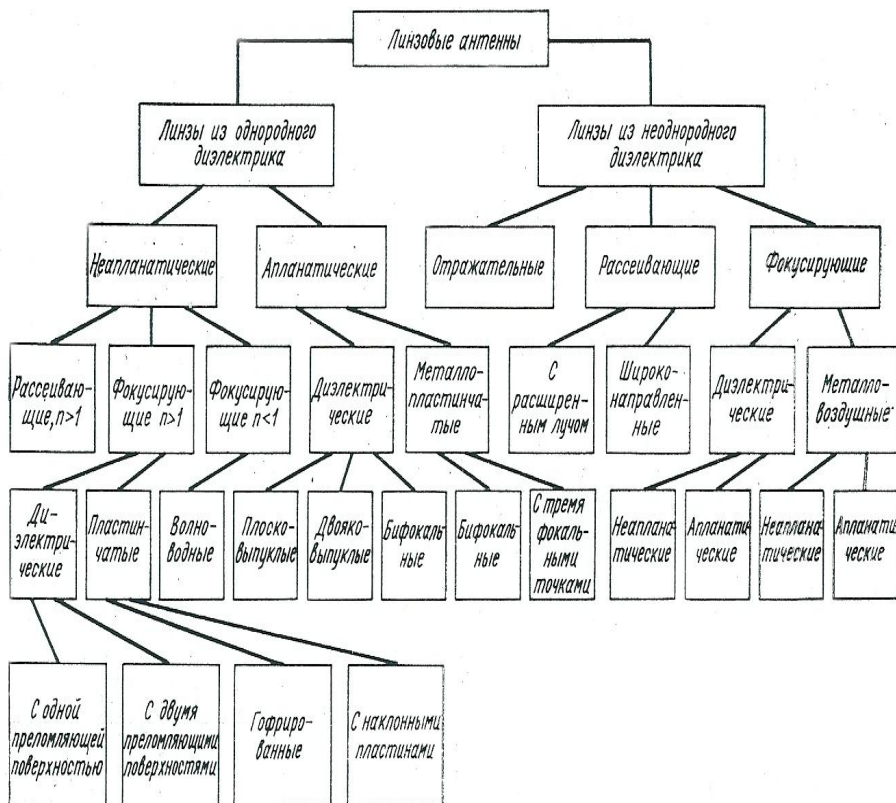


Рис. 1.1. Классификация линзовых антенн [1].

Линзы из однородного и неоднородного диэлектрика различаются тем, что в первой группе линз преобразование сферически расходящейся волны, излучаемой облучателем, в волну с заданной формой фазового фронта достигается только за счет придания поверхности линзы того или иного профиля. В линзах из неоднородного диэлектрика главную роль играет правильный выбор закона изменения коэффициента преломления n , который меняется в

процессе перехода волны из одного слоя линзы в другой. Поэтому изготовление линз из неоднородного диэлектрика представляет задачу более трудную, чем из однородного диэлектрика.

Линзовые антенны можно изготавливать не только из естественного диэлектрика. Среду, в которой электромагнитная волна распространяется с фазовой скоростью, отличной от фазовой скорости в свободном пространстве, можно получить различными способами. Так, например, замедляющую среду можно создать, если в обычный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, близкой к единице, вкрапливаются металлические или диэлектрические элементы (металлический порошок, металлические или диэлектрические с диэлектрической проницаемостью $\epsilon > 1$ шарики, диски, полосы и др.). Фазовая скорость волны, распространяющейся в такой среде, будет ниже, чем в свободном пространстве. Подбирая форму вкрапливаемых элементов и их плотность, можно создать среду с любым, наперед заданным коэффициентом преломления и любым законом его изменения.

1.2 Линза Лüneберга

Линзы из неоднородного диэлектрика могут иметь сферическую либо цилиндрическую симметрию. В линзах Максвелла, Микаэляна и Лüneберга реализованы различные законы изменения диэлектрической проницаемости. На рис. 1.2 представлена 18-ти лучевая сферическая линзовая антенна Лüneберга, которая была установлена в августе 2014 года в Чикаго (США). Целью установки антенны было улучшение качества мобильной связи, которая не

выдерживала нагрузок из-за большого количества пользователей мобильного интернета во время авиашоу (около 2 млн. человек за два дня).

Структура сферической линзы Лüneберга из неоднородного диэлектрика хорошо просматривается на рис. 1.3. Видно, что здесь слои линзы складываются последовательно из отдельных фрагментов с определенной диэлектрической проницаемостью.



Рис. 1.2. Линзовая антенна Лüneберга в Чикаго (Линкольн парк) [2].



Рис. 1.3. Слоистая структура линзы Лüneберга из неоднородного диэлектрика.

Установлено, что если показатель преломления в сферической линзе Лüneберга изменяется вдоль радиуса по закону [3]:

$$n = \sqrt{2 - \left(\frac{R}{R_{max}}\right)^2}, \quad (1),$$

где R_{max} — радиус сферы; R — текущий радиус точки внутри сферы, то такая линза превращает сферический фронт волны точечного источника, расположенного на поверхности сферы, в плоский фронт волны (рис. 1.4).

Перемещая первичный источник (например, открытый конец волновода или рупор) по поверхности сферы, можно перемещать луч антенны по всем направлениям без искажения формы ДН (рис. 1.5). Однако чаще сферическую линзу Люнеберга снабжают решеткой облучателей, каждому из которых соответствует своя неподвижная остронаправленная ДН. Возникает так называемая многолучевая антенная система, способная обслуживать одновременно и независимо несколько передатчиков или приемников. Возможно осуществлять непрерывный радиолокационный контроль окружающей обстановки в широком секторе углов, а также вести направленную радиосвязь с многими корреспондентами [1].

На рис. 1.6. представлена линза Люнеберга, которая находится в безэховой камере. К ней подключен один рупор. При последующем подключении других рупоров можно получить многолучевую антенную систему, в которой каждому облучателю соответствует своя ДН.

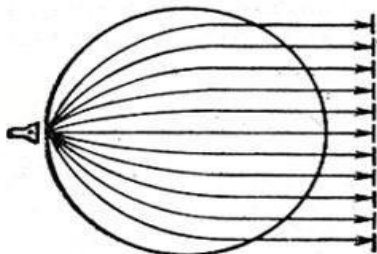


Рис. 1.4. Лучевые траектории в линзе Лунеберга.

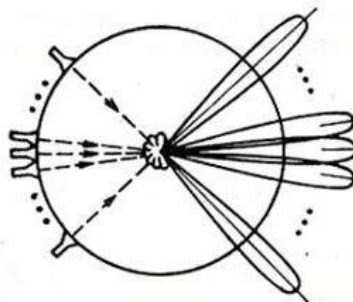


Рис. 1.5. Диаграмма направленности линзы Лунеберга при возбуждении несколькими источниками.

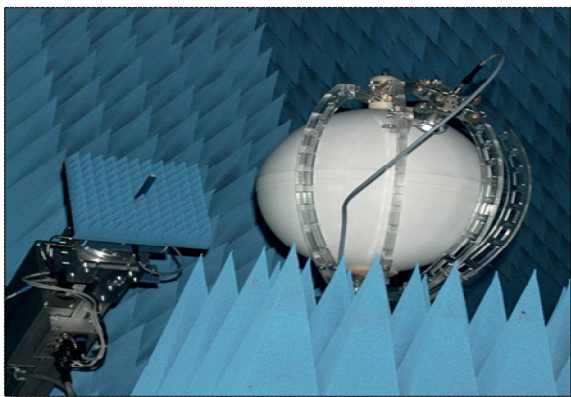


Рис.1.6. Линза Лунеберга с одним рупором.

В данной работе в качестве объекта исследований выбрана линза Люнеберга с цилиндрической симметрией. Для проведения расчетов удобным является использование программы электромагнитного моделирования FEKO, которая, основываясь на математических методах расчета, позволяет получить диаграмму направленности линзовой антенны.

Программа FEKO предназначена для решения широкого круга задач, связанных с проектированием СВЧ устройств и антенн, рассеянием электромагнитных волн на сложных объектах, распространением радиоволн в городских условиях и т.д.

Главной особенностью программы FEKO, отличающей ее от других коммерческих программ электромагнитного проектирования, является удачное сочетание базового метода моментов с приближенными аналитическими методами: методом физической оптики и однородной теории дифракции [4].

1.3. Формулы расчета основных параметров линзовой антенны.

В процессе исследования необходимо будет получить диаграммы направленности слоистых цилиндрических линз Люнеберга, рассчитать их коэффициент направленного действия и коэффициент усиления, чтобы иметь возможность сделать выводы о полученных характеристиках и выяснить, насколько возможно упростить конструкцию линзовой антенны из неоднородного диэлектрика.

Согласно теории апертурных антенн, диаграмма направленности (ДН) – это пространственное распределение электромагнитного поля в относительных единицах. Диаграмма направленности по мощности представляет собой зависимость мощности, проходящей через единичную площадь от угловых координат в пространстве. Пример иглообразной пространственной диаграммы направленности приведен на рис. 1.7.

Способность антенны концентрировать энергию в определенном направлении или быть более чувствительной к приему энергии, приходящей с определенного направления, определяется коэффициентом направленного действия (КНД).

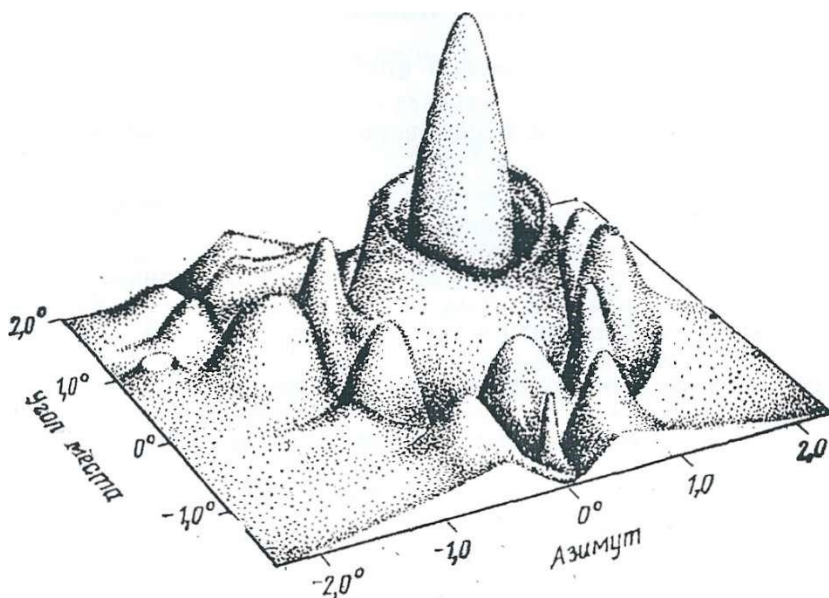


Рис. 1.7. Пространственная ДН иглообразного типа антенны.

При расчете коэффициента направленного действия КНД антенна рассматривается как преобразователь без потерь, учитывающий только эффекты, связанные с распределением поля по апертуре. Рассчитывается КНД по формуле[3]:

$$G_D = 4\pi \frac{S}{\lambda^2} \quad (2),$$

где S - площадь раскрыва антенны, а λ - длина волны.

Коэффициент усиления также является параметром направленного действия антенны. Он учитывает связанные с антенной омические потери и радиочастотный нагрев. Расчетная формула коэффициента усиления [2]:

$$G = \eta G_D, \quad (3),$$

где η - коэффициент полезного действия антенны, а G_D -КНД.

Из рис. 1.7 видно, что ограниченная ширина главного лепестка ДН делает антенну устройством, чувствительным к угловому положению относительно цели. Степень этой чувствительности можно оценить шириной главного лепестка ДН антенны или шириной луча. Главный лепесток является непрерывной функцией, и поэтому ширина главного лепестка чаще всего определяется между точками половинной мощности (на уровне – 3 дБ).

Теоретически ширина главного лепестка рассчитывается по формуле [2]:

$$\Theta \approx \frac{\lambda}{D} \frac{180}{\pi}, \quad (4),$$

где D-ширина раскрыва.

5. План исследований.

Все линзы Люнеберга обладают сферической или цилиндрической симметрией. Линзовая антенна Люнеберга из пяти слоев с цилиндрической симметрией на длине волны 8,6 мм была рассмотрена в работе [5], а мы будем исследовать линзу Люнеберга с цилиндрической симметрией из пяти, трех и двух слоев. Все расчеты будем проводить для двух длин волн 8,6мм и 3см. В первом случае высота линзы – 3,4мм (рис. 2.1, а), а во втором – 1см. (рис. 2.1, б). Такие значения высоты соответствуют ширине узкой стенки прямоугольного волновода для выбранной длины волны. Радиус этой линзы выбран равным 5см, сверху и снизу линзы ограничены металлическими дисками радиусом 6см.

Поскольку линза Люнеберга из неоднородного диэлектрика сложна в изготовлении, то перспективной задачей является поиск наиболее простого метода создания линзы при сохранении высокого коэффициента усиления и хорошей диаграммы направленности линзы. Идея исследований – выбор минимально возможного числа слоев при сохранении высоких характеристик направленности линзы.

Следует заметить, что в идеале фокус линзы Люнеберга находится точно на поверхности. Однако на практике получается так, что фокус смещается либо за поверхность линзы, либо внутрь из-за

того, что закон изменения показателя преломления нельзя осуществить идеально точно. Поэтому для каждой линзы необходимо отдельно искать фокус, что также можно осуществить в программе электродинамического моделирования FEKO. Для этого линза облучается плоской волной, вектор E параллелен слоям и перпендикулярен металлическим дискам. После определения фокуса помещаем в него волновод и решаем задачу возбуждения линзы отрезком волновода (рис 2.2). При $\lambda = 8,6$ мм сечение волновода 3,4x7,2 мм, при $\lambda = 3$ см – 1x2,3 см.

Рассчитанные с помощью программы FEKO характеристики слоистых линзовых антенн в дальнейшем будем сравнивать с теоретическими значениями, полученными по формулам (2) и (4), а также будем оценивать уровень боковых лепестков (УБЛ).

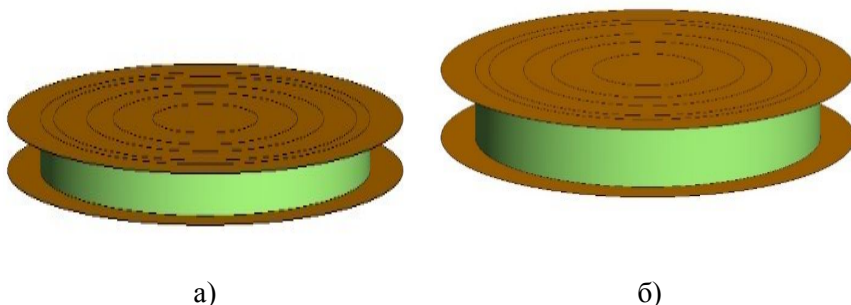
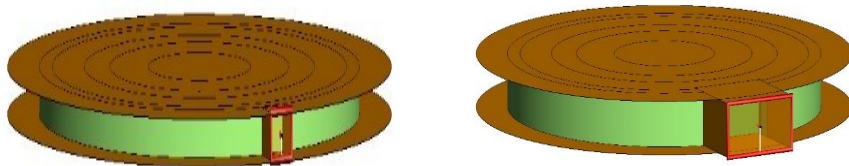


Рис. 2.1. Внешний вид линзы:
а) $\lambda = 8,6$ мм, б) $\lambda = 3$ см.



а)

б)

Рис. 2.2. Линза Лüneберга с размещенным волноводом:

$$\text{а) } \lambda = 8,6 \text{ мм, } \text{б) } \lambda = 3 \text{ см.}$$

6. Линза из пяти слоев.

В данном исследовании линзой с наибольшим количеством слоев является линза Лüneберга из пяти слоев. Подберем для нее соответствующий закон изменения показателя преломления (рис. 2.3). Красным цветом (дуга) на данном рисунке показаны результаты расчетов по формуле (1) для непрерывного закона изменения показателя преломления.

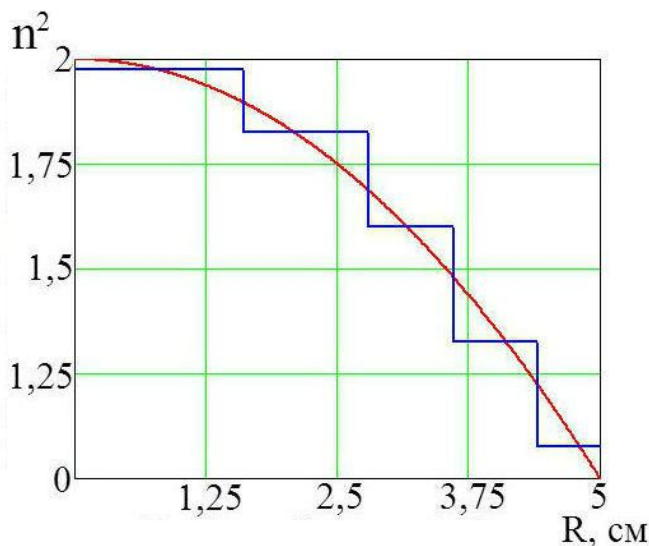


Рис. 2.3 Закон изменения показателя преломления для линзы из пяти слоев.

Для удобства дискретный закон изменения показателя преломления представлен в таблице 1.

Таблица 1. Линза из пяти слоев.

R, см	0...1,6	1,6...2,8	2,8...3,6	3,6...4,6	4,6...5
n^2	1,975	1,825	1,6	1,325	1,075

1.1. Длина волны 8,6 мм.

На основании рисунка 3.1. и данных из таблицы 1 синтезируем линзу из пяти слоев высотой 3,4 мм, соответствующей длине волны 8,6 мм. Структура такой линзы продемонстрирована на рисунке 3.2. Пять слоев диэлектрика зажаты между двумя плоскими металлическими пластинами, которые выполняют роль экрана.

Согласно плану исследований, ищем фокус линзы Люнеберга из пяти слоев на длине волны 8,6 мм. Для этого, используя программу электродинамического моделирования FEKO, облучаем линзу плоской волной и рассчитываем амплитуду ближнего поля. Результаты представлены на рис. 3.3 и 3.4. На рис. 3.3 хорошо виден максимум амплитуды поля, соответствующий фокусу линзы (красный цвет). Такому распределению поля в пространстве при $y=0$ соответствует график на рис. 3.4, на котором представлено изменение амплитуды электромагнитного поля по оси x .

Из графика на рис. 3.4 видно, что фокус линзы сформировался за ее пределами на координате $x=5,25$ см. Далее поместим в фокус линзы волновод сечением 3,4х7,2 мм.

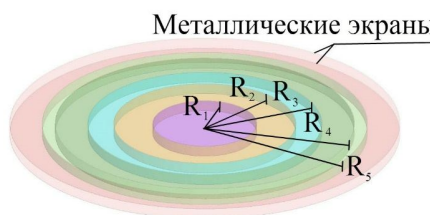


Рис. 3.2. Слои внутри линзы Люнеберга из пяти слоев при $\lambda = 8,6$ мм.

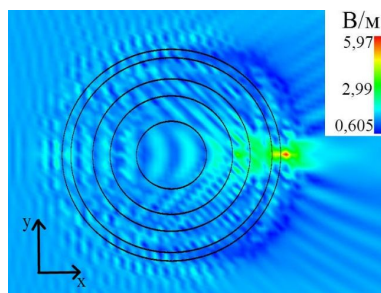


Рис. 3.3. Амплитуда ближнего поля линзы Люнеберга из пяти слоев при облучении плоской волной $\lambda = 8,6$ мм.

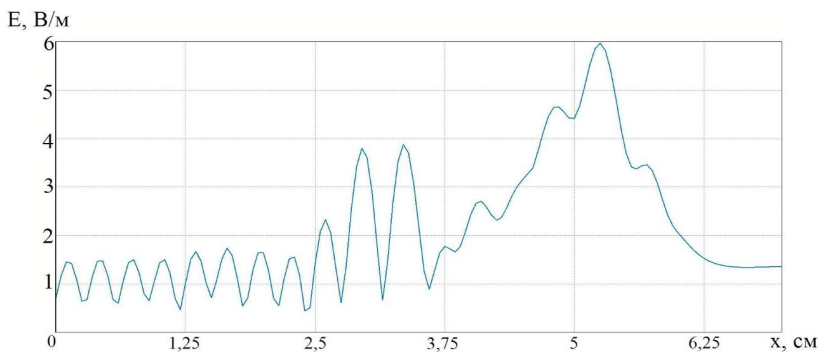


Рис. 3.4. Распределение амплитуды поля по оси x для линзы Люнеберга из пяти слоев при $\lambda = 8,6$ мм.

На рис. 3.5,а показана структура ближнего поля при возбуждении линзы отрезком прямоугольного волновода. А на рис. 3.5,б хорошо видны волновые фронты, и следует отметить, что на выходе действительно образуется плоский волновой фронт, что свидетельствует о том, что фокус и закон изменения показателя преломления для данной линзы выбраны правильно.

Диаграмма направленности данной линзы Люнеберга представлена на рис. 3.6. Согласно расчетам, выполненным с помощью программы, коэффициент направленного действия составляет 17 дБ, уровень боковых лепестков - 18дБ, ширина главного лепестка по уровню - 3дБ равна 5 град.

Теперь получим КНД и ширину луча ДН с помощью теоретических расчетов по формулам (2) и (4). Из второй формулы получаем, что КНД равен 17,62 дБ, а из четвертой выясняем, что ширина главного лепестка должна быть равна 5 град.

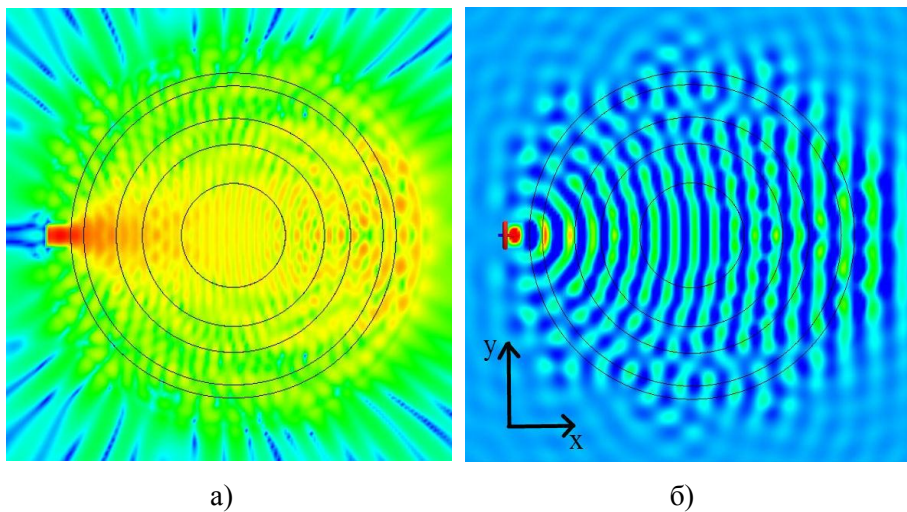


Рис. 3.5. Результаты расчетов ближнего поля линзы из пяти слоев при

$\lambda = 8,6$ мм: а) Амплитуда поля, б) Действительная часть амплитуды поля.

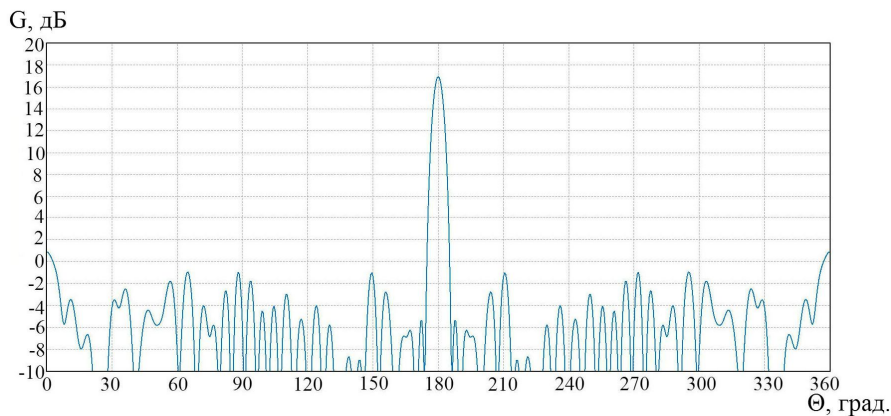


Рис. 3.6. Диаграмма направленности линзы Лüneберга из пяти слоев при $\lambda = 8,6$ мм.

Вывод: на восьми миллиметрах получили хорошую линзу с параметрами, соответствующими теоретическим значениям.

1.2. Длина волны 3 см.

Теперь рассмотрим ту же линзу, но на длине волны 3 см. Для этого на основании рисунка 3.1 и данных таблицы 1 синтезируем линзу из пяти слоев высотой 1 см, соответствующей длине волны 3 см.

Далее, как и в прошлом случае, ищем фокус линзы Лüneберга. Для этого облучаем линзу плоской волной и рассчитываем амплитуду ближнего поля и получаем результаты, представленные на рис. 3.7 и 3.8. На рис. 3.7 замечаем максимум амплитуды поля, соответствующий фокусу линзы (красный цвет).

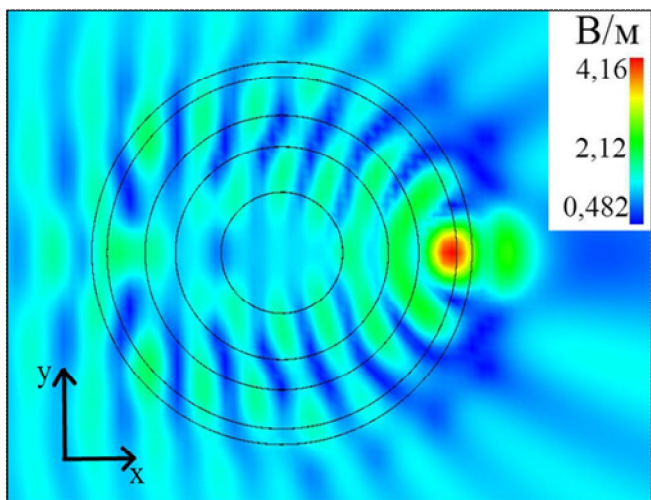


Рис. 3.7. Амплитуда ближнего поля линзы Лüneберга из пяти слоев при облучении плоской волной $\lambda = 3$ см.

На рис. 3.8. представлено распределение электромагнитного поля данной линзы по оси x . Из графика на рис. 3.8. устанавливаем, что фокус сформировался внутри линзы, на координате $x=4,4$ см.

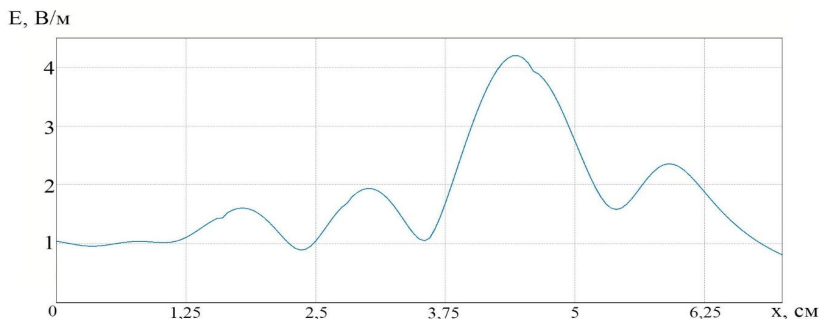


Рис. 3.8. Распределение амплитуды поля по оси x для линзы Люнеберга из пяти слоев при $\lambda = 3$ см.

Далее поместим в фокус линзы волновод сечением 1 см х 2,3 см. Так как фокус смещен внутрь линзы, то допускается вырезать в линзе соответствующее отверстие и поместить туда волновод.

На рис. 3.9,а показана структура ближнего поля при возбуждении данной линзы отрезком прямоугольного волновода. А на рис. 3.9,б просматриваются ее волновые фронты. На выходе также образуется плоский волновой фронт, но уже не такой четкий, как на длине волны 8,6 мм.

На рис. 3.10. изображена диаграмма направленности данной линзы Люнеберга. Таким образом, коэффициент направленного действия в данном случае составляет 11,3 дБ, уровень боковых лепестков -15,7 Б, ширина главного лепестка по уровню -3дБ равна 17 град.

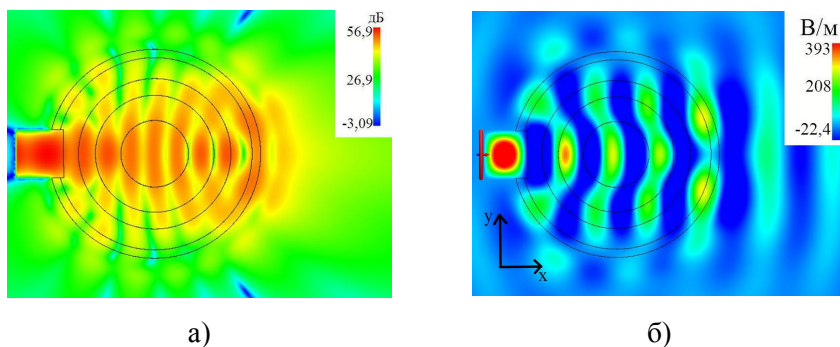


Рис. 3.9. Результаты расчетов ближнего поля линзы из пяти слоев при $\lambda=3$ см:

а) Амплитуда поля б) Действительная часть амплитуды поля.

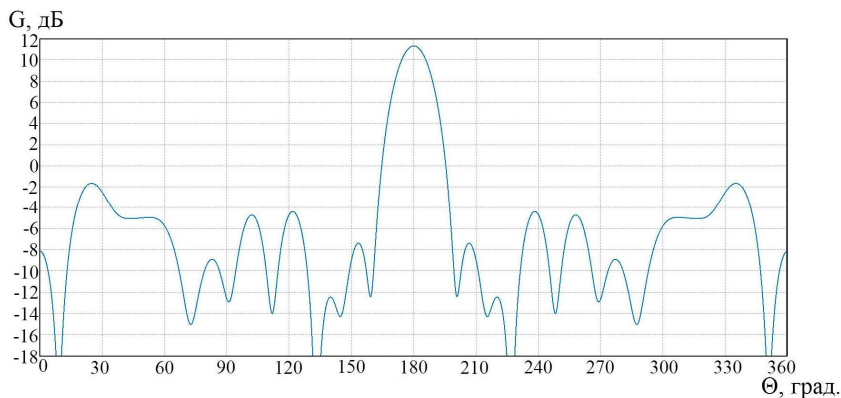


Рис. 3.10. Диаграмма направленности линзы Лунеберга из пяти слоев при $\lambda=3$ см.

Теперь получим те же величины, но с помощью теоретических расчетов по формулам (2) и (4). Согласно формуле (2) КНД равен 11,45 дБ. По формуле (4) ширина главного лепестка должна быть равна 17,2 град.

Вывод: на трех сантиметрах параметры линзы также соответствуют теоретическим. Однако направленное действие этой

антенны хуже, чем на 8,6 мм, что соответствует известным теоретическим представлениям.

2. Линза из трех слоев.

Так как главной целью работы является выбор наиболее простой конструкции линзы Люнеберга при сохранении высоких характеристик направленности, то мы будем уменьшать количество слоев в линзе и исследовать получившуюся конструкцию.

Итак, закон изменения показателя преломления для линзы из трех слоев будет выглядеть следующим образом (рис. 4.1) Красным цветом (дуга) на данном рисунке показаны результаты расчетов по формуле (1) для непрерывного закона изменения показателя преломления.

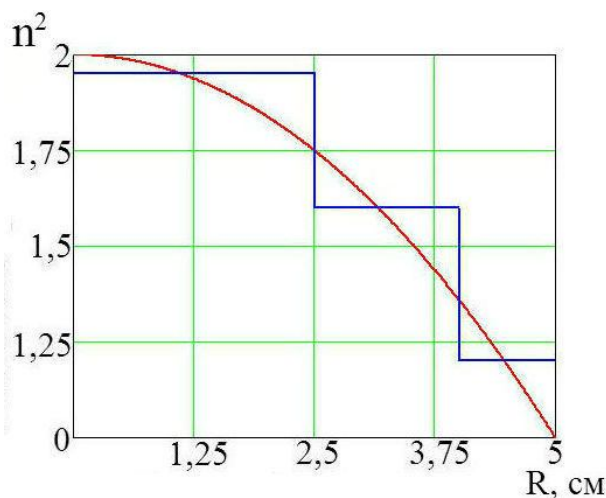


Рис. 4.1. Закон изменения показателя преломления для линзы из трех слоев.

Дискретный закон изменения показателя преломления представлен в таблице 2.

Таблица 2. Линза из трех слоев.

R, см	0...2,5	2,5...4	4...5
n^2	1,95	1,6	1,2

2.1. Длина волны 8,6мм.

На основании рис. 4.1 и данных таблицы 2 синтезируем линзу из трех слоев высотой 3,4 мм, соответствующей длине волны 8,6мм. Структура такой линзы продемонстрирована на рис. 4.2.

Далее необходимо найти фокус линзы Люнеберга из трех слоев на длине волны 8,6мм. Облучая линзу плоской волной, получаем графическое представление распределения электромагнитного поля (рис. 4.3) и амплитуды поля x при $y=0$ (рис. 4.4).

На рис. 4.3 красным цветом обозначается максимум амплитуды поля, соответствующий главному фокусу линзы. Также наблюдается раздвоение фокуса и образование дополнительного максимума амплитуды поля, отмеченного желтым цветом ближе к центру линзы. А из графика на рис. 4.4 устанавливаем, что главный фокус линзы сформировался на координате $x=5,22$ см., то есть, на расстоянии 2,2мм за пределами линзы.

Далее, в соответствии с планом исследований, поместим в фокус линзы волновод сечением 3,4 x 7,2мм.

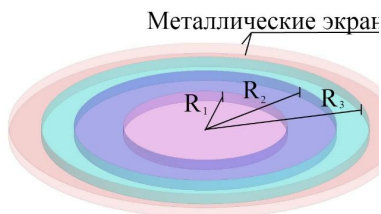


Рис. 4.2. Слои внутри линзы Люнеберга из трех слоев при $\lambda = 8,6$ мм.

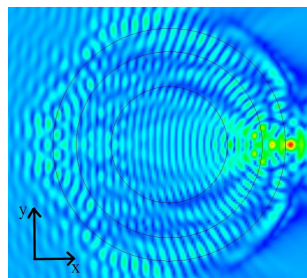


Рис. 4.3. Амплитуда ближнего поля линзы Люнеберга из трех слоев при облучении плоской волной $\lambda = 8,6$ мм.

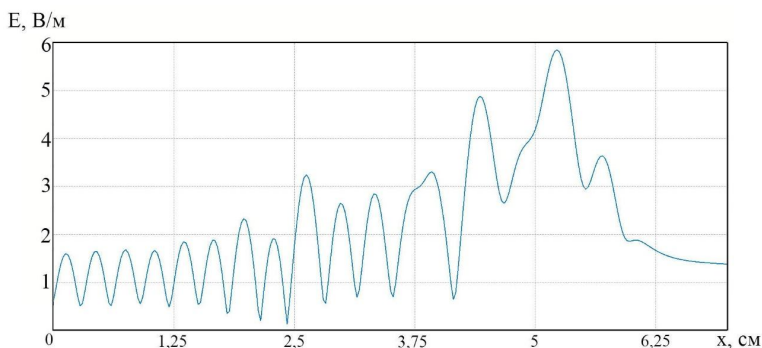


Рис. 4.4. Распределение амплитуды поля по оси x для линзы Люнеберга из трех слоев при $\lambda=8,6$ мм.

На рис. 4.5,а) показана структура ближнего поля при возбуждении линзы отрезком прямоугольного волновода. На рис. 4.5,б представлена действительная часть амплитуды поля, позволяющая судить о форме волнового фронта внутри линзы и за ее пределами. На выходе из линзы наблюдается образование плоского волнового фронта, что свидетельствует о правильном выборе фокуса.

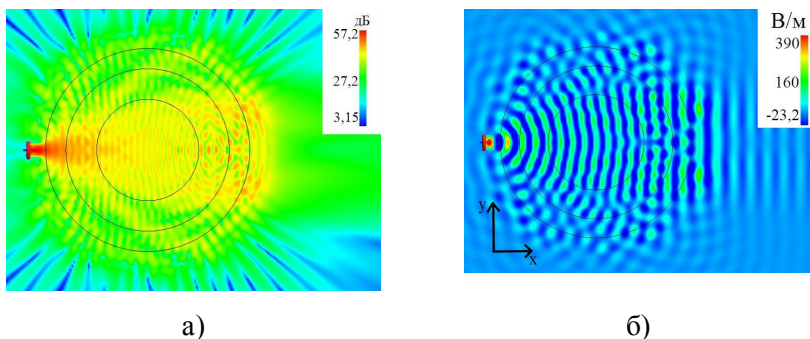


Рис. 4.5. Результаты расчетов ближнего поля линзы из трех слоев при $\lambda=8,6$ мм: а) Амплитуда поля б) Действительная часть амплитуды поля.

Диаграмма направленности данной линзы Лüneберга представлена на рис. 4.6. Согласно расчетам, выполненным с помощью программы, коэффициент направленного действия составляет 16,3дБ, уровень боковых лепестков - 13,6дБ, ширина главного лепестка по уровню -3дБ равна 5 град. Теоретические значения $G_D = 17,62$ дБ, ширина луча – 5 град.

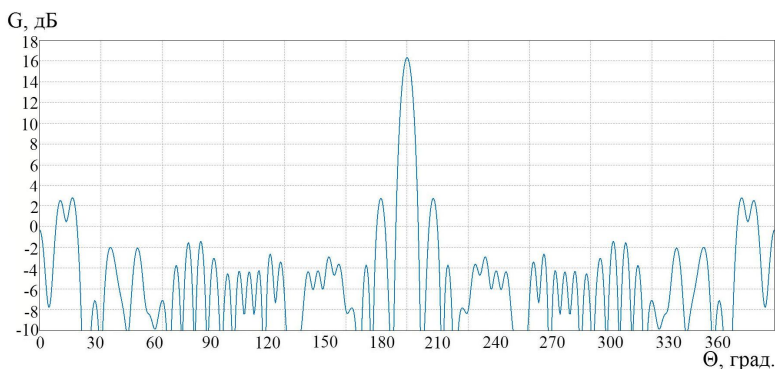


Рис. 4.6. Диаграмма направленности линзы Лüneберга из трех слоев при $\lambda=8,6$ мм.

Вывод: ширина главного лепестка соответствует расчетным, однако наблюдается некоторое ухудшение показателя направленного действия. Это объясняется тем, что у линзы образовались боковые лепестки немного больше желаемого уровня.

2.2. Длина волны 3 см.

Теперь рассмотрим ту же линзу Лüneберга из трех слоев, но на длине волны 3 см. Для этого на основании рисунка 4.1 и таблицы 2 синтезируем линзу высотой 1 см, соответствующей длине волны 3 см. Далее ищем фокус линзы Лüneберга. Для этого, облучаем линзу плоской волной, рассчитываем амплитуду ближнего поля и получаем результаты, представленные на рис. 4.7 и 4.8. На рис. 4.7 замечаем максимум амплитуды поля, соответствующий фокусу линзы (красный цвет).

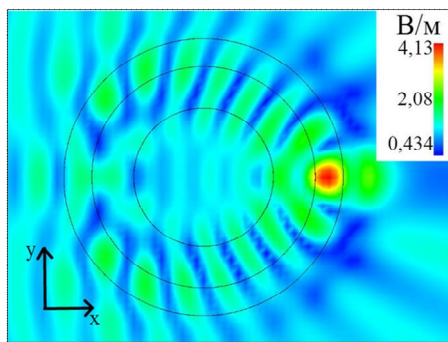


Рис. 4.7. Амплитуда ближнего поля линзы Лüneберга из трех слоев при облучении плоской волной длиной 3 см.

На рис. 4.8 представлено распределение электромагнитного поля данной линзы по оси x . Устанавливаем, что фокус сформировался внутри линзы, на координате $x=4,45$ см.

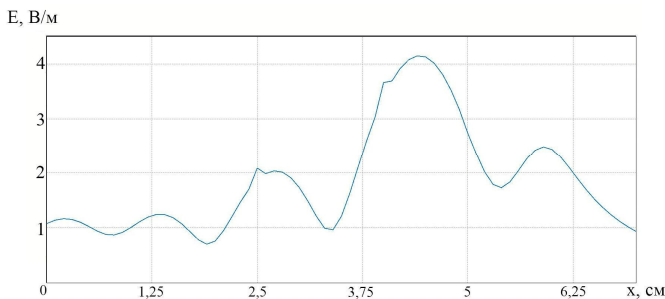
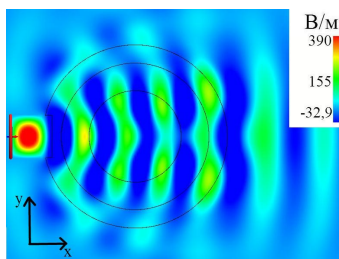
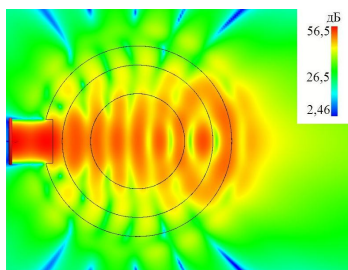


Рис. 4.8. Распределение амплитуды поля по оси x для линзы Люнеберга из трех слоев при $\lambda=3$ см.

Далее поместим в фокус линзы волновод сечением 1 см х 2,3 см. Так как фокус немного смещен внутрь линзы, то вырезаем в линзе соответствующее отверстие и помещаем туда волновод.

На рис. 4.9,а показана структура ближнего поля при возбуждении данной линзы отрезком прямоугольного волновода. На рис. 4.9,б просматриваются волновые фронты. На выходе из линзы образуется плоский волновой фронт.



а)

б)

Рис. 4.9. Результаты расчетов ближнего поля линзы из трех слоев при $\lambda=3$ см:

а) амплитуда поля б) действительная часть амплитуды поля.

На рис. 4.10 изображена диаграмма направленности данной линзы Люнеберга. Коэффициент направленного действия в данном случае составляет 11,2дБ, уровень боковых лепестков -17дБ, ширина главного лепестка по уровню -3дБ равна 17,5 град.

Теперь получим те же величины, но с помощью теоретических расчетов по формулам (2) и (4). Согласно формуле (2) КНД равен 11,45дБ. По формуле (4) ширина главного лепестка должна быть равна 17,2 град.

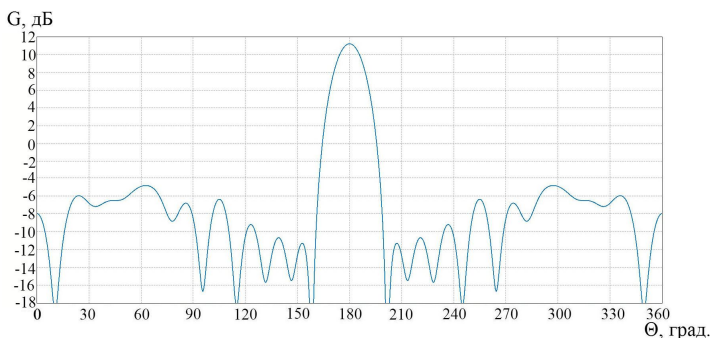


Рис. 4.10. Диаграмма направленности линзы Люнеберга из трех слоев при $\lambda=3$ см.

Вывод: на трех сантиметрах параметры линзы Люнеберга из трех слоев также соответствуют расчетным. Линза обладает хорошим направленным действием и имеет невысокий уровень боковых лепестков.

3. Линза из двух слоев.

Упростим конструкцию линзы до минимально возможного количества слоев и исследуем характеристики линзы Люнеберга, имеющей всего два слоя диэлектрика. Закон изменения показателя преломления для линзы из двух слоев показан на рис. 5.1.

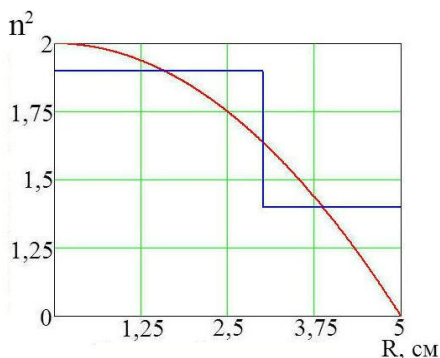


Рис. 5.1. Закон изменения показателя преломления для линзы из двух слоев.

Дискретный закон изменения показателя преломления представлен в таблице 3.

Таблица 3. Линза из двух слоев.

R(см)	0...3	3...5
n^2	1,9	1,4

3.1. Длина волны 8,6мм.

На основании рисунка 5.1 и данных таблицы 3 синтезируем линзу из двух слоев высотой 3,4мм, соответствующей длине волны 8,6мм. Структура такой линзы продемонстрирована на рисунке 5.2.

Согласно плану исследований, ищем фокус линзы Люнеберга из двух слоев на длине волны 8,6мм.

Облучая линзу плоской волной заданной длины, получаем распределение электромагнитного поля (рис. 5.3) и график зависимости амплитуды от x при $y=0$ (рис. 5.4).

На рис. 5.3. красным цветом обозначается максимум амплитуды поля, соответствующий фокусу линзы. Видно, что фокус находится внутри линзы.

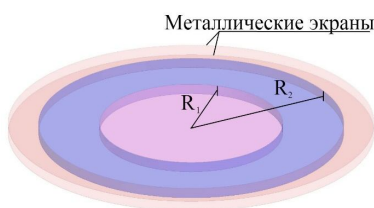


Рис. 5.2. Слои внутри линзы Лüneберга из двух слоев при $\lambda=8,6$ мм.

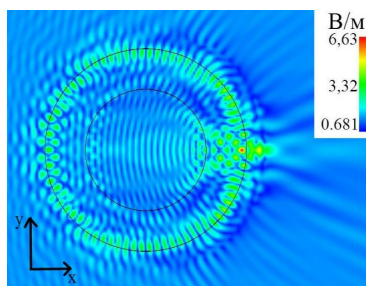


Рис. 5.3. Амплитуда ближнего поля линзы Лüneберга из двух слоев при облучении плоской волной $\lambda=8,6$ мм.

Из графика распределения амплитуды поля по оси x на рис. 5.4 устанавливаем, что координата фокуса $x=4,78$ см. Также можно отметить, что фокус немного распался, и на координате $x=5,54$ см за пределами линзы образовался второй максимум амплитуды поля, но послабее.

Далее снова вырезаем в линзе соответствующее отверстие и помещаем в главный фокус волновод сечением $3,4$ мм $\times$ $7,2$ мм.

Структура ближнего поля при возбуждении линзы отрезком прямоугольного волновода показана на рис. 5.5,а. На рис. 5.5,б представлена форма волнового фронта в линзе и за ее пределами.

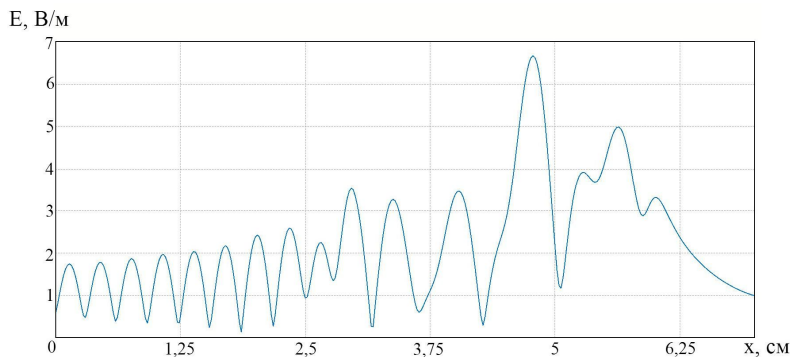
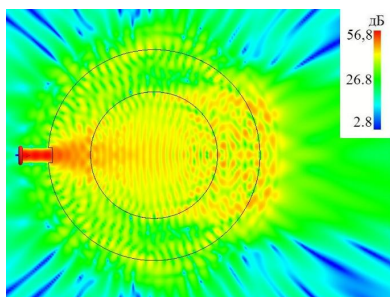
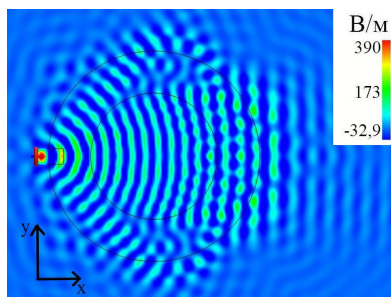


Рис. 5.4. Распределение амплитуды поля по оси x для линзы Люнеберга из двух слоев при $\lambda=8,6$ мм.



а)



б)

Рис. 5.5. Результаты расчетов ближнего поля линзы из двух слоев при $\lambda=8,6$ мм:

а) Амплитуда поля б) Действительная часть амплитуды поля.

Диаграмма направленности данной линзы Люнеберга представлена на рис. 5.6.

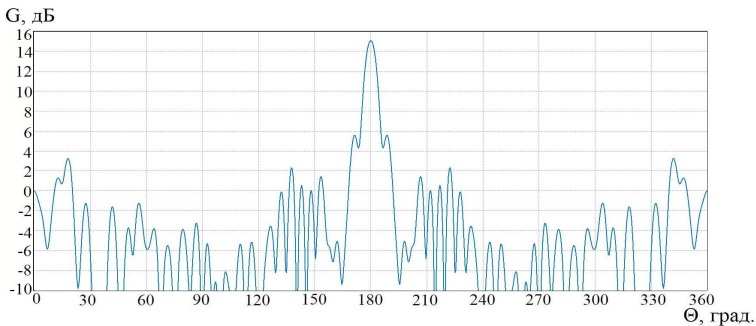


Рис. 5.6. Диаграмма направленности линзы Лüneберга из двух слоев при $\lambda=8,6$ мм.

Согласно результатам, представленным на рис. 5.6, коэффициент направленного действия составляет 15дБ, уровень боковых лепестков -9,4дБ, ширина главного лепестка по уровню -3дБ равна 4,9 град.

Теоретические значения: КНД равен 17,62дБ, ширина главного лепестка должна быть равна 5 град.

Вывод: для линзы Лüneберга из двух слоев на длине волны 8,6мм наблюдается распад фокуса и, как следствие, ухудшение характеристик направленности. Ширина главного лепестка практически совпадает с расчетной. Образуются боковые лепестки довольно высокого уровня.

3.2. Длина волны 3 см.

Рассмотрим последний случай: линза Лüneберга из двух слоев на длине волны 3см. Для этого на основании рисунка 5.1 и данных таблицы 3 синтезируем линзу высотой 1см, соответствующей длине волны 3см.

Далее ищем фокус линзы Люнеберга. Графики на рис. 5.7 и 5.8 показывают распределение электромагнитного поля в линзе при облучении плоской волной длиной 3 см. На рис. 5.7 замечаем максимум амплитуды поля, соответствующий фокусу линзы (красный цвет), а также образовавшийся второй максимум амплитуды поля (желтый цвет). По графику распределения амплитуды электромагнитного поля по оси x на рис. 5.8 определяем координату главного фокуса $x=4,55$ см.

Так как главный фокус сформировался внутри линзы, то, чтобы поместить туда волновод, вырезаем в линзе соответствующее отверстие. Сечение волновода 1 см х 2,3 см.

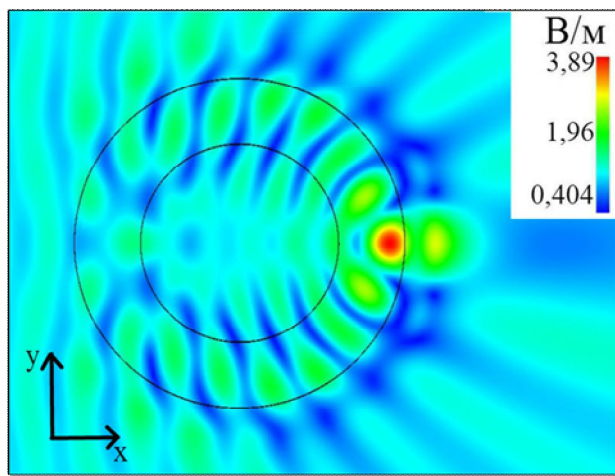


Рис. 5.7. Амплитуда ближнего поля линзы Люнеберга из двух слоев при облучении плоской волной $\lambda=3$ см.

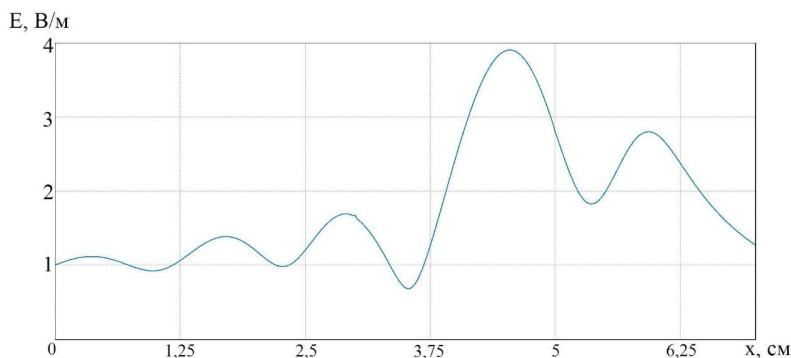


Рис. 5.8. Распределение амплитуды поля по оси x для линзы Лüneберга из двух слоев при $\lambda=3$ см.

На рис. 5.9,а показана структура ближнего поля при возбуждении данной линзы отрезком прямоугольного волновода. А на рис. 5.9,б представлено преобразование волнового фронта в линзе.

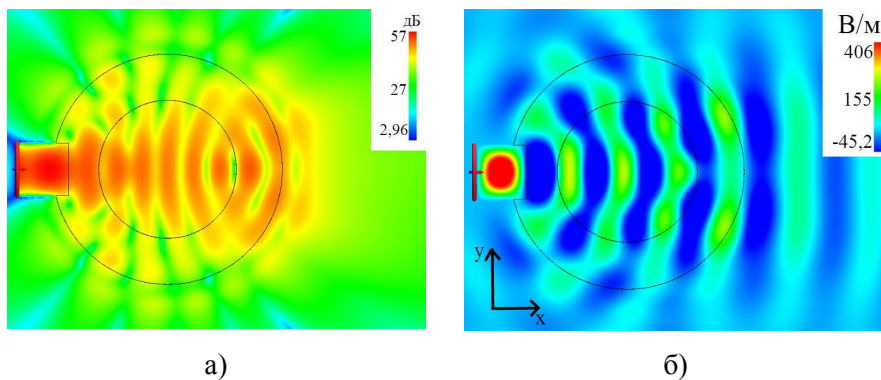


Рис. 5.9. Результаты расчетов ближнего поля линзы из двух слоев при $\lambda=3$ см:

а) Амплитуда поля б) Действительная часть амплитуды поля.

На рис. 5.10 изображена диаграмма направленности данной линзы Лüneберга.

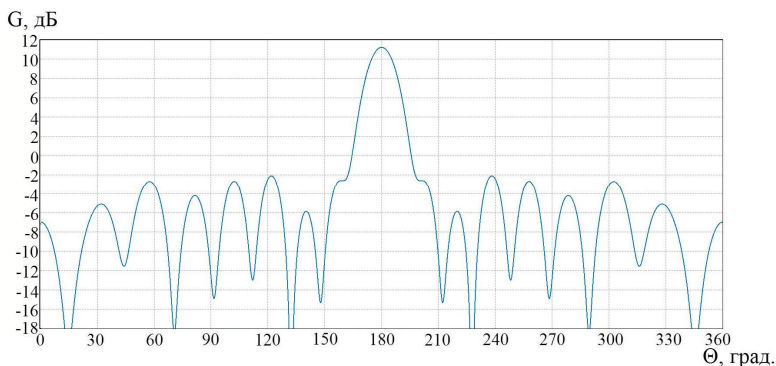


Рис. 5.10. Диаграмма направленности линзы Лüneберга из двух слоев при $\lambda=3$ см.

Таким образом, коэффициент направленного действия в данном случае составляет 11,2дБ, уровень боковых лепестков - 13,2дБ, ширина главного лепестка по уровню -3дБ равна 16,5 град.

Согласно теоретическим расчетам КНД равен 11,45дБ, а ширина главного лепестка – 17,2 град.

Вывод: на трех сантиметрах параметры линзы также соответствуют расчетным. Уменьшение ширины главного лепестка обусловлено образованием боковых лепестков и распадом фокуса.

Для наглядности полученные результаты представим в таблице, УБЛ определялся в секторе углов $\pm 90^\circ$ относительно направления главного максимума.

Таблица 4. Результаты расчетов для цилиндрических линзовых антенн Лüneберга.

Число слоев	Длина волны, см	КНД, дБ	Ширина луча, град	УБЛ, дБ
5	0,86	17	5	-18
	3	11,3	17	-15,7
3	0,86	16,3	5	-13,6
	3	11,2	17,5	-17
2	0,86	15	4,9	-9
	3	11,2	16,2	-13,2
Теоретические значения	0,86	17,62	5	
	3	11,45	17,2	

Заключение.

В данной работе были приведены общие сведения о линзовых антеннах, их классификация, особенности и области применения. Подробно рассмотрена линзовая антенна Люнеберга из неоднородного диэлектрика, в которой закон изменения показателя преломления осуществляется по определенному закону (1), что позволяет линзе превращать сферический фронт волны точечного источника, расположенного на поверхности сферы, в плоский фронт волны.

В процессе исследования рассмотрены конструкции линз Люнеберга с цилиндрической симметрией с различным числом слоев на длинах волн 8,6мм и 3см. Основная идея заключалась в определении минимально возможного числа слоев. Были составлены

диаграммы направленности и получены значения КНД, УБЛ и ширины главного луча двумя способами: вначале с помощью программы электродинамического моделирования FEKO, а затем теоретически с помощью формул (2) и (4). Далее был проведен сравнительный анализ полученных значений. Практически все характеристики линз совпали с их теоретическими значениями. Некоторые расхождения были вызваны потерями энергии в боковых лепестках и раздвоением фокуса, которое наблюдалось в случаях для линзы Люнеберга из трех слоев при $\lambda=8,6\text{мм}$ и линзы из двух слоев при $\lambda=8,6\text{мм}$ и $\lambda=3\text{см}$. Во всех остальных случаях максимум амплитуды поля полностью концентрировался в ограниченной области, называемой фокусом. Наиболее узкий луч и высокий КНД у всех линз наблюдается на длине волны $8,6\text{мм}$.

При уменьшении числа слоев происходит незначительное обужение луча антенны и прилегание к нему почти вплотную первых боковых лепестков. У линзы с наиболее простой конструкцией, состоящей всего из двух слоев, происходит раздвоение фокуса, что влечет за собой некоторые потери энергии. Из-за этого линзовая антенна из двух слоев на длине волны $8,6\text{мм}$ обладает невысокими показателями КНД. Но на длине волны 3см линзовая антенна из двух слоев сохраняет высокие показатели КНД и по этому параметру не сильно проигрывает линзе из пяти слоев.

В результате получилась линзовая антенна Люнеберга с цилиндрической симметрией, состоящая всего из двух слоев для $\lambda=3\text{см}$ и из трех для $\lambda=8,6\text{мм}$, способная излучать и принимать

сигналы без сильных потерь энергии. Следовательно, чтобы получить действующую линзовую антенну, вовсе не обязательно собирать сложную конструкцию из пяти и более слоев диэлектрика. Достаточно составить линзу из двух-трех слоев, обеспечив выполнение закона изменения показателя преломления и подобрав правильную высоту линзы, соответствующую ширине узкой стенки прямоугольного волновода, что значительно упрощает процесс изготовления данной линзовой антенны.

Литература:

1. Зелкин Е.Г., Петрова Р.А. Линзовые антенны. – М. «Сов. радио», 1974, 280 с.
2. <http://www.dnainfo.com/chicago/20140811/lincoln-park>
3. Справочник по радиолокации //под ред. М. Сколника. – Том 2. – М. «Сов. радио», 1977, 408 с.
4. Банков С.Е., Курушин А.А. Практикум проектирования СВЧ структур с помощью FEKO.
5. Ахияров В.В., Калошин В.А., Никитин Е. Исследование широкополосных линз Люнебурга //Журнал радиоэлектроники. 2014. №1. <http://jre.cplire.ru/koi/jan14/18/text.html>

**Анализ спектрально-угловых характеристик цветных
трехмерных голограмм с учетом усадки фоточувствительной
регистрирующей среды**

*АНИКЕЕВА Анастасия Андреевна
г. Щелково, МБОУ Гимназия
«Щелковская», 11 класс*

*Научный руководитель:
Одинокоев Сергей Борисович,
д.т.н., профессор кафедры
«Лазерные и оптико-
электронные системы»
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Введение.

Голография - это способ регистрации и последующего восстановления волн, изобретенный Деннисом Габором в 1948 г. Волны могут быть при этом любые – световые, рентгеновские, корпускулярные, акустические и т.д. В голографии регистрируется полная информация о волне, как амплитудная, так и фазовая.

Голограмма – это интерференционная картина, образованная волной от предмета и опорной волной. Возможность широкого использования изобразительных голограмм, обусловлена большими достижениями в науке и технологии, основными стадиями которых являются схемы регистрации голограмм, процессы и материалы записи голограмм - оригиналов и способы их тиражирования [1- 6].

Для наблюдения широкого класса голограмм можно использовать полихроматические маломощные источники света типа ламп накаливания и ламп дневного света, что позволяет применять голограммы в изделиях бытового и рекламного назначения. [2-3].

Голографическими методами контролируют точность изготовления изделий сложной формы, исследуют их деформации и вибрации. Для этого деталь, подлежащую контролю, облучают светом лазера, и отраженный свет пропускают сквозь голограмму эталонного образца. При отклонении размеров от эталонных, искажении формы и появлении поверхностных напряжений возникают полосы интерференции, число и расположение которых характеризует степень отличия изделия от образца или величину деформаций. Такой процесс называют голографической интерферометрией.

Голограммы бывают пропускающие и отражательные. Но наиболее часто в изобразительной голографии используются отражательные трехмерные голограммы Денисюка. Преимущества данных голограмм в том, что их можно восстанавливать источником естественного света. Например, обычной лампой накаливания. Тогда как большинство голограмм требует специальных устройств и условий для восстановления записанных на них изображений.

Важным моментом при получении голограмм является ориентация регистрирующей среды относительно интерференционной картины, позволяющая получать пропускающие или отражательные голограммы, двумерные или трёхмерные. Для понимания этого обратимся к рисунку 1.1, на котором представлена

интерференционная картина, образованная плоской и сферической волной.

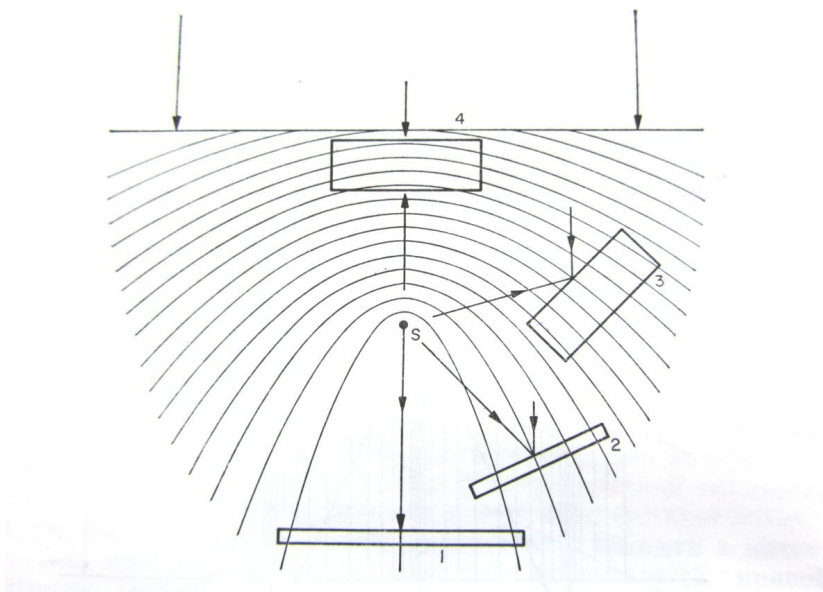


Рис. 1.1. Схема получения отражательных и пропускающих голограмм.

Рассмотрим каждое положение регистрирующей среды.

1) В положении 1 волны коллинеарны и падают на регистрирующую среду с одной стороны. В это положение для получения своих голограмм в 1948 году Габор помещал регистрирующую пластинку. Для такой интерференционной картины разность хода предметной и опорной волны минимальна именно в положении 1, а Габор в отсутствии лазеров, был вынужден использовать источники света с низкой когерентностью. К тому же

относительно большое расстояние между соседними максимумами снижало требование к большой разрешающей способности регистрирующей среды.

2) Во втором положении волны также падают с одной стороны, но образуют между собой острый угол. Поместив пластинку в положение 2, Лейт и Упатниекс получили внеосевую голограмму (1962). В этом случае использовался лазер и, поэтому, разность хода между опорным и предметным пучком могла уже быть больше. В этом положении записывалась тонкая двумерная решётка, представляющая собой систему линий на поверхности.

3) В третьем положении угол будет составлять 90° . Если в положение 3 поместить регистрирующую среду, толщина которой больше, чем расстояние между соседними максимумами, то дифракционная решётка запишется в объёме. В 1963 году Ван Хирдер описал свойство таких голограмм, как ряды частично отражающих плоскостей, селективность которых подчиняется закону Брэгга.

4) В положении 4 волны падают на регистрирующую среду с противоположных сторон и интерференционные поверхности становятся параллельными поверхности регистрирующей среды. При записи такой интерференционной картины образуется большое число частично отражающих плоскостей, которые работают как отражающий интерференционный фильтр. Селективный отклик таких голограмм на падающий свет соответствует закону Брэгга, поэтому они получили название брэгговских. Селективность у них достаточная для восстановления предметной волны в белом свете. Впервые

голограммы, полученные в этом положении, описал Денисюк (1962). Голограммы, записанные таким образом, также называют отражательными, так как во время восстановления восстанавливающая волна кажется отражённой в направлении предметной волны [3].

Итак, голограмма 1 – это осевая пропускающая, двумерная; голограмма 2 – внеосевая пропускающая, двумерная; голограмма 3 – брэгговская трёхмерная пропускающая; голограмма 4 – брэгговская, отражательная трёхмерная.

Схемы получения и восстановления упомянутых голограмм представлены на рисунках 1.2 – 1.4.

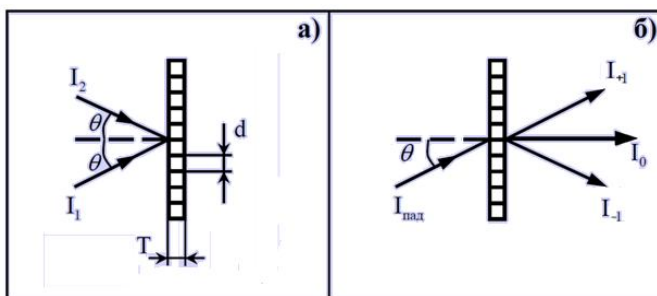


Рис.1.2. Схема записи (а) и считывания (б) пропускающей двумерной голограммы (запись по симметричной схеме); синусоидальный профиль штриха обуславливает наличие 2-х дифракционных порядков.

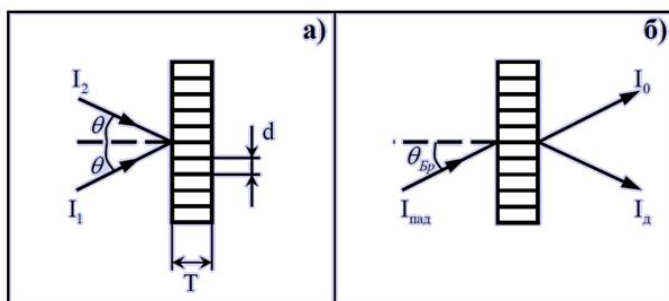


Рис.1.3. Схема записи (а) и считывания (б) пропускающей трехмерной голограммы (запись по симметричной схеме под углом Брэгга); при считывании формируется единственный дифракционный порядок.

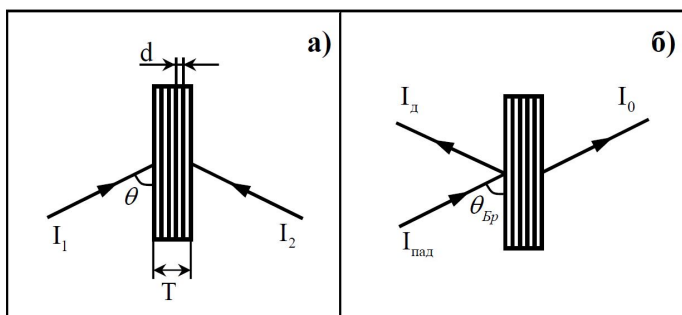


Рис.1.4. Схема записи (а) и считывания (б) отражающей трехмерной голограммы (запись по симметричной схеме под углом Брэгга); при считывании формируется единственный дифракционный порядок.

Процесс получения трехмерных отражательных голограмм включает в себя следующие этапы:

1) нанесение на стеклянную пластинку фоточувствительной регистрирующей среды с соответствующей спектральной чувствительностью;

2) экспонирование фоточувствительной регистрирующей среды лазерным излучением с целью получения трехмерной голограммы;

3) химико-фотографическая обработка (ХФО) фоточувствительной регистрирующей средой и окончательное получение трехмерной голограммы.

Важнейшим компонентом в этой технологической цепочке является фоточувствительная регистрирующая среда. На данный момент разработано достаточно большое количество разнообразных регистрирующих сред, используемых для нужд голографии: фоточувствительные галогенидосеребряные среды фотополимеризационные слои, негативные и позитивные фоторезисты и др. [2-4].

Однако в процессе химико-фотографической обработки возникает проблема усадки регистрирующего слоя, которая сильным образом влияет на параметры как самой голограммы, так и на параметры оптической схемы восстановления голографических изображений [5, 6].

Явление усадки заключается в изменении геометрических размеров регистрирующего слоя и его показателя преломления. Эти изменения могут оказывать существенное влияние на свойства записанных трехмерных голограмм и приводят к необходимости определения степени усадки регистрирующих сред различных типов при получении необходимых спектрально-угловых свойств трехмерных голограмм. Поэтому в процессе получения трехмерных голограмм необходимо учитывать влияние усадки фоточувствительной регистрирующей среды после ее химико-фотографической обработки.

Целью данной работы является разработка методики определения величины усадки фоточувствительной регистрирующей среды и оценка ее влияния на спектральные и угловые характеристики цветных трёхмерных отражательных голограмм Денисюка, зарегистрированных в фоточувствительной галогенидосеребряной среде.

1. Основные параметры трехмерных отражательных голограмм Денисюка

Получением голограммы является процесс регистрации интерференционной картины. Интерференционная картина представляет собой стоячую электромагнитную волну, образованную двумя бегущими электромагнитными волнами. Электромагнитная волна характеризуется вектором электрической напряженности $E(r,t)$ и вектором магнитной напряженности $H(r,t)$. Но за запись голограммы на фоточувствительной среде отвечает только электрическое поле, о чём свидетельствует опыт Винера в 1890 года [1,4].

Соотношение между пространственной частотой (ν) и толщиной регистрирующей среды (T) определяет меру объемности голограммы и ее важнейшие свойства: угловую и спектральную селективность, дифракционную эффективность и др. При $T\nu \rightarrow 0$ голограмма является двумерной, при $T\nu \rightarrow \infty$ - трехмерной.

1.1. Оптическая схема получения трёхмерных отражательных голограмм Денисюка.

Одним из важнейших этапов в развитии голографии являются работы академика РАН Юрия Николаевича Денисюка, предложившего в 1962 г. регистрировать голограммы в трехмерных средах на прозрачных галогенидосеребряных фотоматериалах с использованием в качестве источника излучения ртутной лампы. Чтобы голограммы можно было видеть в обычном, белом свете, Денисюк предложил освещать фотопластинку и объект одним и тем же лазерным пучком. Для этого потребовалась разработка специальных фотопластинок, которые должны быть прозрачными и иметь очень большую разрешающую способность. Задача была успешно решена.

По замыслу Ю.Н. Денисюка, информацию об объеме можно было бы получить, если бы удалось зарегистрировать фазу отраженного от объекта света, ибо именно эта фаза электромагнитной волны, то есть свет, зависит от расстояния, пройденного волной в пространстве. Для реализации этой идеи Денисюк поместил прозрачную фотопластинку во встречные пучки падающего и отраженного от объекта монохроматического (только одного цвета, то есть одной длины волны) и когерентного (начальные фазы всех квантов одинаковы) света. Полученная в объеме фотопластинки интерференционная картина несла информацию об объеме объекта.

В 1959 г. экспериментальная установка была создана автором из подручных материалов. Поскольку в то время лазеров не было, для создания монохроматического когерентного пучка света пришлось воспользоваться известной еще в XIX в. схемой, которая применялась

физиками. Схема записи голограммы Денисюка относится к так называемым однолучевым голографическим схемам, при использовании которых опорный пучок освещает объект и формирует объектную волну. На рисунке 1.1 приведена схема, используемая для регистрации голограмм Денисюка. Узел источника излучения (1) обеспечивает необходимые параметры излучения и формирует опорный пучок. Узел «объект – регистрирующая среда» (2,3) обеспечивает стабильность регистрирующей среды относительно объекта (или наоборот).

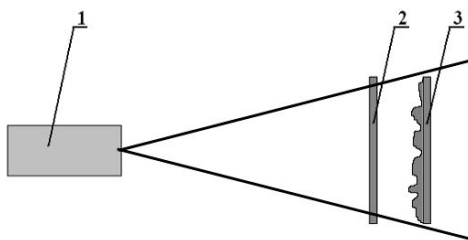


Рис. 1.1 Принципиальная схема записи голограмм Денисюка: 1 – узел источника излучения с системой формирования пучка; 2 – регистрирующая среда (фотопластинка); 3 – объект-композиция.

Существенно то, что каждый узел является достаточно независимым по целому ряду параметров и обеспечению стабильности.

1.2. Параметры трёхмерных отражательных голограмм Денисюка.

Трёхмерные отражательные голограммы, получаемые по методу Ю.Н. Денисюка, наглядно и зрелищно демонстрируют основные

свойства и особенности голограмм. В первую очередь это свойства, связанные с возможностью восстановления объектной волны, неотличимой зрительным аппаратом человека от исходной объектной волны. Именно идентичность исходной объектной волны и волны, полученной при освещении голограммы, позволяет получить объективную информацию о пространственной форме и структуре поверхности объектов.

Регистрирующая среда для получения голограмм Денисюка должна обладать необходимыми характеристиками, главными из которых являются:

- 1) Разрешение, обеспечивающее в конкретном эксперименте запись интерференционной картины с периодом $\lambda/2$;
- 2) Спектральная чувствительность к длинам волн используемого лазера;
- 3) Чувствительность, обеспечивающая необходимую длительность экспонирования в данном эксперименте;
- 4) Размер, соответствующий условиям конкретного эксперимента.

Трехмерная голограмма – голограмма, при освещении которой формируется только один дифракционный порядок - 1-й. При этом толщина голограммы намного превышает пространственный период изменения ее оптических параметров. Трехмерная отражательная голограмма Денисюка обладает угловой и спектральной селективностью, что обеспечивает возможность воспроизведения в дифрагированной волне не только амплитуды и фазы объектной

волны, но также и ее спектрального состава. Высокая эффективность и информационная емкость трехмерных голограмм привлекают к ним внимание многих исследователей, однако, теоретический анализ трехмерных голограмм достаточно разработан лишь для ограниченного круга объектных волн (модовая теория, теория связанных волн) [1,4]. Практические применения трехмерных голограмм во многом определяются прогрессом в области разработки светочувствительных сред для их регистрации. В настоящее время в зависимости от типа регистрирующей среды различают: тонкослойные трехмерные голограммы - статические трехмерные голограммы в средах толщиной порядка 10-20 мкм; объемные (глубокие, 3D) голограммы - статические трехмерные голограммы в средах толщиной порядка 1000 мкм и более; динамические трехмерные голограммы. В качестве теоретического критерия степени объемности используют параметр Клейна, применимый в случае элементарных голограмм [1]

$$Q = 2\pi\lambda T / (nd^2), \quad (1),$$

где λ - длина волны излучения, T - толщина голограммы, n - средний показатель преломления голограммы, d - пространственный период голограммы.

При $Q > 10$ голограмму принято считать трехмерной, высокоселективные трехмерные голограммы имеют $Q > 1000$. Трехмерные голограммы получили широкое применение в изобразительной голографии, динамической голографии, при получении голограммных оптических элементов.

Благодаря высокой селективности трехмерные голограммы используются в качестве узкополосных спектральных и угловых селекторов. Так, в настоящее время, на средах толщиной порядка 1 мм достигнуты значения спектральной селективности трехмерных голограмм до величин порядка десятых долей нм, а угловой селективности – порядка единиц угловых минут. На рисунке 1.2 представлено влияние толщины регистрирующей среды на свойства голограмм [1-4].

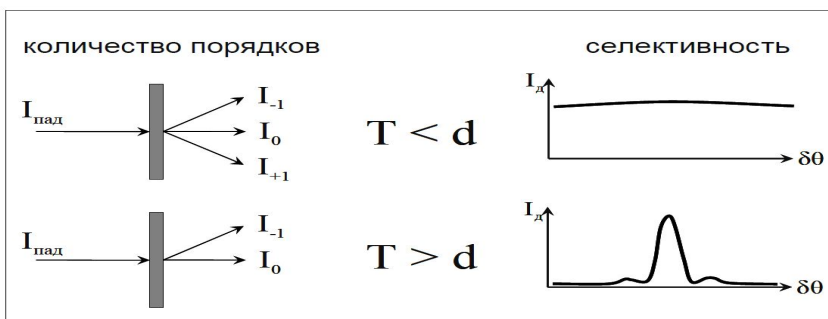


Рис.1.2 Влияние толщины регистрирующей среды на свойства голограмм (селективность продемонстрирована на примере угловой селективности).

1.3. Спектральная и угловая селективность трёхмерных голограмм Денисюка.

К числу основных параметров трёхмерных отражательных голограмм относятся угловая (δ_α) и спектральная (δ_λ) селективность голограмм. Угловая селективность определяет угловую ширину контура дифракционной эффективности (η) при изменении угла падения (β) восстанавливающего пучка излучения относительно угла падения (α) при записи голограммы. Спектральная селективность

определяет спектральную ширину контура дифракционной эффективности при изменении длины волны (λ) восстанавливающего пучка излучения относительно длины волны λ_0 при записи голограммы.

Проведем ориентировочную численную оценку обоих параметров, при записи голограмм используя галогенидосеребряный светочувствительный материал. Значения параметров определяем на уровне 0,5.

Для фазовой отражательной голограммы величина δ_α в регистрирующей среде может быть определена как [1]

$$\delta_\alpha = \frac{\xi_r}{\left(\frac{\pi n}{\lambda_0}\right) T \cos \Theta_0} \quad (2),$$

где n – средний показатель преломления регистрирующей среды; T – толщина регистрирующей среды; Θ_0 – угол Брэгга в регистрирующей среде; ξ_r – параметр, пропорциональный угловому отклонению δ_α от угла Брэгга и выбираемый из приведенных на рисунке 1.3 графиков зависимостей относительной дифракционной эффективности $\frac{\eta}{\eta_0}$.

η и η_0 соответственно дифракционные эффективности при отклонении от угла Брэгга на величину δ и при нулевом отклонении от этого угла.

Величину угловой селективности в воздухе определяется как $\delta_{\alpha air} = n\delta_{\alpha}$, а спектральная селективность δ_{λ} связана с δ_{α} соотношением

$$\delta_{\lambda} = \frac{\delta_{\alpha} \cdot \lambda_0}{tg \Theta_0} \quad (3)$$

Графики зависимостей $\frac{\eta}{\eta_0}(\xi_r)$ (рис. 1.3) приводятся для различных значений параметра ν_r , пропорционального амплитуде вариаций показателя преломления, образующихся в результате экспонирования и обработки голограммы, и определяющего взаимодействие восстанавливающего и восстановленного излучений.

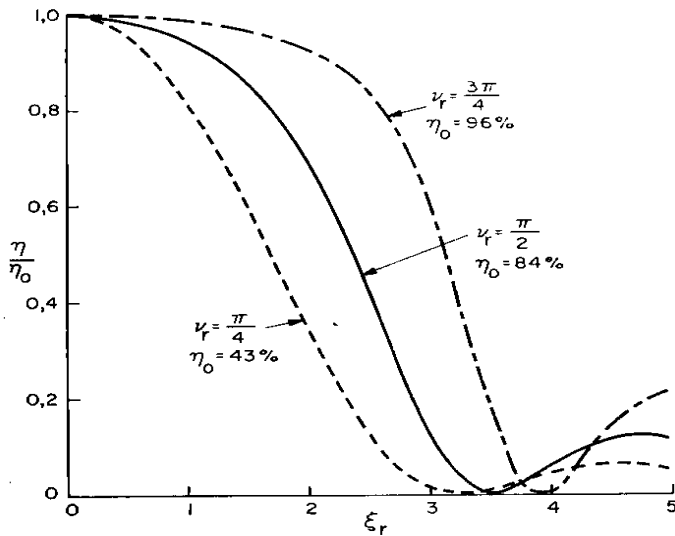


Рис. 1.3 Зависимость относительной дифракционной эффективности $\frac{\eta}{\eta_0}$

отражательной голограммы без потерь от ξ_r для различных параметров v_r .

Оценку параметров проводим при использовании регистрирующих слоев ПФГ-03Ц толщиной $T=10$ мкм (стандартная толщина), при значении $n=1,52$ для трех длин волн записи $\lambda_{01}=440\text{нм}$, $\lambda_{02}=532\text{нм}$ и $\lambda_{03}=660\text{нм}$, являющихся длинами волн лазера RGB-β-1064, используемого при записи цветных голограмм. При величине параметра $v_r = \pi/4$, обеспечивающего значение $\eta_0=43\%$, и при принятии в качестве допустимой величины $\frac{\eta}{\eta_0} = 0,5$ из графика (рис. 1.3) получим значение $\xi_r = 1,7$. При записи отражающих голограмм по контрнаправленной схеме при углах падения предметного пучка $\alpha_0 = 0$ и опорного пучка β_0 значение угла Θ_0 в регистрирующей среде определяется в виде

$$\Theta_0 = 90^\circ - \frac{\arcsin\left(\frac{\sin(\beta_0)}{n}\right)}{2} \quad (4)$$

Для фазовой пропускающей голограммы величина δ_α в регистрирующей среде может быть определена как:

$$\delta_{\alpha} = \frac{\xi_t}{\left(\frac{\pi n}{\lambda_0}\right) T \sin \Theta_0} \quad (5)$$

Расчет проводится при ранее принятых для отражательной голограммы значениях T , n , λ_0 . Значение ξ_t , определено из соответствующих графиков, показанных на рисунке 1.4 при той же, как и для отражательной голограммы, величине параметра $\nu = \frac{\pi}{4}$, обеспечивающего значение $\frac{\eta}{\eta_0} = 0,5$, и будет в данном случае составлять 1,4.

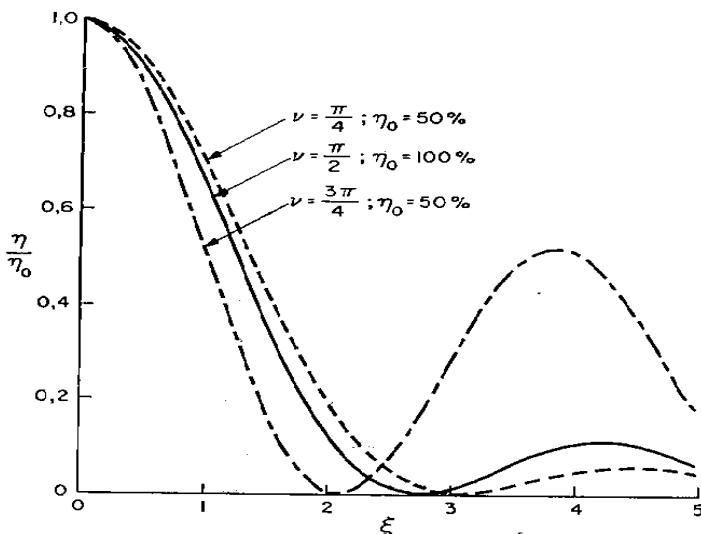


Рис. 1.4. Зависимость относительной дифракционной эффективности $\frac{\eta}{\eta_0}$

отражательной голограммы без потерь от ξ_r для различных параметров v_r .

Для пропускающей голограммы величина Θ_0 в среде определяется как

$$\Theta_0 = \frac{\arcsin\left(\frac{\sin(\beta_0)}{n}\right)}{2} \quad (6)$$

Величину угловой селективности в воздухе δ_α и спектральную селективность δ_λ здесь определяем также.

В таблицах 1 - 4 представлены результаты расчетов величин угловой (δ_α) и спектральной (δ_λ) селективности соответственно для отражающей и пропускающей голограмм для 3-х указанных выше длин волн записи и восстановления голограмм и для двух вариантов толщины регистрирующего слоя. Расчеты проведены в диапазоне изменения углов падения опорных пучков при записи и восстанавливающих пучков 30-85 градусов.

Таблица 1. Определение величин угловой ($\delta\alpha$) и спектральной ($\delta\lambda$) селективностей для различных углов падения опорного пучка при записи отражательной голограммы с использованием регистрирующей среды, толщиной 10 мкм.

Угол падения опорного пучка α_0 , градусы	Угловая селективность $\delta\alpha$, градусы			Спектральная селективность $\delta\lambda$, нм		
	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм
30	8.178	9.888	12.267	6.99	10.219	15.728
35	7.095	8.579	10.643	7.023	10.267	15.802
40	6.299	7.616	9.448	7.06	10.321	15.885
45	5.694	6.885	8.541	7.099	10.378	15.973
50	5.226	6.319	7.839	7.14	10.438	16.065
55	5.226	5.875	7.289	7.181	10.498	16.157
60	4.57	5.526	6.856	7.221	10.557	16.248
65	4.344	5.253	6.517	7.259	10.613	16.334
70	4.171	5.043	6.256	7.293	10.662	16.41
75	4.041	4.886	6.062	7.322	10.704	16.474
80	3.952	4.779	5.928	7.344	10.736	16.523
85	3.9	4.715	5.85	7.357	10.755	16.553

Таблица 2. Определение величин угловой ($\delta\alpha$) и спектральной ($\delta\lambda$) селективностей для различных углов падения опорного пучка при записи отражательной голограммы с использованием регистрирующей среды, толщиной 20 мкм.

Угол падения опорного пучка α_0 , градусы	Угловая селективность $\delta\alpha$, градусы			Спектральная селективность $\delta\lambda$, нм		
	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм
30	4,089027	4,944005	6,13354	3,495093	4,225886	5,24264
35	3,547943	4,289786	5,321915	3,51163	4,24588	5,267445
40	3,14953	3,808068	4,724294	3,529898	4,267968	5,294847
45	2,847239	3,442571	4,270859	3,549482	4,291646	5,324222
50	2,61315	3,159535	3,919724	3,569883	4,316313	5,354824
55	2,42968	2,937704	3,644521	3,590514	4,341258	5,385771
60	2,285314	2,763153	3,427972	3,610701	4,365666	5,416051
65	2,172298	2,626506	3,258447	3,629699	4,388636	5,444548
70	2,08533	2,521353	3,127995	3,64672	4,409216	5,47008
75	2,020778	2,443304	3,031167	3,660983	4,426461	5,491474
80	1,976195	2,389399	2,964292	3,67177	4,439504	5,507655
85	1,950015	2,357745	2,925022	3,6785	4,447641	5,51775

Таблица 3. Определение величин угловой ($\delta\alpha$) и спектральной ($\delta\lambda$) селективностей для различных углов падения опорного пучка при записи пропускающей голограммы с использованием регистрирующей среды, толщиной 10 мкм.

Угол падения опорного пучка α_0 , градусы	Угловая селективность $\delta\alpha$, градусы			Спектральная селективность $\delta\lambda$, нм		
	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм
30	6.735	8.143	10.102	201.124	294.023	452.528
35	5.843	7.065	8.765	150.684	220.285	452.528
40	5.187	6.272	7.781	118.128	172.692	265.789
45	4.689	5.67	7.034	96.009	140.355	216.019
50	4.304	5.204	6.456	80.409	117.55	180.92
55	4.002	4.838	6.002	69.115	101.04	155.51
60	3.764	4.551	5.646	60.805	88.891	136.811
65	3.578	4.326	5.367	54.653	79.897	122.968
70	3.435	4.153	5.152	50.13	73.285	112.792
75	3.328	4.024	4.992	46.891	68.551	105.506
80	3.255	3.935	4.882	44.714	65.368	100.607
85	3.212	3.883	4.818	43.459	63.532	97.782

Таблица 4. Определение величин угловой ($\delta\alpha$) и спектральной ($\delta\lambda$) селективностей для различных углов падения опорного пучка при записи пропускающей голограммы с использованием регистрирующей среды, толщиной 20 мкм.

Угол падения опорного пучка α_0 , градусы	Угловая селективность $\delta\alpha$, градусы			Спектральная селективность $\delta\lambda$, нм		
	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм	$\lambda_1=440$ нм	$\lambda_2=532$ нм	$\lambda_3=660$ нм
30	3,367434	4,071534	5,051151	100,5618	147,0114	226,2641
35	2,921836	3,532765	4,382753	75,35232	110,1576	169,5427
40	2,59373	3,136056	3,890595	59,07194	86,35732	132,9119
45	2,344785	2,835058	3,517178	48,01036	70,18639	108,0233
50	2,152006	2,60197	3,228008	40,20931	58,78202	90,47095
55	2,000913	2,419286	3,00137	34,56159	50,52562	77,76358
60	1,882024	2,275538	2,823035	30,40552	44,44986	68,41242
65	1,788951	2,163005	2,683427	27,32878	39,95197	61,48976
70	1,71733	2,076409	2,575996	25,06681	36,64519	56,40033
75	1,66417	2,012133	2,496255	23,44722	34,27752	52,75625
80	1,627454	1,96774	2,441182	22,35816	32,68541	50,30585
85	1,605895	1,941673	2,408842	21,72987	31,76692	48,89221

Из представленных таблиц видно, что спектральная селективность у отражательных голограмм высока, что обеспечивает качественное восстановление всех цветовых компонентов с голограммы. При этом она практически не зависит от изменений угла падения опорного пучка при записи голограммы для каждой из цветовых компонентов голограммы. У пропускающей же голограммы спектральная селективность при малых углах падения опорного пучка

при записи голограммы крайне низка, что не позволяет получить качественное восстановление всех цветовых компонентов. По мере увеличения значения угла падения опорного пучка при записи пропускающей голограммы спектральная селективность растет, однако она остается достаточно небольшой даже при крайне больших значениях угла падения опорного пучка. Это говорит о том, что качественного восстановления цветного изображения с пропускающей голограммы, сопоставимого с качеством восстановления цветного изображения с отражательной голограммы, добиться невозможно. При увеличении толщины регистрирующего материала спектральная и угловая селективность повышаются для голограмм обоих типов. Но спектральная селективность пропускающей голограммы по-прежнему остаётся недостаточной для качественного восстановления цветного изображения.

2. Фоточувствительная регистрирующая галогенидосеребряная среда для получения трехмерных отражательных голограмм Денисюка.

В данной работе использовались галогенидосеребряные (ГС) фоточувствительные материалы [1-4].

Галогенидосеребряные материалы до сих пор являются самыми распространенными благодаря своей надежности и высокой чувствительности, несмотря на то, что они требуют некоторого времени для обработки и при нормальном использовании не обладают способностью к дополнительной записи или стиранию.

Современные галогенсеребряные фотографические материалы – это многослойная структура, состоящая из:

- основы;
- одного или нескольких регистрирующих слоёв, количество которых, в зависимости от назначения, варьируется в пределах от двух до девяти;
- вспомогательных слоев.

Физико-механические свойства галогенсеребряных фотоматериалов, как системы в целом, определяются в основном наличием вспомогательных слоев, вид и количество которых зависят от специфики дальнейшей эксплуатации изготавливаемого материала. Иногда создаётся целый комплекс вспомогательных слоев, направленных на улучшение всего одной эксплуатационной характеристики фотоматериала.

Фотографические свойства галогенсеребряных фотоматериалов определяются видом и количеством регистрирующих слоёв. К ним предъявляются ещё более жёсткие требования, чем к физико-механическим. При этом количество их полностью определяется спецификой назначения материала и строго индивидуально.

2.1. Описание параметров фоточувствительной регистрирующей галогенидосеребряной среды.

Регистрирующие слои галогенсеребряных фотоматериалов вне зависимости от их назначения представляют собой сложные по составу поликомпонентные системы, в которых в качестве

связующего полимера наиболее часто используют желатин. Связующий полимер обеспечивает стабильность слоя во времени и является матрицей для различных активных наполнителей, соотношение которых определяет конечные параметры материала.

Основным наполнителем светочувствительной композиции выступают микрокристаллы (МК) галогенидов серебра (AgHal), формируемые непосредственно в растворе связующего полимера в процессе неорганического синтеза.

Поскольку при записи голограмм используются пространственные частоты, значительно превышающие частоты, регистрируемые в обычной фотографии, то применяются настолько мелкозернистые эмульсии, что они почти прозрачны. В современных высокоразрешающих галогенсеребряных фотоматериалах для голографии средний диаметр микрокристаллов изменяется примерно от 5-10 до 80-90 нм, а их разрешающая способность от 1000-1500 до 5000-10000 лин/мм.

Два важнейшие параметра фотопластинок - дифракционная эффективность (DE) и светочувствительность (S). Эти параметры относятся не только к материалам ГС, но и к любым другим светочувствительным материалам, используемым для записи голограммного изображения.

Дифракционная эффективность измеряется как отношение энергии восстановленного голограммой светового пучка (I_i) к энергии падающего на голограмму восстанавливающего пучка (I_c): $DE = I_i / I_c$. Чем большая часть энергии падающего пучка преобразуется

голограммой в энергию восстановленного пучка, или, говоря другими словами, чем больше яркость голографического изображения, тем больше дифракционная эффективность.

Светочувствительность фотопластинки - это величина поверхностной плотности энергии записывающего пучка (E_f) в плоскости фотопластинки, соответствующая максимальной дифракционной эффективности. Чем больше чувствительность фотопластинки, тем меньше энергии записывающего пучка требуется для записи голограммы и тем меньше время экспонирования фотопластинки. Светочувствительность измеряется в Дж/см².

Толщина регистрирующего слоя разных галогенсеребряных фотоматериалов для голографии изменяется примерно от 5 до 20 мкм, но в среднем она обычно составляет около 7-12 мкм.

2.2. Усадка регистрирующей галогенидосеребряной среды в процессе химико-фотографической обработки.

Регистрирующие материалы, которые используются для записи объёмных голограмм, в большинстве своём имеют такой отрицательный фактор как усадка. Это явление возникает в процессе химико-фотографической обработки (ХФО) материала и заключается в изменении геометрических размеров регистрирующего слоя и его показателя преломления. Эти изменения могут оказывать существенное влияние на свойства записанных голограмм: длину волны восстановления и угол восстановления голограммы,

уменьшение её дифракционной эффективности, спектральную и угловую селективность и т. п. Поэтому в процессе изготовления голограммы необходимо учитывать влияние усадки регистрирующего материала.

Рассмотрим виды усадки, обратившись к рисунку 2.1.

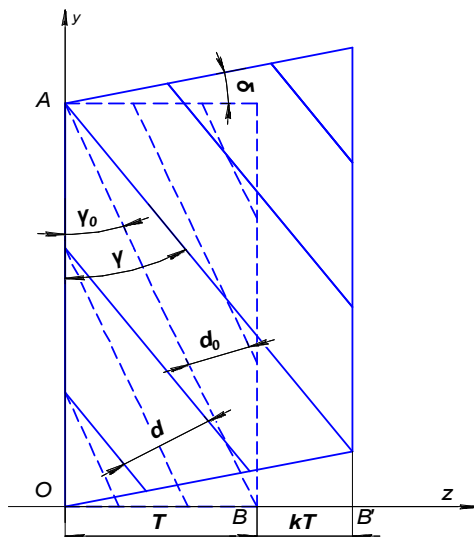


Рис.2.1. Схема усадки регистрирующего материала.

Усадка материала характеризуется коэффициентами нормальной усадки k_n и тангенциальной усадки k_t .

Коэффициент нормальной усадки связывает толщину материала при отсутствии усадки T_0 и при ее наличии T :

$$T = (1 + k_n) T_0 \quad (7)$$

Причем геометрическая усадка может включать в себя также равномерный тангенциальный сдвиг материала

$$k_{\tau} = \frac{BC}{r_0} (1 + k_n) * tg \delta \quad (8),$$

где δ - угол скоса.

Для элементарной решетки суммарное действие нормальной и тангенциальной усадки эквивалентно действию эффективной нормальной усадки (называемой также «эффективной геометрической»), величина которой k_e может быть найдена, как:

$$k_e = \frac{1+k_n}{1-k_{\tau}*tg\gamma_0} - 1 \quad (9),$$

где γ_0 - угол наклона брэгговских плоскостей на стадии записи.

Поскольку на оптическое расстояние между брэгговскими плоскостями влияет также и среднее значение коэффициента преломления, то изменение этого значения названо в работе рефрактивной усадкой и характеризуется коэффициентом рефрактивной усадки v :

$$n = (1 + v)n_0 \quad (10),$$

где n_0 – коэффициент преломления материала на стадии записи,

n – коэффициент преломления материала после ХФО.

К тому же брэгговские плоскости могут ещё и искривляться. Поэтому, нельзя определить усадку путем измерения физической толщины материала.

Для исследования эффектов усадки предложены разнообразные модели, учитывающие изменение толщины материала (геометрическую усадку, т. е. изменение нормальной к поверхности материала составляющей вектора решетки) и вызванный этим поворот

брэгговских плоскостей; изменение среднего коэффициента преломления (рефракционную усадку); изменение толщины, среднего коэффициента преломления и равномерный тангенциальный сдвиг материала; одновременное действие вышеуказанных факторов; эффекты искривления брэгговских плоскостей [1].

Для данной работы была выбрана следующая модель усадки. На рисунке 2.2 представлены схемы регистрации трёхмерной голограммы. Согласно данным схемам (рис. 2.2) фотографическая пластинка помещена в область интерференции между опорным и предметным пучком. Интерференционная картина представляет собой стоячую электромагнитную волну с максимумами интенсивности на брэгговских плоскостях, являющимися биссектрисами угла между опорным и предметным пучками. В результате в материале регистрируется объёмная дифракционная решётка со следующими характеристиками.

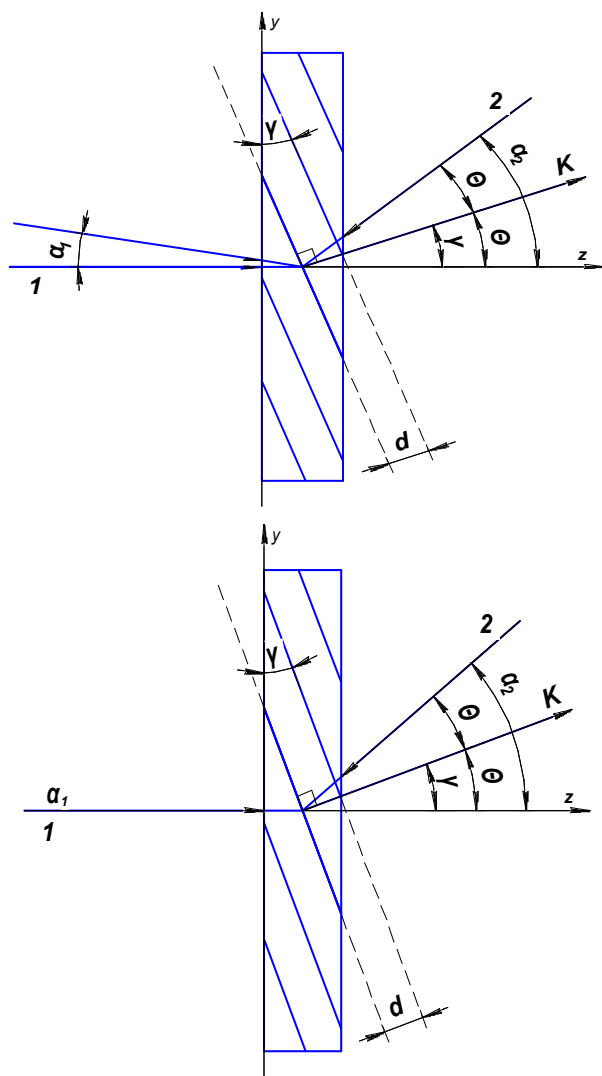


Рис.2.2 Варианты схемы записи элементарной трехмерной голограммы в объеме слоя регистрирующего материала. 1 – предметный пучок, α_1 – угол падения предметного пучка, 2 – опорный пучок, α_2 – угол падения опорного пучка, 3 – брэгговские плоскости, γ – угол наклона брэгговских плоскостей, K – вектор решётки, d – расстояние между брэгговскими плоскостями.

Угол наклона брегговских плоскостей

$$\gamma_0 = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \quad (11)$$

Период интерференционной картины

$$d = \frac{\lambda_0}{2 n_0 \sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_2)} \quad (12),$$

где λ_0 – длина волны записи,

n_0 – средний коэффициент преломления материала во время записи.

Следует заметить, что углы падения опорной и сигнальной волн (α_1 и α_2) экспериментально определяются в воздухе. Соответствующие им углы в материале определяются исходя из закона преломления Снеллиуса.

$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha'_1)} = \frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha'_2)} = n \quad (13).$$

Такая решётка обладает угловой и спектральной селективностью, что обеспечивает возможность воспроизведения в дифрагированной волне не только амплитуды и фазы объектной волны, но также и её спектрального состава. При восстановлении голограммы белым светом максимальная дифракционная эффективность будет наблюдаться для волны удовлетворяющей условию Брэгга, т.е. для длины волны записи.

Однако в реальности это не так. Так как при ХФО регистрирующий слой претерпевает усадку (положительную или

Новую толщину (T) можно найти по формуле

$$T = (1 + k)T_0 \quad (14),$$

где k – коэффициент геометрической усадки, T_0 – толщина регистрирующего слоя до ХФО.

Кроме того, будем полагать, что средний коэффициент преломления голограммы также изменился, т. е. произошла рефракционная усадка. Новое значение среднего коэффициента преломления:

$$n = (1 + \nu)n_0 \quad (15),$$

где ν – коэффициент рефрактивной усадки,

n – изменившийся коэффициент преломления материала.

Так как регистрирующий слой одной стороной примыкает к подложке, не деформируемой при обработке, можно предположить, что изменение толщины материала приведёт к повороту брэгговских плоскостей и изменению расстояния между ними. Угол наклона брэгговских плоскостей после ХФО можно найти по формуле:

$$\text{tg}(\gamma) = (1 + k)\text{tg}(\gamma_0) \quad (16)$$

$$k = 1 - \frac{\text{tg}\gamma_0}{\text{tg}\gamma} \quad (17)$$

Новое расстояние между плоскостями:

$$d = (1 + k)d_0 \frac{\cos(\gamma)}{\cos(\gamma_0)} \quad (18)$$

Тогда, согласно этой модели, максимальная дифракционная эффективность будет наблюдаться на длине волны

$$\lambda = 2d \cos(\beta_1 - \gamma) \quad (19),$$

где β_1 – угол падения восстанавливающего луча,

d – расстояние между брэгговскими плоскостями после ХФО.

Если условия обработки материала поддерживаются стабильными, то усадка будет предсказуемой, и при записи будет возможным скомпенсировать связанные с ней эффекты. В основе метода лежит определение новых условий восстановления голограммы и их сравнение с условиями записи [2].

3. Экспериментальные исследования по определению величины усадки фоточувствительной регистрирующей галогенидосеребряной среды при получении трёхмерных отражательных голограмм Денисюка.

В данном разделе описаны эксперименты, проводимые с целью определения величины усадки, и методика расчета её значения. А также описана оптическая схема, которая использовалась для определения параметров восстановления голограмм.

1.1. Определение величины усадки галогенидосеребряной регистрирующей среды.

В этом разделе обратимся к конкретному примеру. Этим примером будет служить трёхмерная трёхцветная отражательная

голограмма Денисюка, записанная на голографических фотопластинках ПФГ-03Ц (ОАО «Славич»).

Для определения условий восстановления голограмм и исследования их спектральной и угловой селективности используется установка, представленная на рисунке 3.1.

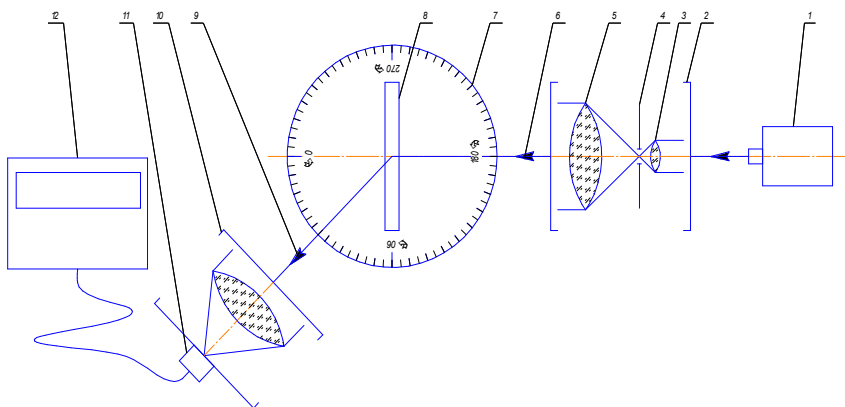


Рис. 3.1. Экспериментальная установка для определения параметров восстановления голограмм: 1 – Источник восстанавливающего излучения; 2 – расширитель пучка лазера, 3 – микрообъектив, 4 – точечная диафрагма, 5 – объектив, 6 – восстанавливающий пучок, 7 – поворотный столик, 8 – голограмма, 9 – дифрагированный луч, 10 – приёмный объектив, 11 – приёмная головка измерительного устройства, 12 – измерительное устройство.

При восстановлении изображения после ХФО в качестве восстанавливающего пучка при измерениях использовался параллельный пучок с сечением 1,5ммх3мм в плоскости голограммы, обеспечивающим его прохождение в пределах зоны формирования единичных элементов голограмм.

Измерения проводились различными способами, как по достижении максимальной интенсивности непосредственно дифрагированного пучка, так и косвенно, по достижении минимальной интенсивности прошедшего излучения.

Каждая из приведенных в таблице величин β_1 и β_2 является средним значением из трех повторных угловых измерений в каждом положении пластинки. Измерения проводились на пластинке с голограммами непродолжительное время после фотохимической обработки, выдержанной в условиях: температура – 25°C, влажность – 24%.

В таблице 5 представлены данные по измерениям углов β_1 и β_2 , проведенные выборочно для двух голограмм, восстановленные изображения с которых представлены на рисунке 3.2.

То, что угол восстановления одинаков для всех длин волн, говорит о том, что усадка одинакова для всех цветовых компонент. Это позволяет принять указанное среднее значение $\beta_2=37,5$ градусов в качестве величины для расчета коэффициента усадки k , единого для всех записанных на пластинке голограмм независимо от интенсивности восстановленного пучка и длины волны излучения.

Таблица 5. Результаты экспериментального определения углов восстановления голограммы.

Длина волны восстанав- ливающего излучения (нм)	№ голо- граммы	Измеряемый элемент голограммы	β_2 (град) по макс. дифрагир. пучка	β_2 (град) по миним. прошедшего пучка	β_2 (град) среднее	
440	1	Л	38,8	-	38,55	37,5
		П	38,3	-		
	2	Л	-	37,5	37,25	
		П	-	37,0		
532	1	Л	37,9	37,7	37,7	
		П	37,2	37,7		
	2	Л	38,7	37,2	37,35	
		П	38,2	38,5		
660	1	Л	36,2	36,3	36,5	
		П	36,3	36,7		
	2	Л	35,9	38,1	38,3	
		П	37,2	38,5		

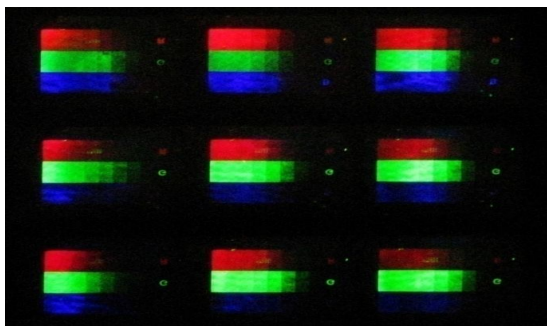


Рис. 3.2 Фотография матрицы тестовых отражательных многоцветных голограмм Денисюка.

Далее приведён расчет величины усадки. Общая логика расчета заключается в определении углов α_1 и α_2 для предметного и опорного пучков на стадии записи; β_1 и β_2 для восстановленного и восстанавливающего пучков в регистрирующей среде; определении углов γ_0 и γ , определяющих угол брэгговских плоскостей в среде соответственно при записи и восстановлении, которые являются биссектрисами углов между пучками; нахождении усадки как изменение толщины регистрирующей с учетом того, что усадка сопровождается только изменением толщины эмульсии.

Итак, была проведена запись трёхмерной цветной отражательной голограммы Денисюка в сонаправленных пучках на ГС материале. Угол падения предметного пучка (α_1) 0° , угол падения опорного (α_2) $-41,5^\circ$ для всех трёх длин волн (рис.2.2). Запись производилась тремя длинами волн: синяя (440нм), зелёная (532нм), красная (660нм).

Результат записи отражает формула [1]:

$$\frac{\lambda_i}{d_i} = \sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_2) \quad (20)$$

Угол наклона брэгговских плоскостей на стадии записи (γ_0) определим, как угол, образованный между брэгговскими плоскостями и поверхностью регистрирующего материала. Для этого достаточно знать угол падения опорной и предметной волны и то, что брэгговские плоскости являются биссекторами угла между записывающими пучками. Он получается равным $20,75^\circ$. С учётом коэффициента преломления материала $n=1,52$:

$$\gamma_0 = \frac{20,75}{1,52} = 13,65.$$

После ХФО из-за усадки происходит изменение геометрии восстановления:

$$\frac{\lambda_i}{d_i} = \sin(\beta_1) + \sin(\beta_2) \quad (21),$$

где β_1 – угол падения восстанавливающего пучка (аналогичен предметному пучку при записи),

β_2 – угол дифракции (аналогичен опорному пучку при записи).

Предполагая, что поверхностная частота решётки не изменяется, то правые части выражения (20 и 21) можно приравнять:

$$\sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_2) = \sin(\beta_1) + \sin(\beta_2) \quad (22).$$

Зная $\alpha_1 = 0^\circ$ и $\alpha_2 = -41,5^\circ$ из условий записи, и измерив β_2 (табл. 5), находим β_1 из выражения 22.

$$\sin(\beta_1) = \sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_2) - \sin(\beta_2) = \sin(0) + \sin(-41,5) - -\sin(-37,5) = 0,05$$

$$\beta_1 = 3^\circ$$

Новое направление брэгговских плоскостей находим из геометрии схемы восстановления. Он равен $20,25^\circ$. С учётом коэффициента преломления материала $n=1,52$

$$\gamma = \frac{20,25}{1,52} = 13,32.$$

Определим усадку регистрирующего слоя как изменение толщины регистрирующего материала, выраженное через изменение углов наклона брэгговских плоскостей [2]:

$$k = 1 - \frac{\operatorname{tg} \gamma_{\alpha}}{\operatorname{tg} \gamma_{\beta}} = 1 - \frac{\operatorname{tg} 13,32}{\operatorname{tg} 13,65} = 0,024. \quad (23)$$

Схема восстановления голограммы при наличии усадки представлена на рисунке 3.3.

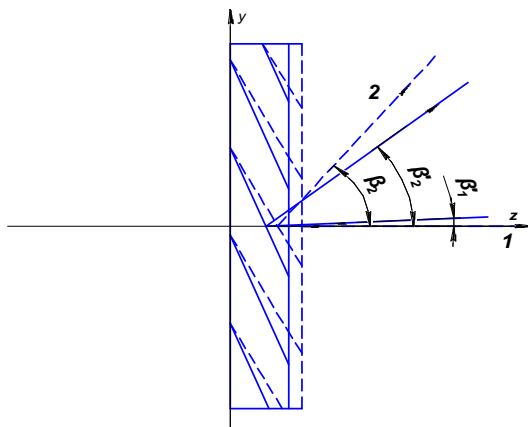


Рис. 3.3. Схема восстановления голограммы при наличии усадки.

3.2. Влияние усадки на спектрально-угловую селективность трёхмерных отражательных голограмм Денисюка.

Цветные голограммы (ЦГ) любого типа должны обеспечивать на всех длинах волн максимально возможную дифракционную эффективность (ДЭ).

Далее приведены исследования, посвящённые влиянию усадки на спектральную и угловую характеристики голограмм. Образцами служили отражательные трёхмерные голограммы, записанные на пластинках ПФГ-03Ц с толщиной эмульсионного слоя 8-10мкм и 25-30мкм.

На первом этапе была определена усадка. Наличие усадки определялось по угловым смещениям максимумов кривых зависимости интенсивности восстановленного излучения относительно угла падения опорного пучка при записи, который составлял 45° .

На втором этапе исследовалась спектральная селективность для голограмм на каждой из цветовых компонент в отдельности. Для этих исследований были проанализированы спектры излучения, восстанавливаемого с различных участков ЦГ. Полученные зависимости представлены на рисунках 3.4 и 3.5.

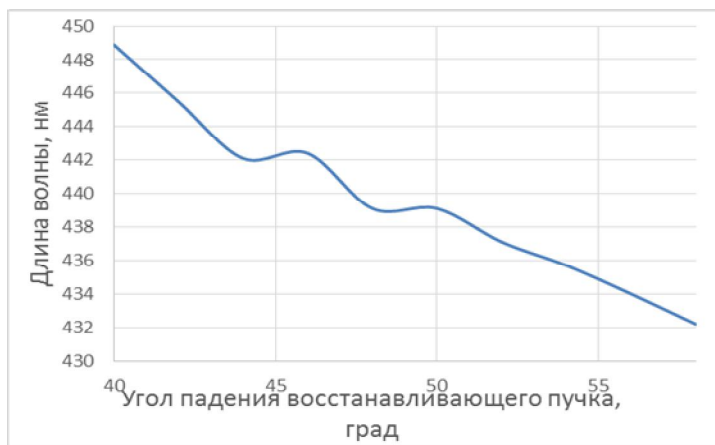


Рис. 3.4 Смещение положения максимума спектрального пика при изменении угла падения восстанавливающего пучка для синей составляющей.

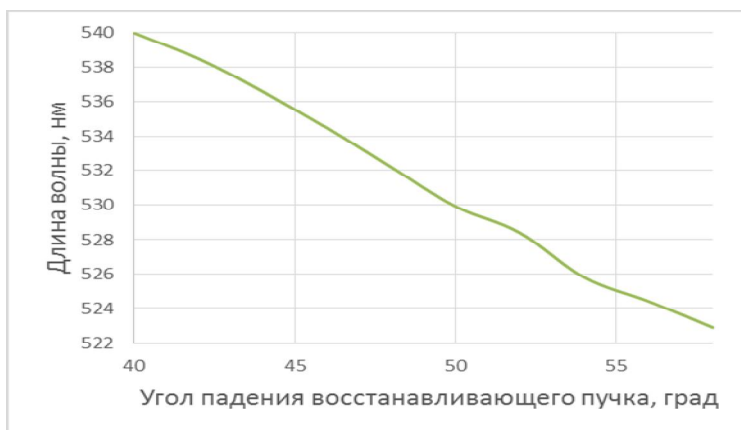


Рис. 3.5. Смещение положения максимума спектрального пика при изменении угла падения восстанавливающего пучка для зелёной составляющей.

Зависимости, приведённые на рисунках, говорят о том, что, хотя усадка и одинакова для всех цветовых компонент, но она по-разному влияет на смещение положения максимума спектрального пика для

каждой цветовой компоненты при восстановлении. Это означает, что если при записи трёхмерной трёхцветной голограммы все три цветовых компонента имели одинаковую геометрию записи, то для восстановления каждой из этих цветовых компонент на длине волны записи с целью получения максимальной ДЭ потребуются разные углы восстанавливающего пучка для каждой из компонент.

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 3.6 и 3.7, позволяет оценить степень уменьшения интенсивности восстановленного излучения при копировании монохроматическим пучком с учётом усадки.

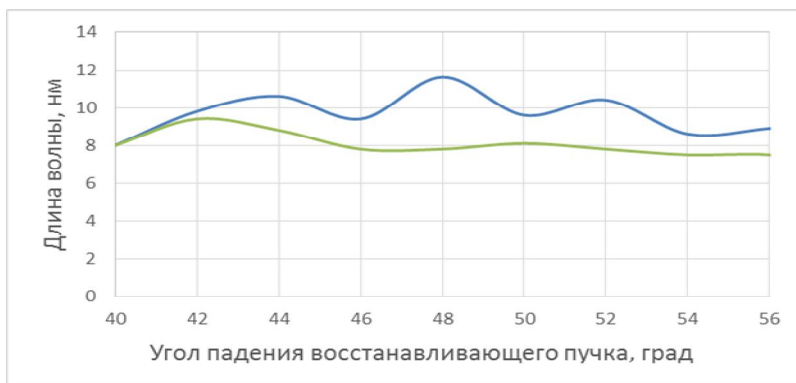


Рис.3.6. Изменение полуширины спектрального пика при изменении угла падения восстанавливающего пучка.

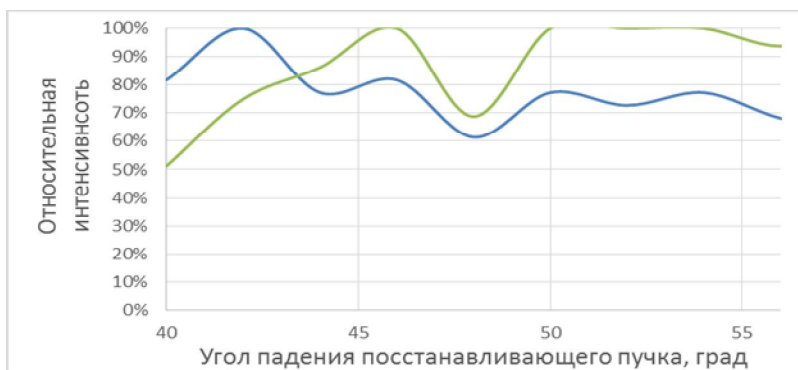


Рис. 3.7. Изменение относительной интенсивности в пике спектра при изменении угла падения восстанавливающего пучка.

Решением данной проблемы может быть использование безусадочной среды для получения трехмерной отражательной голограммы Денисюка или в усадочных средах нахождение способов минимизации усадки. При равных условиях (характеристики светочувствительного слоя, контрастность и стабильность интерференционной структуры в этом слое при записи голограммы и др.), получение высокой ДЭ возможно лишь при обеспечении минимального изменения толщины эмульсионного слоя в ХФО.

Заключение.

1. Был проведен обзор научно-технической литературы и анализ известных физико-математических моделей усадки галогенидосеребряных фоточувствительных регистрирующих сред.
2. В ходе работы по получению трёхмерных цветных отражательных голограмм Денисюка было определено численно значение усадки материала ПФГ-03Ц при применении стандартной ХФО и было показано, как усадка регистрирующей среды влияет на

восстановление цветовых компонент. Хотя усадка и одинакова для всех цветовых компонент, но она по-разному влияет на смещение положения максимума спектрального пика для каждой цветовой компоненты при восстановлении. Это означает, что если при записи трёхмерной цветной голограммы все три цветовых компонента имели одинаковую геометрию записи, то для восстановления каждой из этих цветовых компонент на длине волны записи с целью получения максимальной ДЭ потребуются разные углы восстанавливающего пучка для каждой из компонент. Если же восстанавливать голограмму под углами, используемыми при её получении, то это приведёт к значительному уменьшению дифракционной эффективности голограммы и яркости изображения соответствующей цветовой компоненты. Решением данной проблемы может быть использование регистрирующих сред с минимизацией усадки.

3. Способами регулирования усадки фоточувствительного слоя являются:

- пропитка обработанной голограммы перед окончательной сушкой веществами, которые, задерживаясь в высушенном слое желатины, утолщают её,

- предварительный прогрев пластинки перед экспонированием для удаления лишней влаги и обезвоживания желатины (изменения ее структуры),

- обработка в проявителях, которые образуют продукты окисления, подобные красителям, оседающие в фотослое на зернах серебра или вблизи них и дающие в результате утолщение слоя.

Литература:

1. Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. Оптическая голография, М: Мир, 1973.
2. Ю. Н. Денисюк. Принципы голографии (Лекции), Л: ГОИ им.С.И. Вавилова, 1979.
3. М. Франсон. Голография, М: Мир, 1972.
4. М. Милер. Голография (теория, эксперимент, применение) , Л: Машиностроение, 1979.
5. Ю.И. Островский. Голография и ее применение, М: Наука. 1973.
6. С.Б. Одинокое. Методы и оптико-электронные приборы для контроля подлинности защитных голограмм, М.:Техносфера, 2013.

Применение рентгенофлуоресцентной спектрометрии в технологиях приборостроения

ЧИКМАРЕВА Анастасия Андреевна

г. Мытищи, СОШ №6, 11класс

Научный руководитель:

Мешков Сергей Анатольевич

к.н., доцент кафедры

«Технологии приборостроения»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научные основы метода РФС. Устройство прибора.

Физические принципы.

Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (общепринятое обозначение - XRF, РФА, РФС) - метод анализа, используемый для определения концентраций элементов от Бериллия (№4) до Урана (№92) в диапазоне от 0,0001% до 100% в веществах и материалах различного происхождения. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) широко распространен как в промышленности, так и в науке благодаря своей универсальности, точности и скорости измерений.

Метод РФА основан на сборе и последующем анализе спектра (лат. spectrum «видение» в физике — распределение значений физической величины (обычно энергии, частоты или массы)).

Графическое представление такого распределения называется спектральной диаграммой.

Спектрометр (рис. 1) выполнен с использованием поликапиллярной линзы и предназначен для анализа участков образцов малых размеров. Размер рентгеновского пятна составляет от 50 до 150 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мм}$).

При облучении атом переходит в возбуждённое состояние, заключающееся в переходе электронов на более высокие энергетические уровни. В возбуждённом состоянии атом пребывает крайне малое время, порядка одной микросекунды (10^{-6} с.), после чего возвращается в спокойное положение (основное состояние). При этом электроны с внешних оболочек либо заполняют образовавшиеся вакантные места, а излишек энергии испускается в виде фотона, либо энергия передается другому электрону из внешних оболочек. При этом каждый атом испускает фотон с энергией строго определённого значения. Далее соответственно по энергии и количеству квантов судят о строении вещества.

В состав изделия входят: полупроводниковый детектор с термоэлектрической системой охлаждения, рентгеновская трубка, высоковольтный источник питания, коллимационное устройство на основе рентгеновской линзы, измерительная камера, микроскоп, держатель для образцов, спектрометрическое устройство, персональный компьютер, принтер и цифровой фотоаппарат.



Рис. 1. Рентгенофлуоресцентный спектрометр Фокус M2 и ЭВМ.

Рентгеновская флуоресценция

Когда атомы образца облучаются фотонами ((от др.-греч. «свет») — элементарная частица, квант электромагнитного излучения; в узком смысле, света - это безмассовая частица, способная существовать в вакууме только двигаясь со скоростью света; электрический заряд фотона также равен нулю) с высокой энергией, возбуждающим первичным излучением рентгеновской трубки, это вызывает испускание электронов. Электроны покидают атом. Далее, в одной или более электронных орбиталях образуются "дырки" - вакансии, благодаря чему атомы переходят в возбужденное состояние, т.е. становятся нестабильны. Через миллионные доли секунды атомы возвращаются к стабильному состоянию, когда вакансии во внутренних орбиталях заполняются электронами из внешних орбиталей. Такой переход сопровождается испусканием энергии в виде вторичного фотона - этот феномен и называется *флуоресценция*.

Флуоресце́ния (вариант: флюоресценция) — физический процесс, разновидность люминесценции (нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения). Это выделение излучения, обычно света, из вещества, атомы которого получили избыточное количество энергии при бомбардировке частицами, как правило, ультрафиолетового излучения электронов. В отличие от фосфоресценции (более длительная люминесценция), флуоресценция прекращается при отсутствии источника энергии. Пары ртути являются флуоресцентным веществом и используются для изготовления люминесцентных ламп для освещения автострад. Экран телевизора также покрыт слоем флуоресцентного вещества. Термин «флуоресценция» происходит от названия минерала флюорит (рис. 2), у которого она впервые была обнаружена. К флуоресценции способны многие органические вещества, наиболее известные - хинин, флуоресцеин, эозин, акридиновые красители родамины и т.д.



Рис. 2. Флюорит.

Электронные орбитали обозначаются К, L, М и т.д., где К - ближайшая к ядру орбиталь. Каждой орбитали соответствует

собственный энергетический уровень. Энергия испускаемого вторичного фотона определяется разницей энергий между энергией начальной и конечной орбиталей, между которыми произошел переход электрона ($E_1 - E_2$) (рис. 3). Длина волны испускаемого фотона связана с энергией формулой

$$E = E_1 - E_2 = hc/\lambda,$$

где $E_1 - E_2$ - энергии орбиталей, между которыми произошел переход электрона, h - постоянная Планка ($h = 6,62606 \dots 10^{-34}$ Дж·с), c - скорость света ($c = 3 \dots 10^8$ м/с), λ - длина волны испускаемого вторичного фотона. Таким образом, длина волны флуоресценции является индивидуальной характеристикой для каждого элемента и называется характеристической флуоресценцией. Это дает возможность элементного анализа вещества - определения количества атомов каждого вещества, входящих в состав образца.

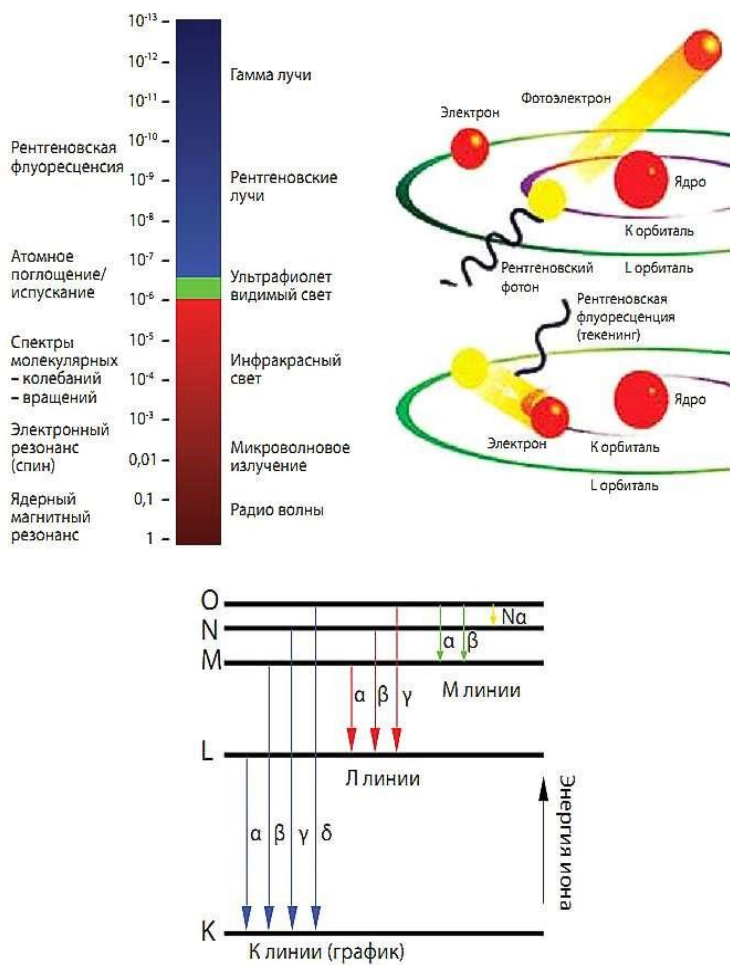


Рис. 3. Поясняющая схема рентгеновской флуоресценции.

Рентгеновская трубка.

Рентгеновская трубка (рис. 4) является источником возбуждающего (первичного) излучения высокой энергии, питаемая высокостабильным генератором высокого напряжения.

Механизм возникновения первичного излучения похож на механизм флуоресценции, за исключением того, что возбуждение материала анода трубки происходит при его бомбардировке электронами высоких энергий, а не рентгеновским излучением, как при флуоресценции. Спектральный состав излучения трубки зависит от материала анода.

При проведении анализа все элементы образца одновременно излучают фотоны характеристической флуоресценции. Для определения концентрации какого-либо элемента в пробе необходимо из общего потока излучения, поступающего от образца, выделить излучение именно той длины волны или энергии, которая является характеристической для определяемого элемента. Это достигается разложением суммарного потока излучения, поступающего от пробы по длинам волн/энергий и получением спектра. Спектр - это кривая, описывающая зависимость интенсивности излучения от длины волны.

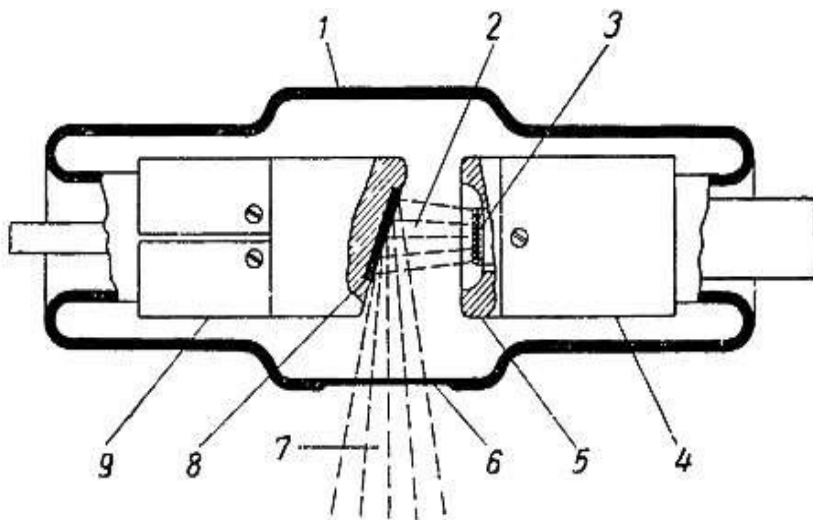


Рис. 4. Современная рентгеновская трубка Кулиджа:

1- баллон из стекла, 2 - поток электронов, 3- нить накала, 4 – катод, 5 - фокусирующая чашечка, 6 - окошко – фильтр, 7 - рентгеновые лучи, 8 - вольфрамовая мишень, 9 – анод.

Кристалл-анализаторы

Для разложения излучения в спектр используются кристалл-анализаторы (рис. 5, 6) с кристаллическими плоскостями, параллельными поверхности и имеющими межплоскостное расстояние d .

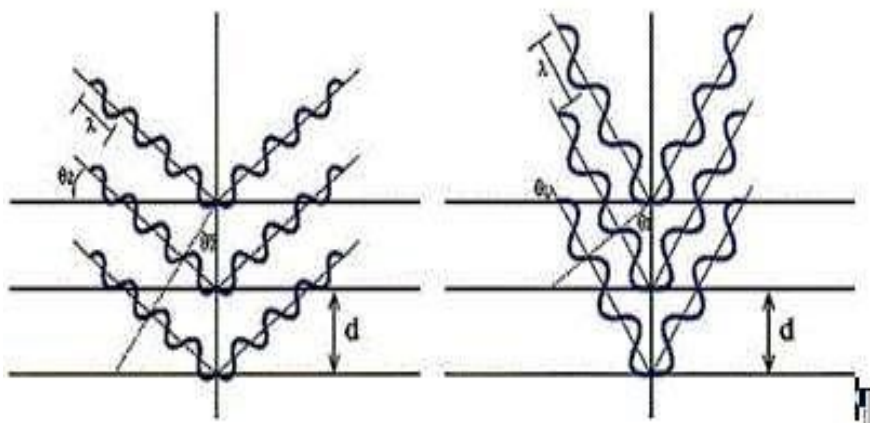


Рис. 5. Возникновение дифракции при падении излучения под разными углами для различных длин волн.

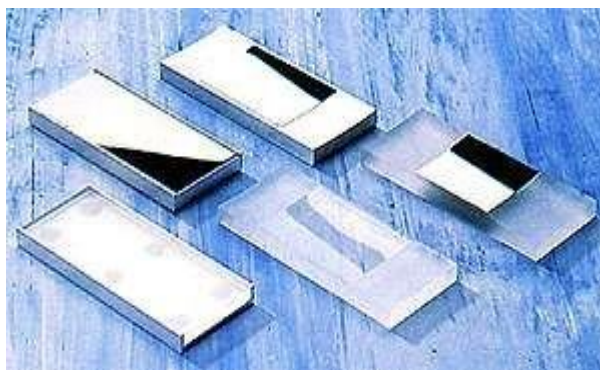


Рис. 6. Кристалл-анализаторы.

Если излучение с длиной волны (λ) падает на кристалл под углом θ , дифракция (огибание препятствия волнами) возникает только, если расстояния, проходимые фотонами при отражении от соседних

кристаллических плоскостей, отличаются на целое число (n) длин волн. С изменением угла q при вращении кристалла по отношению к потоку излучения, дифракция будет возникать последовательно для различных волн в соответствии с законом Брэгга: $n\lambda = 2d \sin q$. Угловое положение (q) кристалла-анализатора задается компьютером.

Так как разделение пиков рентгеновской флуоресценции зависит от соотношения длины волны (λ) и межплоскостного расстояния (d), для высокой чувствительности аппаратуры, измерения спектра производят с помощью нескольких кристалл-анализаторов из различных материалов. Такие монокристаллы, как германий, антимонид индия, фторид лития являются идеальными анализаторами для излучения многих элементов.

Детектор.

Детектором (рис. 7) рентгеновского излучения называют чувствительный элемент, предназначенный для преобразования энергии ионизирующего излучения в другой вид энергии, удобный для регистрации или измерения одной или нескольких величин, характеризующих это излучение.

Детектирование флуоресцентного излучения основано на преобразовании энергии флуоресценции в импульсы напряжения определенной амплитуды. Существуют разные виды детекторов. При анализе легких элементов для относительно больших длин волн используют наполненные газом пропорциональные детекторы. Их действие основано на ионизации газа излучением и измерении числа

электрических импульсов, прошедших через ионизированный газ. При анализе тяжелых элементов для коротких длин волн применяют сцинтилляционные детекторы, в которых изменяется ток фотоэлемента, чувствительного к светимости специального вещества - сцинтиллятора при попадании на него рентгеновского излучения. Чем больше атомов определенного типа в образце, тем больше импульсов регистрируется детектором.



Рис. 7. Кремниевый детектор рентгеновского спектрометра.

Спектрометрическое устройство (счетная электроника).

Счетная электроника фиксирует число импульсов, поступающих от детектора, и энергетические уровни, соответствующие амплитудам. Современное качество анализирующей техники (усилители и анализаторы импульсов) позволяет во многих случаях получить удовлетворяющую большинство пользователей статистическую

погрешность измерений за время 2 секунды. Большее время счета требуется для легких элементов, которые излучают относительно небольшое число фотонов с малыми энергиями, либо для анализа элементов с концентрациями близкими к пределу обнаружения.

Анализ данных и вычисление концентраций

Обработка результатов измерений производится в автоматическом режиме ЭВМ. Для этого разработаны методики анализа многих элементов для различных типов веществ (методики реализованы в виде компьютерных программ). Во время измерений компьютер управляет всеми узлами спектрометра в соответствии с заданной программой анализа. По окончании измерений компьютер делает расчет концентраций. Современный уровень надежности оборудования и устройство автоматической подачи образцов позволяют выполнять анализ непрерывно круглосуточно без участия оператора.

При анализе одного вещества методом рентгеновской спектрометрии могут быть получены разные результаты. Характер данных, которые будут получены при анализе, заранее обсуждается и зависит от целей и задач исследований.

II Экспериментальное исследование образцов .

Количественный анализ (определение концентраций набора элементов).

Количественный анализ - это определение содержания (массы, концентрации и т.д.) или количественных соотношений компонентов

в анализируемом образце. Обычно количественный анализ основан на использовании зависимости доступных измерению физических свойств изучаемого объекта или продукта его преобразования от состава. Количественный рентгенофлуоресцентный анализ характеризуется высокой воспроизводимостью результатов при условии представительности пробы и очень хорошей чувствительности. Отличная стабильность современных инструментов исключает необходимость повторения измерений или частых рекалибровок. Этим гарантируется высокая точность при небольших затратах на проведении анализа.

В основе количественного анализа лежит зависимость интенсивности характеристического излучения от длины волны. Характер этой зависимости устанавливается экспериментально на основании калибровки.

Погрешность измерений.

Спектрометр обеспечивает определение массовой концентрации элементов в диапазоне от Al(13) до U(92). Диапазон элементов, включающих в себя Al и Si, является обзорным. Чувствительность прибора для данных элементов определяется, в основном, толщиной бериллиевого окна детектора. Пределы обнаружения элементов по критерию 3σ (в зависимости от элемента, матрицы пробы и методики анализа), в процентах:

- Для элементов с атомным номером от 13 до 14 (Be = 12мкм) - 5%

- Для элементов с атомным номером от 15 до 20 - $1 \cdot 10^{-2} \%$
- Для элементов с атомным номером от 21 до 92 - $10^{-2} - 3 \cdot 10^{-3} \%$

Пределы допускаемой основной относительной погрешности определения концентрации (в зависимости от номера элемента, матрицы пробы и методики анализа) в процентах:

- В диапазоне концентраций от 10^{-2} до 100% - 5-12
- В диапазоне концентраций от $3 \cdot 10^{-3}$ до $10^{-2} \%$ - 7-42

Основная аппаратная погрешность спектрометра после 30 минут прогрева не превышает 3%.

Загрузка пробы в камеру.

Обычно подготовка образцов ко всем видам рентгенофлуоресцентного анализа не составляет труда. Для проведения высоконадежного количественного анализа образец должен быть однородным, иметь массу и размер не менее требуемого методикой анализа. Металлы шлифуются, различные порошки измельчаются до частиц определенного размера и прессуются в таблетки. Горные породы сплавляются до стеклообразного состояния. Это избавляет от погрешностей, связанных с неоднородностью образца. Жидкости и сыпучие вещества просто помещаются в специальные чашки (рис. 8).



Рис. 8. Загрузка пробы в камеру.

Порядок выполнения работы:

1. Установить прободержатель с образцом в камеру анализатора, закрыть крышку измерительной камеры и зафиксировать. Подготовить образец к анализу и поместить его в прободержатель.
2. Замок, повернув его против часовой стрелки до упора.
3. Включить освещение образца.
4. При помощи ручек управления предметным столиком совместить измеряемый участок с перекрестьем микроскопа.
5. С помощью лазерной подсветки выставить образец по высоте, совместив точки лазеров с перекрестьем микроскопа на измеряемом участке образца.
6. Включить рентгеновскую трубку.

7. Придвинуть детектор в рабочее положение путем вращения ручки, расположенной на узле детектора, поскольку для увеличения поля обзора микроскопа на измеряемом образце, полупроводниковый детектор имеет возможность выдвигаться из камеры.

8. В программе SmartXrf выбрать необходимые режимы и установить параметры измерений.

9. Провести измерения.

10. Анализ полученных данных.

Выполнение работы на спектрометре я покажу на примере определения элементного состава таких образцов, как: пятирублевая монета, ключ от домофона и металлическая кошельковая мышь (рис. 9, 10).



Рис. 9. Образцы и рентгенофлуоресцентный спектрометр.





Рис. 10. Образцы.

Устанавливаем прободержатель с образцом в измерительную камеру (рис. 11).



Рис. 11. Измерительная камера.

Выполняем калибровку положения образца, включаем рентгеновскую трубку и придвигаем детектор в рабочее положение. В программе SmartXrf выбираем метод анализа и задаем имя пробы, также можно сохранить результаты измерения. После всего этого нажимаем кнопку "Пуск" и получаем спектр (рис. 12, 13, 14).

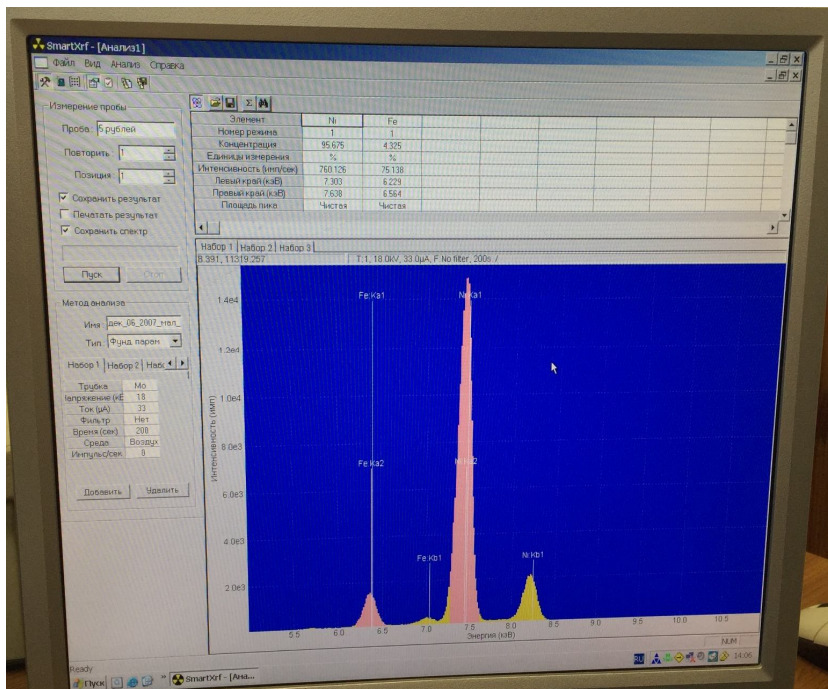


Рис. 12. Спектр пятирублевой монеты.

Определяем элементный состав образца. Заметно на рис. 12, что присутствуют три явных пика на спектре. Они либо соответствуют трем разным веществам, либо, какое-то из веществ дает два пика. Подбираем маркеры для пиков и заносим данные в таблицу. Видно,

что монета состоит из никеля (Ni), железа (Fe) и возможно третьего вещества. Определим концентрацию веществ исходя из предположения, что в элементном составе образца есть только никель и железо. Концентрация Ni = 95.675%, а концентрация Fe = 4.325%.

По такому же принципу определяем элементный состав образца для остальных образцов.

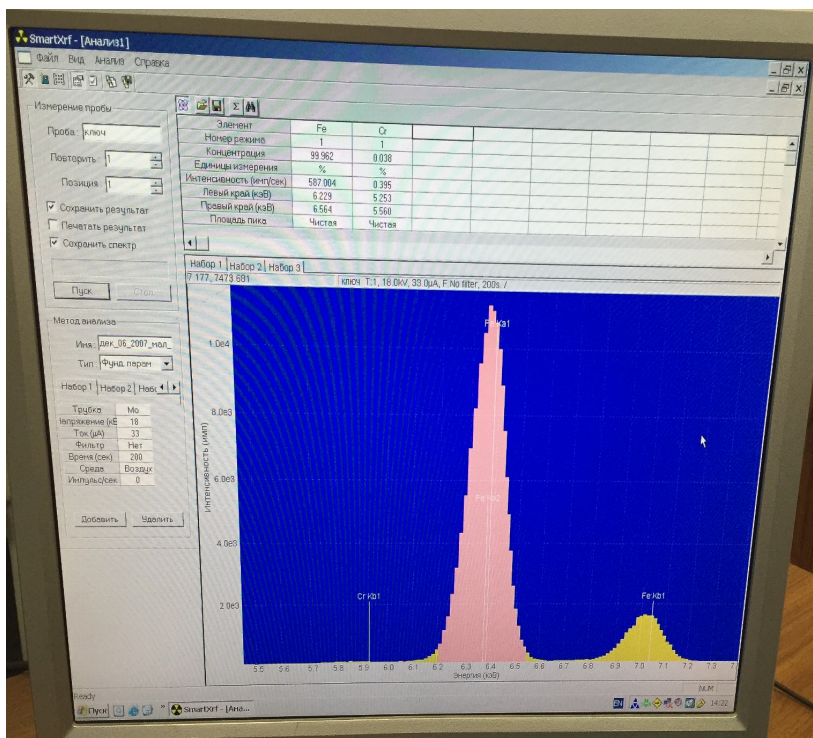


Рис. 13. Спектр ключа от домофона.

Концентрация Fe = 99.962%, Cr = 0.038% (рис. 13).

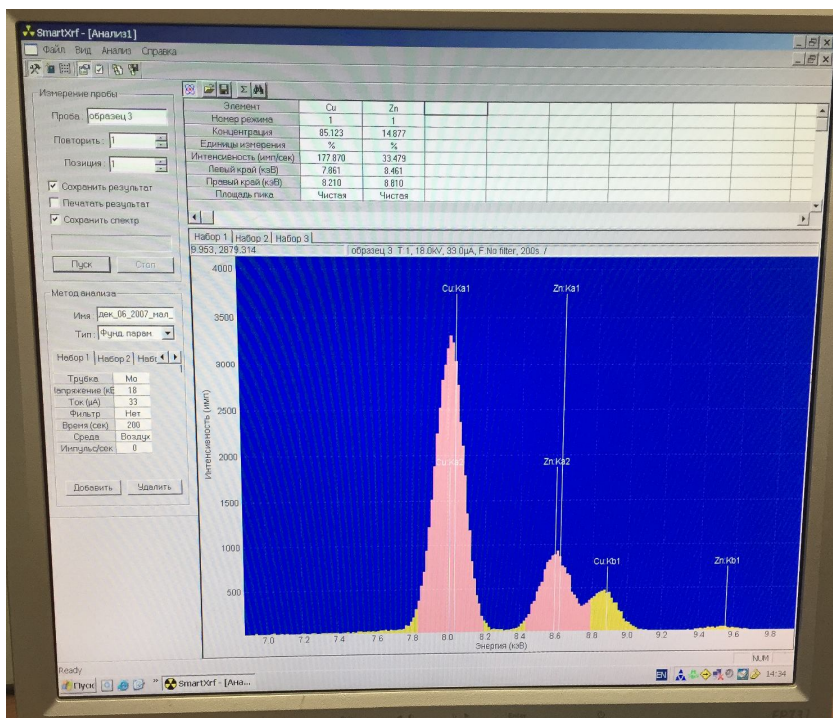


Рис. 14. Спектр металлической кошельковой мыши.

Концентрация Cu = 85.123%, Zn = 14.877% (рис. 14).

Применение:

- Микроэлектроника, приборостроение;
- Экология и охрана окружающей среды: определение тяжёлых металлов в почвах, осадках, воде, аэрозолях и др.;
- Геология и минералогия: качественный и количественный анализ почв, минералов, горных пород и др.;
- Metallургия и химическая индустрия: контроль качества сырья, производственного процесса и готовой продукции;

- Лакокрасочная промышленность: анализ свинцовых красок;
- Ювелирная промышленность: измерение концентраций ценных металлов;
- Нефтяная промышленность: определение загрязнений нефти и топлива;
- Пищевая промышленность: определение токсичных металлов в пищевых ингредиентах;
- Сельское хозяйство: анализ микроэлементов в почвах и сельскохозяйственных продуктах;
- Археология: элементный анализ, датирование археологических находок;
- Искусство: изучение картин, скульптур, для проведения анализа и экспертиз;
- Определение редкоземельных элементов в модельных материалах для захоронения высокоактивных отходов;
- Исследование состава строительных материалов на предмет соответствия ГОСТ;
- Экспресс-анализ осадков при электролитической очистке воды;
- Определение марок сплавов;
- Обнаружение отклонений в технологических процессах по составу промежуточных продуктов;
- Определение Pb, Cu, Zn, Cl в листе деревьев;

- Определение P, Cl, Ca, Fe в продукции предприятий быстрого обслуживания.

Метрологические характеристики.

Любая методика, метод анализа, средство измерения и т.д. считаются допустимыми к использованию, если известны их метрологические характеристики, и они отвечают выполняемым задачам. Метрология (от греч. μέτρον — мера, + др.-греч. λόγος — мысль, причина) — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Ниже приведены метрологические характеристики, наиболее часто используемые в аналитической химии.

Абсолютная погрешность — отклонение результата анализа от истинного содержания элемента, выраженное в процентах от результата.

Относительная погрешность — отклонение результата анализа от истинного содержания элемента, выраженное в процентах от результата.

Приведённая погрешность — погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.

Чувствительность — возможность различить две близких концентрации с известной точностью.

Точность — степень соответствия результатов анализа истинному содержанию элемента в образце.

Аппаратурная погрешность – погрешность измерений, возникающая только по причине стабильности работы измерительного прибора (не зависит от подготовки пробы).

Методическая погрешность - погрешность, обусловленная несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики.

Рабочий диапазон – минимальное и максимальное значение концентрации, которую можно определить.

Предел обнаружения – минимальная концентрация элемента, при котором констатируется его присутствие в пробе.

Воспроизводимость – повторяемость результатов анализа одного и того же вещества, полученная по данным нескольких экспериментов.

Доверительный интервал – интервал значений, в пределах которого находится действительное содержание элемента при заданном % вероятности. Для рядовых аналитических задач методики разрабатываются для достижения доверительной вероятности 95%.

Литература:

1. Мстислав Макеев «Методические указания по проведению измерений на рентгенофлуоресцентном спектрометре»
2. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия
3. РФА википедия
4. Боровская модель атома википедия

5. Научно-технический энциклопедический словарь – термины:
«флуоресценция», «фосфоресценция», «люминесценция»,
«спектрометр»

СЕКЦИЯ VI. Биомедицинская техника**Разработка роботизированного устройства выдачи и контроля приема лекарственных средств пациентами в стационарах.**

*СОЛНЦЕВА Анастасия Дмитриевна
г. Москва, Многопрофильный
технический лицей №1501, 11класс*

*Научный руководитель:
Баилай Антон Павлович,
аспирант кафедры
"Биомедицинские технические
системы"
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Введение.

Лечение большинства заболеваний не обходится без приема лекарственных препаратов. Лекарственная терапия способствует выздоровлению, улучшает прогноз болезней и повышает качество жизни пациентов. Однако успех лекарственной терапии во многом зависит от правильного и своевременного приема лекарственных препаратов, что позволяет избежать побочных действий, осложнений, нежелательных эффектов.

В настоящее время повышение эффективности лечения пациентов за счет строгого контроля приема лекарственных препаратов является серьезной проблемой. В качестве решения

проблемы предлагается использовать современные роботизированные технологии под управлением единой унифицированной базы данных. Для этого в работе проводится обзор существующего на сегодняшний день российского и мирового опыта внедрения и использования постоянно развивающихся информационных технологий, простых электромеханических и сложных автономных робототехнических устройств, позволяющих решать в той или иной мере вышеуказанную проблему. Анализируется возможность объединения различных технологий в единую систему, делаются выводы о перспективах ее применения с научной и практической точки зрения.

Практическая часть работы связана с созданием прототипа роботизированного устройства выдачи и контроля приема лекарственных средств пациентами в стационарах или “сервисного робота”.

Определение “сервисного робота” было дано ещё в 1995 году совместными усилиями Международной федерации робототехники и Экономической комиссии Объединённых Наций для Европы. Согласно ему, “сервисный робот” — это устройство, выполняющее действия, полезные для человека или окружающей среды, но не задействованное в сфере автоматизации производства.

Актуальность решаемой проблемы.

По оценкам ВОЗ, более половины всех лекарств назначается, отпускается или продается ненадлежащим образом, и каждый второй пациент принимает их неправильно. Это снижает эффективность лечения, а зачастую наносит серьезный вред здоровью человека.

Здравоохранение не может развиваться в обществе и быть свободным от него. Здоровье нации есть следствие социального и политического строя общества и как зеркало отражает все его успехи и невзгоды. В связи с этим становится очевидным, почему для российского здравоохранения сейчас особенно актуальна проблема повышения эффективности медицинской помощи населению.

Минздрав РФ утвердил форму электронной медицинской карты пациента [1], что делает перспективным создание единой унифицированной базы данных пациентов и ее использование в любом медицинском учреждении на территории РФ. Все больше медицинских учреждений внедряют собственные информационные системы. По словам министра здравоохранения РФ Вероники Скворцовой, до 2020 года все россияне будут переведены на электронное медицинское обслуживание [2]. Проект электронных карт пациентов запущен в 2014 году в двух московских больницах – Боткинской и Первой Городской САО г. Москвы [3]. В трех отделениях стационара Челябинской областной клинической больницы в начале 2014 года успешно внедрена медицинская информационная система [4]. Разработаны различные электронные базы данных и справочники лекарственных препаратов, которые значительно упрощают поиск препаратов и облегчают лечащему врачу процесс принятия решения при назначении терапии конкретному пациенту. Наиболее значимые из них - это электронные версии справочников Видаль и РЛС, справочник Машковского, системы «Гарант-ИнФарм», «КлиФар Госреестр», «Справочник

лекарственных средств» российской компании «Keepsoft», «Компендиум», онлайн-версия справочника лекарственных средств в составе электронной медицинской библиотеки «Консультант врача». Наличие таких баз данных и электронных справочников открывает перспективу создания унифицированной (глобальной) базы данных лекарственных препаратов с возможностью поиска аналогов лекарственных препаратов по всему миру.

Одно из определений постиндустриальной эры состоит в том, что наибольшее количество людей (по крайней мере, в развитых странах) оказывается занятым в сфере обслуживания. И, похоже, что роботы также начинают следовать этой тенденции. Речь идёт об очень многочисленной и разнообразной категории «умных» машин, учитываемой Международной федерацией робототехники как Service Robots (Сервисные Роботы). Этому рынку в 2013–2016 годах предсказали очень значительный рост.

Вышеуказанные компоненты разрозненны и их объединение в единую систему позволит оказать максимально качественную медицинскую помощь пациентам и повысить эффективность их лечения.

Цель и задачи проекта.

Целью моего проекта является создание прототипа сервисного робота-развозчика лекарств для выдачи и контроля приема лекарственных средств, работающего под управлением унифицированной компьютерной базы данных.

Задачи проекта:

Анализ существующего мирового опыта внедрения и исследование необходимости применения подобных устройств.

Подбор технических требований к устройству, исходя из обзора опыта применения аналогичных устройств.

Создание прототипа сервисного роботизированного устройства выдачи и контроля приема лекарственных препаратов.

Создание программного обеспечения для вышеуказанного устройства.

Создание проекта базы данных.

Проверка предъявленных технических требований и отладка взаимодействия с устройством на уровне интерфейса человек-машина.

3. Анализ существующего мирового опыта внедрения и исследование необходимости применения подобных устройств.

Российская Федерация. Сегодня ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что с того момента, как началась реализация программы информатизации российского здравоохранения, совершен большой шаг в развитии ИТ-инфраструктуры лечебно-профилактических учреждений. Тем не менее, накал страстей вокруг вопроса, касающегося доработки концепции единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) и определения программы конкретных действий по ее реализации, не утихает [5], [2].

Компания SmartHealth Rus [6] запустила 15.02.2013г. уникальный интернет сервис проект МояАптечка.рф. Сервис направлен на улучшение эффективности лечения за счет смс-

напоминаний о времени очередного приема препарата на телефон пациента.

Робот-фармацевт (рис. 1) появился в одной из аптек Красноярска [7]. Он находит и выдает нужное лекарство за 7 секунд. В этот электронный шкаф работники аптеки загружают почти 20 тысяч наименований лекарств. С 2006 по 2013 год в ряде аптек Москвы, Владивостока установлены роботы Consis B2 и Consis B3 немецкой компании Willach.



Рис. 1. Робот-фармацевт фирмы Consis в одной из аптек Красноярска, РФ.

Важно: из анализа различных публикаций следует, что сервисные роботы в медицинских учреждениях РФ до настоящего времени не применяются.

Европа, Япония, Канада, США, Израиль. В то время, как по результатам опроса россиян только 1% доверили бы роботам уход за больными и пожилыми людьми, в больницах Европы, Японии, Канады и США "вкалывает" около 150 роботов HelpMate (рис. 2), разработанных корпорацией Puhis, США [8]. HelpMate — по-

английски "помощник". Его главная задача – транспортировка историй болезни, анализов пациентов, лекарственных препаратов.



Рис 2. Сервисный робот HelpMate компании PIXIS, США.

В компании Proteus Digital Health, США [9] создали «умную» таблетку, которая не только напоминает о времени приема лекарства, но и предоставляет информацию о его дозе, а также, как называется препарат и кто его изготовил.

Компания GlowCaps, США [10] предлагает линейку различных баночек для лекарств (рис. 3), на которой устанавливается время приема таблеток и ежедневно в это время баночка будет светиться и играть мелодию.



Рис. 3. Баночки для лекарств компании GlowCaps, США.

Фирма Vaica Medical, Израиль [11] разработала медицинский органайзер, который "начинается" недельным запасом лекарств. Когда приходит время приема лекарств, раздается звуковой сигнал, и нужная ячейка подсвечивается. Если же пациент открывает не ту ячейку, или вовсе не открывает - контролирующий его состояние врач получает тревожный сигнал и связывается с пациентом по телефону.

Освободить медсестер от рутинных операций решили израильские юные изобретатели и создали им в помощь робота-разносчика. Этот аппарат способен самостоятельно найти дорогу до койки пациента и доставить ему вовремя необходимую порцию лекарств. Для навигации используется система камер наблюдения.

В Шотландии закончено строительство новой больницы Forth Valley Royal Hospital, в которой роль обслуживающего персонала отведена исключительно роботам (рис. 4). Все роботы выполняют работы по распределению еды и раздаче лекарственных препаратов пациентам. Инновационная роботизированная система позволит избавиться от необходимости содержать большое количество обслуживающего персонала. Персонал больницы будет использовать наладонные

компьютеры для того, что бы вызвать роботов и дать им задание на выполнение тех или иных работ и действий. Роботы, используя камеры, лазерные дальномеры и другие датчики будут избегать столкновения с объектами, которые внезапно встречаются на их пути.



Рис. 4. Сервисный робот в “Forth Valley Royal Hospital”, Шотландия.

Стремление компании Panasonic, Япония, полностью автоматизировать работу японских больниц принесло результат - в продажу поступил робот HOSPI-R [12] (рис. 5).



Рис. 5. Сервисный робот HOSPI-R от Panasonic.

Задача устройства – оперативно доставлять лекарства и пробы для анализов, и так сберечь время медсестер. Главный плюс HOSPI-R – автономная навигационная система. Карта больницы закладывается в память робота, а дальше он сам составляет свои маршруты. Если к зданию пристраивается новый корпус, система автоматически включает его в свою карту. Робот даже способен самостоятельно справляться с лифтами. Робот автоматически меняет маршрут с помощью своих датчиков.

Параллельно с анализом существующего мирового опыта внедрения и применения подобных устройств мной рассмотрены и проанализированы применяемые в мире технологии беспроводной передачи данных, такие как Wi-Fi, RFID, технология голосового управления, использованных в проекте.

Технология беспроводной передачи данных Wi-Fi.

Wi-Fi –это протокол беспроводной сети, обеспечивающий прием и передачу информации между точками доступа и клиентами. Подключение Wi-Fi позволяет локально обмениваться информацией (пакетами данных), либо выходить в интернет – при наличии устройства. Технология позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля, что может уменьшить стоимость развёртывания и/или расширения сети; позволяет иметь доступ к сети мобильным устройствам. Wi-Fi устройства широко распространены на рынке. Гарантируется совместимость оборудования благодаря обязательной сертификации оборудования с логотипом Wi-Fi; мобильность, нет привязки к одному месту; излучение от Wi-Fi устройств в момент передачи данных на порядок (в 10 раз) меньше, чем у сотового телефона.

Wi-Fi в медицине.Сервис RTLS (Real Time Location System)
через сеть Wi-Fi .

Многие годы больницы и госпитали искали решение для точного определения местоположения (треккинга) пациентов, персонала и оборудования внутри помещений. Учитывая уникальный характер операционной деятельности госпиталей – здесь люди, устройства, медицинское оборудование постоянно перемещаются. Для этого обратились к технологии RTLS (Real Time Location System) – определение местоположения объектов в реальном времени. Разработчиком системы является компания Ecahau, США [13].

Возможности применения технологии RTLS: управление Медицинскими Устройствами; Управление Потокom Пациентов;

Управление безопасностью Пациентов и Персонала; Поддержание работоспособности оборудования;

Температурный Мониторинг помещений. RTLS система от EkaHau, развернутая в медицинском центре государственного университета штата Огайо, предоставляет возможность отслеживать положение предметов, пациентов, сотрудников и температурные условия в 40 зданиях кампуса.

Важно: В России подобные технологии практически не применяются за крайне редким исключением ряда проектов в стадии разработки. Тем не менее, технологии определения положения предметов и персонала внутри помещений, оборудованных инфраструктурой Wi-Fi, могут предоставить огромное количество вариантов использования в различных задачах.

Вывод: использование Wi-Fi технологии в медицинских учреждениях является весьма перспективным.

Технология RFID (Radio Frequency Identification)

Технология радиочастотной идентификации является одной из форм коммуникационной технологии, которая используется организациями как средство идентификации. Эта технология позволяет использовать небольшое устройство, известное как RFID-метка, которое используется для передачи радиоволн. Каждый объект содержит уникальный идентификационный номер, который передается через эти радиоволны. RFID-технология использует три основных устройства для связи: RFID-метка, ридер и компьютерные системы. Кодированные данные один раз читаются ридером, затем

преобразуется в цифровую форму. Затем ридер посылает цифровые данные в компьютерную систему для систематической организации и обработки информации. RFID-метки используются в больницах для идентификации пациентов и объектов, а также для обеспечения безопасности пациентов. Эта технология также снизила ручной труд и расход бумаги и, таким образом, повысила эффективность медицинских центров и организаций. Технология радиочастотной идентификации (RFID) пока не столь активно используется в современных больницах, однако совместная работа компаний General Electric и CenTrak [15], получившая название «виртуальных RFID-стен» позволит персоналу «отслеживать перемещения медицинского оборудования, оснащенного RFID-метками».

Больница будущего Asklepios Barmbek [16].

Эта больница невольно заставляет вспомнить фантастические фильмы: пациенты с RFID-браслетами, позволяющими контролировать их местонахождение, врачи, использующие планшетные ПК для записи симптомов, медсестры, ведущие с помощью КПК записи основных показателей состояния здоровья пациентов. Сотрудники отдела скорой помощи отслеживают поток пациентов и доступность палат в реальном времени, а рентгеновские снимки попадают в цифровом виде в электронную карту пациента. Все это — технологии здравоохранения завтрашнего дня, которые существуют уже сегодня в больнице Asklepios Barmbek в Гамбурге (Германия).

Больница Heartlands, Бирмингем, первой внедряет RFID для обеспечения безопасности пациентов [17].

Больница Heartlands в городе Бирмингем входит в Фонд Heart of England NHS Foundation Trust – это одна из самых крупных в Англии организаций здравоохранения, услугами которой пользуются 574 000 пациентов в год. В таком большом учреждении точность обработки информации очень важна. Стремясь снизить вероятность ошибок и улучшить эффективность работы больницы Heartlands, было принято решение разработать новую систему управления данными пациентов на всех этапах лечения. В результате было создано решение, которое объединило в себе технологию радиочастотной идентификации RFID, приложение, обрабатывающее информацию в режиме реального времени, переносные терминалы, принтеры компании Zebra и наручные браслеты для пациентов. При поступлении в больницу пациент фотографируется и получает отпечатанный браслет со встроенной RFID-биркой. Эффективность лечения анализируется в автоматическом режиме, так как каждый этап в этой процедуре записывается с указанием времени и даты. Все данные вводятся оперирующим хирургом, благодаря чему повышается эффективность и сокращаются потери времени.

Вывод: использование RFID технологии в медицине является весьма перспективным.

Технология распознавания голоса (голосовое управление).

Избавиться от необходимости пользования искусственными языками в процессе общения с ЭЦВМ и вместо

сложнокоординированных актов клавишного и кнопочного ввода данных в машину заставить ее воспринимать прямые команды голосом, т. е. динамически адаптировать машину к человеку, — такова цель ученых, стремящихся повысить эффективность системы «человек — машина».

Сегодня уже никто не спорит о преимуществах голосового управления по сравнению с обычным стационарным или дистанционным. Вполне очевидно, что эта функция может сделать жизнь значительно проще. И речь идет не только об обычных пользователях, но и о людях с ограниченными физическими возможностями, для которых голосовое управление может стать главным помощником. Оно идеально подходит для многих людей, которые не могут управлять компьютером при помощи рук.

Голосовое управление основано на технологии распознавания речи: система получает информацию, сравнивает полученные данные с командами, которые записаны в системе и, в случае совпадения, выполняет предписанное действие. Чем больше слогов в записанной команде, тем больше шанс, что система ее распознает без ошибок. В настоящее время данная технология внедряется для управления различными гаджетами, телевизорами, автомобилями.

Вывод: использование технологии управления голосом имеет определенную перспективу для использования в медицинских учреждениях. Такая система может помочь людям с ограниченными возможностями путем голосового ввода данных в информационную систему и получения соответствующих справочных данных.

Технология открывает возможность дистанционного управления различными механизмами путем реагирования на определенные команды, что, безусловно, можно использовать при создании роботов. На базе технологии можно создать систему “интеллектуального” общения человек-машина. Однако существуют и минусы. Такая технология будет совершенно бесполезна для использования в медучреждениях в отношении пациентов в тяжелом состоянии.

Предлагаемый путь решения проблемы

При поступлении пациента в стационар происходит его регистрация в единой базе данных, размещенной на центральном сервере медицинского учреждения. Предполагается, что при регистрации используется унифицированная персональная электронная карта пациента и ее данные считываются в базу данных медицинского учреждения, в которое поступил пациент. При регистрации пациенту присваивается уникальный код, который включает в себя информацию о местоположении пациента в стационаре (предлагается использовать уникальный IP адрес Wi-Fi модуля, встроенного в койко-место пациента). Код записывается на электронный RFID браслет. Далее происходит обследование пациента и лечащий врач назначает медикаментозный курс лечения с занесением информации о наименовании, количестве и времени приема того или иного препарата в базу данных медицинского учреждения. По наступлении времени приема лекарственного препарата для конкретного пациента программными средствами из базы данных формируется информационный сигнал, который

передается и принимается сервисным роботом-развозчиком лекарств по беспроводной сети медицинского учреждения. Загрузка лекарственных препаратов в устройство выдачи лекарств сервисного робота, помещенных в специальные боксы, устанавливаемые в устройство выдачи лекарственных препаратов сервисного робота, производится медицинским персоналом медучреждения на основании предписаний лечащих врачей. С учетом изучения мирового и российского опыта внедрения автоматических систем выдачи лекарственных препаратов в крупных аптеках и этот процесс можно автоматизировать путем внедрения в медицинском учреждении автоматической системы сортировки и выдачи лекарственных препаратов, которая будет взаимодействовать с сервисным роботом. Сервисный робот доставляет лекарства конкретному пациенту, используя данные его местоположения (код койко-места, палата или др.), внесенные при регистрации. Передвижение робота по определенному маршруту (база – палата) считаю возможным реализовать с использованием широко применяемых сегодня светодиодных лент, вмонтированных в пол (движение по световой линии) с использованием датчиков освещенности, установленных в работе. Необходимый маршрут движения (световая лента) включается по сигналу от центрального компьютера при наступлении времени события выдачи лекарства. По прибытию в указанное место сервисный робот идентифицирует пациента путем сопоставления персонального кода, внесенного в базу данных при регистрации с кодом, записанным в RFID браслет пациента (без этой процедуры

выдача лекарств невозможна) и выдает лекарства пациенту с направлением информации о времени выдачи лекарств в базу данных медицинского учреждения. По завершению отработки команды сервисный робот возвращается на базу и находится в ожидании следующей команды от центрального сервера медучреждения.

5. Технические требования к разрабатываемому устройству.

Возможность управления от внешнего компьютера (сервера) по беспроводным каналам связи (wi-fi или др.) с загруженной в него базой данных, в которой лечащий врач вносит предписание о расписании приема лекарственных средств пациентам. При наступлении события (времени приема лекарственного препарата) и получении соответствующего сигнала от сервера, осуществление автономного передвижения в заданном направлении. Объезд возникающих на пути препятствий при получении соответствующих сигналов от сенсоров (УЗ дальномеры). Реализация алгоритма движения по линии. Реализация алгоритма голосового управления. Наличие устройства выдачи бокса с лекарствами пациенту. Условие выдачи лекарства – совпадение кода RFID браслета пациента с кодом, полученным от сервера.

6. Описание разработки и создания прототипа устройства.

Для реализации поставленной задачи по созданию прототипа сервисного робота было решено использовать широко распространенный в настоящее время инструмент для проектирования электронных устройств (электронный конструктор) Arduino [18]. Устройство пользуется популярностью ввиду того, что

программируется через USB порт персонального компьютера без использования программаторов. Эта платформа предназначена для «физического программирования» и обладает открытым программным кодом, построена на простой печатной плате с современной средой для написания программного обеспечения на “СИ-подобном” языке WIRING. Arduino применяется для создания электронных устройств с возможностью приема сигналов от различных цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к плате контроллера, и управления различными исполнительными устройствами (электродвигателями, сервоприводами и др.).

Часть компонентов устройства было изготовлено самостоятельно с применением таких материалов, как фольгированный стеклотекстолит (из него выполнен корпус устройства), оргстекло, пластик, а также различных радиодеталей (резисторы, конденсаторы, интегральные микросхемы, светодиоды, кнопочные выключатели и др.). Были освоены методы соединения/монтажа различных материалов путем их механического болтового соединения, склеивания и пайки.

Процесс создания прототипа сервисного робота был разделен на восемь этапов:

Создание самодвижущейся робо-платформы.

Создание блока управления движением и другими компонентами робота на базе микроконтроллера Arduino.

Реализация задачи движения робо-платформы с объездом видимых препятствий, а также реализацией алгоритма “движения по линии” с использованием ультразвукового дальномера и датчиков линии.

Реализация алгоритма голосового управления с использованием модуля распознавания и воспроизведения голосовых команд.

Создание устройства выдачи лекарственных препаратов с использованием технологии идентификации RFID.

Написание программного обеспечения и отладка взаимодействия блока управления с компонентами устройства.

Создание корпуса устройства

Разработка прототипа базы данных, написанной на языке программирования C#.

Первый этап заключался в механической сборке компонентов робо-платформы с установкой на ней двух ходовых электродвигателей постоянного тока и блока элементов питания.

Второй этап заключался в установке на базовой платформе платы микроконтроллера Arduino Mega 2560, платы управления электродвигателями и пассивной платы расширения для подключения к ней различных датчиков.

Третий этап был реализован при помощи УЗ (ультразвукового) дальномера, вращаемого сервоприводом, и датчиков линии.

Четвертый этап был реализован с использованием специального модуля распознавания и воспроизведения голосовых команд, подключенного к микроконтроллеру.

Пятый этап заключался в разработке и создании макета электромеханического устройства выдачи медицинских препаратов (всего было создано и рассмотрено три варианта этой конструкции ввиду удобства и практичности применения)(см. Рис. 9). На нынешнем макете установлен сервопривод для приведения в возвратно-поступательное движение емкости (бокса) с лекарствами, управляемый по сигналу, поступающему от микроконтроллера в зависимости от сопоставления кода RFID карты, считанного при помощи RFID сканера с кодом карт, записанных в память микроконтроллера.

Шестой этап был реализован путем создания программного кода (скетча), на языке программирования “Wiring” (см. Приложение 1) и загрузки в память микроконтроллера.

Седьмой этап заключался в разработке и создании внешнего корпуса устройства (см. Рис.8). В качестве материала корпуса устройства было решено использовать тонкий фольгированный стеклотекстолит. Корпус был выполнен с учетом габаритов внутренней части робота и установленных в ней различных компонентов. Использован метод соединения материала – пайка.

Реализация восьмого этапа заключалась в написании на языке программирования C# (си шарп) в программной среде Microsoft Visual Studio программы содержащей базу данных и отработке программного алгоритма выдачи сигнала на исполнительное устройство по времени наступления события (см. Приложение №2). В ходе выполнения проекта стало ясно, что ввиду технических ограничений

микроконтроллера Arduino, а именно крайне маленькой памяти, достаточной лишь для хранения небольшой программы, требуется перенести все данные и вычисления на удаленный компьютер. Поэтому было принято решение написать программу для Windows на языке C# в программной среде Microsoft Visual Studio. Выбор языка обусловлен тем, что он больше других (например, C++) подходит для написания программ с использованием Windows forms. Использование Windows forms позволяет повысить пользовательские качества программы и сделать интерфейс управления роботом настолько простым, что для работы с ним не требуется специального обучения. Готовая программа дает пользователю возможность хранить и редактировать базу данных пациентов на компьютере, отслеживать время приема лекарств, осуществлять управление роботом.

Алгоритм работы программы следующий:

В начале дня врач/медсестра/специальный персонал редактирует базу данных, назначая лекарства и время, в которое их должен получить пациент, после чего переводит программу в рабочий режим.

В рабочем режиме программа начинает отслеживать время приема лекарств и как только оно наступает, роботу отправляется команда начала работы и включается световая дорожка, по которой роботу нужно доехать до пациента.

Как только робот доезжает до пациента, на компьютер приходит сигнал об этом событии.

Получив сигнал, компьютер отправляет роботу команду «ожидать прикладывания карты»

Пациент прикладывает RFID карту или браслет к RFID сканеру, и ее номер отправляется на компьютер, где он будет проверен на соответствие с номером из базы данных.

В случае соответствия компьютер отправляет роботу команду «выдать лекарство» после чего возвращается на базу.

Компьютер переходит в ожидание следующего времени приема лекарств.

Интерфейс программы (см. Приложение №2):

Поля для ввода данных о пациенте

“Add” вносит в таблицу пациента, данные которого вписаны в поля 1

“Delete all” очищает таблицу

“Save” сохраняет таблицу в файл

“Load” загружает ранее сохраненную таблицу

“Start” переводит программу в «рабочий режим» в котором она начинает отслеживать время приема и осуществлять управление роботом

“Stop” отключает рабочий режим

В дальнейшем планируется оснастить прототип устройства WI-FI модулем для взаимодействия сервисного робота с локальными беспроводными сетями (см. Приложение №4); альтернативным устройством выдачи лекарственных препаратов (см. в Приложении №5).

7. Предложения по практическому использованию результатов проекта

Создание промышленного образца сервисного- робота развозчика; разработка и внедрение унифицированной базы данных пациентов и обеспечение ее взаимосвязи с сервисным роботом по беспроводным каналам связи; внедрение устройства в стационары РФ.

8. Выводы

Общие выводы.

Исходя из анализа мирового опыта рассматриваемая тема является актуальной, важной, и ей активно занимаются во всем мире. Выявлено отсутствие внедрения подобных устройств в медицинских учреждениях РФ, что делает проект перспективным.

На основании определенных в работе технических требований к устройству создан прототип роботизированного устройства выдачи лекарств с реализацией алгоритмов объезда препятствий, движения по линии, голосового управления, RFID идентификации.

Изучена среда разработки Arduino и принцип программирования микроконтроллеров ATMEGA на базе платформы Arduino. В среде программирования Arduino IDE на “си подобном” языке WIRING написано программное обеспечение устройства.

Отлажено взаимодействие компонентов робота с блоком управления на базе платформы Arduino.

С использованием объектно-ориентированного языка программирования C# («си шарп») в программной среде Microsoft Visual Studio создан прототип базы данных пациентов с отработкой реализации события по времени его наступления.

С учетом реализации поставленных в проекте задач, считаю цель проекта достигнутой.

Выводы, имеющие практическое значение.

Повышение эффективности лечения пациентов за счет обеспечения постоянного контроля и учета приема лекарственных препаратов по предписанию лечащего врача в необходимой дозировке. Повышение качества медицинского обслуживания населения и контроль за работой лечащих врачей. Внедрение инновационных робототехнических технологий в повседневную жизнь.

Возможность дистанционной корректировки медикаментозного курса лечения лечащим врачом по выявлению позитивных и негативных отклонений, вызванных приемом назначенных медикаментозных препаратов на основе мониторинга данных результатов анализов пациента, заносимых в электронную карту пациента, включенную в единую базу данных.

Внедрение устройства позволит экономить рабочее время медицинского персонала (медсестер) и позволит им уделять большее внимание пациентам, что даст возможность оптимизировать организационные расходы медицинских учреждений.

Унификация разрозненных Баз данных медицинских учреждений Российской Федерации и их объединение в одну глобальную сеть с ее последующей интеграцией в единую мировую Базу данных с целью возможности получения высококачественной медицинской помощи гражданами РФ по всему миру.

Выводы, имеющие научное значение.

Появляется возможность накопления и систематизации уникальной информации по приему тех или иных медицинских препаратов разными возрастными группами населения. Изучения на ее базе фармакокинетики (кинетических закономерностей химических и биологических процессов, происходящих с лекарственным средством в организме) и фармакодинамики (поведения организма после действия лекарственного препарата) для ее последующей научной обработки.

Литература:

1.Статья об утверждении структуры электронной медицинской карты Минздравом России:

[<http://www.rosminzdrav.ru/news/2013/11/20/1314-minzdravom-rossii-utverzhdena-struktura-elektronnoy-meditsinskoy-karty>]

2.Внедрение информационных систем в мед.учреждения:
[<http://izvestia.ru/news/575643>]

3.Проект внедрения электронных карт:
[<http://sao.mos.ru/news/news/detail/995744.html>]

4.Электронные карты в больницах Челябинска:[
<http://mediazavod.ru/articles/143237>]

5.Развитие программы информатизации российского здравоохранения:

[<http://www.pcweek.ru/idea/article/detail.php?ID=156001>]

- 6.Статья об услуги и инновационные продукты в области охраны здоровья и повышения эффективности в сфере оказания медицинских услуг: [<http://www.smarthealth.ru/>]
- 7.Робот-фармацевт: [<http://www.pharmvestnik.ru/publs/lenta/v-rossii/prodatj-za-semj-sekund.html>]
- 8.Робот при больнице – Helpmate: [<http://www.membrana.ru/particle/2439>]
9. The digital health feedback system: [<http://www.proteus.com/>]
- 10.Glow Cap: [<http://www.glowcaps.com/>]
11. Medication adherence management solution and telehealth platform: [<http://www.vaica.com/>]
- 12.Новый японский робот для больниц: [<http://nauka21vek.ru/archives/54173>]
13. Wi-Fi-based RTLS [<http://www.ekahau.com/real-time-location-system/about-us#offices>]
14. Технология RFID: [<http://xbb.uz/ICT/Tehnologija-RFID>]
15. Виртуальные RFID-стены в больницах: [<http://www.mobiledevice.ru/CenTrak-General-Electric-RFID-metki-otslezhivanie-medicinskogo-o.aspx>]
16. Больница будущего Asklepios Barmbek: [<http://www.rfid.ru/news/193.html>]
17. Больница Heartlands: [<http://www.idexpert.ru/projects/107/7192/>]
18. Конструктор Ардуино: [<http://arduino.ru/>]

Приложение 1. Текст программы управления микроконтроллером в среде разработки Arduino на “си подобном” языке “Wiring”./*Medical pills dispenser robot Copyright by Anastasia Solntseva Technical liceum 1501, class 11-1.

Based on Arduino Mega 2560 controller*/

//Подключение библиотек

#include <Wire.h>//библиотека I2c устройств

#include <EEPROM.h>

#include <LiquidCrystal.h>// библиотека LCD дисплея

#include <Servo.h>//библиотека для работы с сервоприводами

#include <Multiservo.h>//библиотека для работы с мультисервошилд

#include <pitch.h>// библиотека работы со звуком

//Подключение библиотек для Easy VR Shield

#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100

#include "Arduino.h"

#include "SoftwareSerial.h"

SoftwareSerial port(12,13);//для Easy VR Shield

SoftwareSerial RFID(5, 6); // пины RX and TX для RFID модуля

#else // Arduino 0022 - use modified NewSoftSerial

```
#include "WProgram.h"

#endif

#include "EasyVR.h"

EasyVR easyvr(port);

//Объекты

// Создаем объект для сервопривода УЗ дальномера

Servo vservo;

//Создаем объект для сервопривода подключенного к
мультисервошилду

Multiservo myservo;// сервопривод емкости с лекарствами

//Описание ходовой части робота

//*В качестве ходовой части используется двухколесная платформа
Turtle*/

// Ходовые моторы подключены к контроллеру через Motor Shield на
микросхеме L298P

// Распиновка

//Для коммуникации Motor shield с микроконтроллером используются
цифровые контакты Arduino:

//4 — направление, правый

//5 — скорость (ШИМ), правый

//6 — скорость (ШИМ), левый
```

//7 — направление, левый

// Правый мотор MR подключен к клеммам Motor Shield M1+,M1-

// Левый мотор ML подключен к клеммам Motor Shield M2+,M2-с обратной полярностью

//Назначение выводов контроллера для управления моторами роботоплатформы

#define SPEED_LEFT 6 // пин 6 управляет скоростью вращения левого мотора

#define DIR_LEFT 7 // пин 7 управляет направлением вращения левого мотора

#define SPEED_RIGHT 5 // пин 5 управляет скоростью вращения правого мотора

#define DIR_RIGHT 4 // пин 4 управляет направлением вращения правого мотора

//Задаем скорость, с которой происходит движение вперед (0-255)

#define SPEED 100

// Задаем шаг увеличения скорости при движении вперед

// от значения SLOW_SPEED до SPEED

#define SPEED_STEP 5

//Столько раз счетчик fastTime (см. ниже) отсчитывает вызов функции runForward

//при движении робота на минимальной скорости

```
// и только потом начинает наращивать скорость добавляя к ней  
SPEED_STEP
```

```
//пока она не станет равной SPEED
```

```
#define FAST_TIME_THRESHOLD 5
```

```
//Задаем скорости прохождения сложных участков(0-255)
```

```
#define SLOW_SPEED 70 // нижний предел скорости
```

```
#define BACK_SLOW_SPEED 30 // нижний предел скорости  
движения назад
```

```
#define BACK_FAST_SPEED 50 // верхний предел скорости  
движения назад
```

```
//Задаем целевые состояния
```

```
#define STATE_FORWARD 0
```

```
#define STATE_RIGHT 1
```

```
#define STATE_LEFT 2
```

```
//Задаем переменные состояния
```

```
int state = STATE_FORWARD;
```

```
int currentSpeed = SPEED;
```

```
int fastTime = 0; // счетчик, не дающий роботу "резво" двинуться  
вперед
```

```
// Программный модуль движения вперед
```

```
void runForward()
{
    state = STATE_FORWARD;

    fastTime += 1; // счетчик вызовов функции runForward
    if (fastTime < FAST_TIME_THRESHOLD)
    {
        currentSpeed = SLOW_SPEED;
    }
    else
    {
        currentSpeed = min(currentSpeed + SPEED_STEP, SPEED);
    }

    analogWrite(SPEED_LEFT, currentSpeed);
    analogWrite(SPEED_RIGHT, currentSpeed);

    // Если в DIR_LEFT или DIR_RIGHT пишем HIGH, мотор будет
    // двигать соответствующее колесо вперед,
    // если LOW - назад.

    digitalWrite(DIR_LEFT, HIGH);
    digitalWrite(DIR_RIGHT, HIGH);
}
```

//Программный модуль поворота направо

void steerRight()

{

state = STATE_RIGHT;

fastTime = 0;

// Останавливаем правое колесо относительно левого,

// чтобы начать поворот

analogWrite(SPEED_RIGHT, 0); // Останавливаем правый мотор

analogWrite(SPEED_LEFT, SPEED); // Левый мотор в работе

digitalWrite(DIR_LEFT, HIGH);

digitalWrite(DIR_RIGHT, HIGH);

}

//Программный модуль поворота налево

void steerLeft()

{

state = STATE_LEFT;

fastTime = 0;

// Замедляем левое колесо относительно правого,

// чтобы начать поворот

```
analogWrite(SPEED_LEFT, 0); //Останавливаем левый мотор
analogWrite(SPEED_RIGHT, SPEED); // правый мотор в работе
digitalWrite(DIR_LEFT, HIGH);
digitalWrite(DIR_RIGHT, HIGH);
}

//Программный модуль движения назад
void stepBack(int duration, int state)
{
    if (!duration)
    {
        return;
    }

    // В зависимости от направления поворота при движении назад будем
    // делать небольшой разворот

    int leftSpeed = (state == STATE_RIGHT) ? BACK_SLOW_SPEED :
    BACK_FAST_SPEED;

    int rightSpeed = (state == STATE_LEFT) ? BACK_SLOW_SPEED :
    BACK_FAST_SPEED;

    analogWrite(SPEED_LEFT, leftSpeed);
    analogWrite(SPEED_RIGHT, rightSpeed);
```



```
// реверс колёс
digitalWrite(DIR_RIGHT, LOW);
digitalWrite(DIR_LEFT, LOW);
delay(duration);
}

// Программный модуль остановки двигателей
void motorstop()
{
    analogWrite(SPEED_LEFT, 0); //Останавливаем левый мотор
    analogWrite(SPEED_RIGHT, 0); //Останавливаем правый мотор
    // реверс колёс
    digitalWrite(DIR_RIGHT, LOW);
    digitalWrite(DIR_LEFT, LOW);
}

//Назначение выводов контроллера для подключения датчиков линии
#define LEFT_SENSOR_PIN 12 // к пину 12 отвечает за левый датчик
линии

#define RIGHT_SENSOR_PIN 11 // к пину 11 отвечает за правый
датчик линии

//Мелодия при включении питания робота
```

```
int speakerPin = 50; // пьезодинамик подключен к пину 50

int length = 8;           // число проигрываемых нот

char notes[] = "cegCCгес "; // пробел - пауза

int beats[] = { 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1, 4 };

int tempo = 400; // темп проигрывания мелодии

void playTone(int tone, int duration)

{
    for (long i = 0; i < duration * 1000L; i += tone * 2)
    {
        digitalWrite(speakerPin, HIGH);
        delayMicroseconds(tone);
        digitalWrite(speakerPin, LOW);
        delayMicroseconds(tone);
    }
}

void playNote(char note, int duration)

{
    char names[] = { 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', 'a', 'b', 'C' };
    int tones[] = { 1915, 1700, 1519, 1432, 1275, 1136, 1014, 956 };
```

```
// проиграть тон, соответствующий note
for (int i = 0; i < 8; i++) {
    if (names[i] == note) {
        playTone(tones[i], duration);
    }
}

// Плата управления режимами работы робота

// Заносим в массив номера выводов контроллера, к которым
подключены светодиоды

// платы выбора режимов работы робота
const int vledpins[6]={22,23,24,25,26,27};

// Создаем переменную для сохранения режима работы
int vmode;

// Создаем переменную для сохранения предыдущего режима работы
int vmodeprev = -1;

// Заносим в массив номера вывода контроллера, к которым
подключены кнопки

// платы выбора режимов работы робота
const int vbtn[2]={28,29};
```

```
// Ультразвуковая локация

// Подключаем библиотеку для сервоприводов

#include <Servo.h>

// Создаем объект для сервопривода УЗ дальномера

Servo vservo;

// Создаем массив для хранения углов поворота сервопривода УЗ
дальномера (шаг 15 градусов)

const int
vservo_array[13]={0,15,30,45,60,75,90,105,120,135,150,165,180};

// Создаем массив для хранения данных о расстоянии под различными
углами поворота сервопривода

int vHC_SR04_array[13];

// Задаем номера выводов контроллера, используемые ультразвуковым
дальномером

const int vTrig = 31;

const int vEcho = 30;

// Создаем переменные, для хранения данных с УЗ дальномера

unsigned int vtime_us=0;

unsigned int vdistance_sm=0;

/* Задаем функцию определения расстояния с дальномера */

int vHC_SR04()
```

```
{  
  
    digitalWrite(vTrig, HIGH); // Подаем сигнал на выход  
    микроконтроллера  
  
    delayMicroseconds(10); // Удерживаем 10 микросекунд  
  
    digitalWrite(vTrig, LOW); // Затем убираем  
  
    vtime_us=pulseIn(vEcho, HIGH); // Замеряем длину импульса  
  
    vdistance_sm=vtime_us/58; // Пересчитываем в сантиметры  
  
    return vdistance_sm; // Возвращаем значение  
  
}  
  
// Задаем минимальное расстояние в сантиметрах, при котором нужно  
искать новый маршрут движения  
  
const int vmindistance = 40;  
  
// Создаем переменную для циклов перебора значения массивов  
vservo_array и vHC_SR04_array  
  
int vservo_int;  
  
// Создаем переменные для цикла поиска максимального значения в  
массивах  
  
int vmaxarrayindex_int;  
  
int vmaxarrayvalue_int;  
  
/* Подключение LCD дисплея
```

Схема:

* LCD RS 4 pin to digital pin 38

* LCD E 6 pin to digital pin 36

* LCD DB5 11 pin to digital pin 46

* LCD DB6 12 pin to digital pin 44

* LCD DB7 13 pin to digital pin 42

* LCD DB8 14 pin to digital pin 40

* LCD Mpin (контраст) - замкнут на землю (контраст на максимуме, поэтому пустые точки немного "засвечены", но это не сильно мешает)

*/

// Подключаем стандартную библиотеку LiquidCrystal

///`#include <LiquidCrystal.h>`

// Инициализируем объект-экран, передаём использованные

// для подключения контакты на Arduino в порядке:

// RS, E, DB5, DB6, DB7, DB8

LiquidCrystal lcd(38, 52, 36, 46, 44, 42, 40);

//RFID модуль

///`#include <Wire.h>`

///`#include <Multiservo.h>`

//Multiservo myservo;

///`#include <pitches.h>`

```
///#include <SoftwareSerial.h>

//SoftwareSerial RFID(5, 6); // RX and TX

int data1 = 0;

int ok = -1;

int yes = 12;// пин с зеленым  ОК светодиодом

int no = 13;// пин с красным NOT ОК светодиодом

int data[14]; //Переменная для хранения информации с RFID карты

int val = 0;

// use first sketch in http://wp.me/p3LK05-3Gk to get your tag numbers

int tag1[14] = {2,54,54,48,48,53,67,68,65,67,49,50,49,3};// Карта 1 ОК

int tag2[14] = {2,54,54,48,48,53,67,68,53,50,69,67,49,3};// Карта 2 ОК

int newtag[14] = { 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}; // используется для
сравнения

int j_melody[] = {NOTE_G4,0,NOTE_A4,0,
NOTE_B4,0,NOTE_A4,0,NOTE_B4,0, NOTE_C5,0};

int j_noteDurations[] = {8,8,8,8,8,4,8,8,8,8,4};

int d_melody[] =
{NOTE_C4,0,NOTE_D4,0,NOTE_F4,0,NOTE_D4,0,NOTE_F4,0,NOTE_
G4,0};

int d_noteDurations[] = {8,8,8,8,8,4,8,8,8,8,4};

int fail_melody[] = {NOTE_G2,0,NOTE_F2,0,NOTE_D2,0};
```

```
int fail_noteDurations[] = {8,8,8,8,8,4};
```

```
int speaker_pin = 8;
```

```
//int servoPin = 9;
```

```
//Работа с Easy VR модулем
```

```
//Groups and Commands
```

```
enum Groups
```

```
{
```

```
    GROUP_0 = 0,
```

```
    GROUP_1 = 1,
```

```
};
```

```
enum Group0
```

```
{
```

```
    G0_AKTIV = 0,
```

```
};
```

```
enum Group1
```

```
{
```

```
    G1_PRIVET = 0,
```

```
    G1_KAK_DELA = 1,
```

```
    G1_KAK_NASTR = 2,
```



```
G1_MOLODEC = 3,

G1_PLOXO = 4,

G1_AN = 5,

};

EasyVRBridge bridge;

int8_t group, idx;

// ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ РОБОТА ПОСЛЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ПИТАНИЯ

void setup()

{

// Настраиваем выводы контроллера №№ 4,5,6,7 на вывод сигналов на

электродвигатели

    for(int i = 4; i <= 7; i++)

    {

        pinMode(i, OUTPUT);

    }

}

// Инициализируем выводы контроллера, к которым подключен

ультразвуковой датчик

    pinMode(vTrig, OUTPUT);

    pinMode(vEcho, INPUT);
```

// Назначаем вывод к которому подключен сервопривод УЗ
дальномера

```
vservo.attach(9); // подключен к 9 выводу
```

// И подаем команду поворота сервопривода в положение 90 градусов
при каждом включении

```
vservo.write(90);
```

// Настраиваем выводы контроллера №№ 50 на вывод сигналов на
пьезоизлучатель

```
{
```

```
pinMode(speakerPin, OUTPUT);
```

```
}
```

/* Устанавливаем выводы, к которым подключены светодиоды платы
режимов,

в OUTPUT. Далее зажигаем и гасим светодиоды с интервалом в 0.5
сек

для проверки их работы */

```
for (vmode = 0; vmode < 6; vmode = vmode + 1)
```

```
{
```

```
pinMode(vledpins[vmode], OUTPUT);
```

```
digitalWrite(vledpins[vmode], HIGH);

delay (500);

digitalWrite(vledpins[vmode], LOW);

}

/* Инициализируем выходы контроллера, к которым подключены
кнопки, в INPUT. */

pinMode(vbtn[0], INPUT);
pinMode(vbtn[1], INPUT);

/* Проигрываем мелодию */
for (int i = 0; i < length; i++)
{
    if (notes[i] == ' ')
    {
        delay(beats[i] * tempo); // пауза
    } else
    {
        playNote(notes[i], beats[i] * tempo);
    }

    // пауза между нотами
    delay(tempo / 2);
}
```

```
}  
  
{  
  
    // устанавливаем размер (количество столбцов и строк) экрана  
    lcd.begin(16, 2);  
  
    // печатаем первую строку  
    lcd.print("Hello Nastya!");  
  
    // устанавливаем курсор в колонку 0, строку 1. То есть на  
    // самом деле это вторая строка, т.к. нумерация начинается с нуля  
    lcd.setCursor(0, 1);  
  
    // печатаем вторую строку  
    lcd.print("WAITING COMMAND");  
}  
  
// Устанавливаем значение первого режима работы робота  
vmode = 0;  
  
//Устанавливаем скорость общения на последовательном порту  
Serial.begin(9600);  
  
// Инициализация общения с RFID модулем  
RFID.begin(9600);  
  
//Инициализация порта I2C
```

```
Wire.begin();
```

```
// Инициализация сервы емкости с лекарствами на 17 пине МСШ
```

```
myservo.attach(17);
```

```
//Инициализация пинов светодиодов RFID устройства
```

```
pinMode(yes, OUTPUT);
```

```
pinMode(no, OUTPUT);
```

```
//Инициализация портов устройств для выполнения голосовых команд
```

```
pinMode(A0, OUTPUT);
```

```
pinMode(A1, OUTPUT);
```

```
pinMode(A2, OUTPUT);
```

```
pinMode(A3, OUTPUT);
```

```
pinMode(A4, OUTPUT);
```

```
pinMode(A5, OUTPUT);
```

```
// bridge mode?
```

```
if (bridge.check())
```

```
{
```

```
cli();
```

```
bridge.loop(0, 1, 12, 13);
```

```
}

// run normally

//Serial.begin(9600);

port.begin(9600);

if (!easyvr.detect())

{

    Serial.println("EasyVR not detected!");

    for (;;)

}

easyvr.setPinOutput(EasyVR::IO1, LOW);

Serial.println("EasyVR detected!");

easyvr.setTimeout(5);

easyvr.setLanguage(0);

group = EasyVR::TRIGGER; //<-- start group (customize)

}

void action();

// Программный модуль считывания данных с RFID карт

boolean comparetag(int aa[14], int bb[14])

{
```

```
boolean ff = false;

int fg = 0;

for (int cc = 0 ; cc < 14 ; cc++)
{
    if (aa[cc] == bb[cc])
    {
        fg++;
    }
}

if (fg == 14)
{
    ff = true;
}

return ff;
}

void checkmytags() // compares each tag against the tag just read
{
    ok = 0; // this variable helps decision-making,

    // if it is 1 we have a match, zero is a read but no match,
```

```
// -1 is no read attempt made

if (comparetag(newtag, tag1) == true)
{
    ok++;
}

if (comparetag(newtag, tag2) == true)
{
    ok++;
}
}

void readTags()
{
    ok = -1;

    if (RFID.available() > 0)
    {
        // read tag numbers

        delay(100); // needed to allow time for the data to come in from the serial
        buffer.

        for (int z = 0 ; z < 14 ; z++) // read the rest of the tag
```



```
{  
    data1 = RFID.read();  
    newtag[z] = data1;  
}  
RFID.flush(); // stops multiple reads  
  
// do the tags match up?  
checkmytags();  
}  
  
// now do something based on tag type  
if (ok > 0) // if we had a match  
{  
    Serial.println("Accepted");  
    digitalWrite(yes, HIGH);  
    //delay(3000);  
  
    for (int i = 0; i < 12; i++)  
    {  
        int j_noteDuration = 1000/j_noteDurations[i];
```

```
tone(speaker_pin, j_melody[i], j_noteDuration);

int j_pauseBetweenNotes = j_noteDuration * 1.30;

delay(j_pauseBetweenNotes);

noTone(speaker_pin);

}

{

myservo.write(90);

delay(5000);

//digitalWrite(yes, HIGH);

//delay(3000);

//digitalWrite(yes, LOW);

myservo.write(10);

}

ok = -1;

}

else if (ok == 0) // if we didn't have a match

{

Serial.println("Rejected");

digitalWrite(no, HIGH);
```

```
//delay(3000);

for (int i = 0; i < 6; i++)
{
    int fail_noteDuration = 1000/fail_noteDurations[i];
    tone(speaker_pin, fail_melody[i], fail_noteDuration);
    int fail_pauseBetweenNotes = fail_noteDuration * 1.30;
    delay(fail_pauseBetweenNotes);
    noTone(speaker_pin);
}

digitalWrite(no, LOW);

ok = -1;
}
}

// ИСПОЛНЯЕМЫЙ ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ

void loop()
{
    /* Исполняемый программный модуль переключения режимов
    работы робота */
```

// Кнопка переключения на следующий режим - BTN1

```
if (digitalRead(vbtn[0]) == HIGH)
```

```
{
```

```
    vmode = vmode + 1;
```

```
    vmodeprev = vmode - 1;
```

```
    if (vmode > 5)
```

```
    {
```

```
        vmode = 0;
```

```
        vmodeprev = 5;
```

```
    }
```

```
    motorstop();
```

```
    delay (1000);
```

```
}
```

// Кнопка переключения на предыдущий режим - BTN2

```
if (digitalRead(vbtn[1]) == HIGH)
```

```
{
```

```
    vmode = vmode - 1;
```

```
    vmodeprev = vmode + 1;
```

```
if (vmode < 0)
{
    vmode = 5;
    vmodeprev = 0;
}
motorstop();
delay (1000);
}

// Засвечиваем светодиод текущего режима работы
digitalWrite(vledpins[vmode], HIGH);

// Гасим светодиод предыдущего режима работы
if (vmodeprev > -1)
{
    digitalWrite(vledpins[vmodeprev], LOW);
}

/* Выбор режима работы */
switch (vmode)
```

```
{  
  
case 0: // Режим ожидания  
  
    break;  
  
  
case 1: // Режим работы с использованием ультразвукового  
дальномера  
  
    vultrasoundmode();  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
  
    // печатаем вторую строку  
  
    lcd.print("ULTRASOUND MODE");  
  
    readTags();  
  
    break;  
  
case 2: // Режим работы с датчиками линии  
  
    vsensormode();  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
  
    // печатаем вторую строку  
  
    lcd.print("BLACK LINE MODE");  
  
    readTags();  
  
    break;  
  
case 3: // Режим работы с УЗД и датчиками линии
```

```
vultrasoundmode();  
  
vsensormode();  
  
lcd.setCursor(0, 1);  
  
    // печатаем вторую строку  
  
    lcd.print("USM & BLM");  
  
    readTags();  
  
break;  
  
case 4: //Режим голосового управления  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
  
    // печатаем вторую строку  
  
    lcd.print("VOICE RECOGNITION");  
  
    readTags();  
  
    action();  
  
    break;  
  
case 5: // Резерв  
  
    break;  
  
}
```

// Программный модуль работы с Easy VR Shield

```
easyvr.setPinOutput(EasyVR::IO1, HIGH); // LED on (listening)

Serial.print("Say a command in Group ");

Serial.println(group);

easyvr.recognizeCommand(group);

do

{

    // can do some processing while waiting for a spoken command

}

while (!easyvr.hasFinished());

easyvr.setPinOutput(EasyVR::IO1, LOW); // LED off

idx = easyvr.getWord();

if (idx >= 0)

{

    // built-in trigger (ROBOT)

    // group = GROUP_X; <-- jump to another group X

    return;

}

idx = easyvr.getCommand();

if (idx >= 0)
```



```
{  
    // print debug message  
    uint8_t train = 0;  
    char name[32];  
    Serial.print("Command: ");  
    Serial.print(idx);  
    if (easyvr.dumpCommand(group, idx, name, train))  
    {  
        Serial.print(" = ");  
        Serial.println(name);  
    }  
    else  
        Serial.println();  
    easyvr.playSound(0, EasyVR::VOL_FULL);  
    // perform some action  
    action();  
}  
else // errors or timeout  
{
```

```
if (easyvr.isTimeout())  
    Serial.println("Timed out, try again...");  
  
int16_t err = easyvr.getError();  
  
if (err >= 0)  
{  
    Serial.print("Error ");  
    Serial.println(err, HEX);  
}  
}  
}
```

/ Режим движения с использованием ультразвукового дальномера */*

```
void vultrasoundmode()  
{  
    vservo.write(90);  
    delay(200);  
    Serial.print("Now");  
    Serial.println(vHC_SR04());  
}
```

```
// Если расстояние меньше наименьшего, то
if (vHC_SR04() < vmindistance)
{
    // Останавливаем двигатели
    motorstop();

    // Крутим серву измеряя расстояния и занося данные в массив
    for (vservo_int = 0; vservo_int < 13; vservo_int = vservo_int + 1)
    {
        vservo.write(vservo_array[vservo_int]);
        delay(200);
        vHC_SR04_array[vservo_int] = vHC_SR04();

        // Выводим данные для отладки
        Serial.print(vservo_int);
        Serial.print(" ");
        Serial.println(vHC_SR04_array[vservo_int]);
    }
    vservo.write(90);
    delay(300);
```

```
// Поиск в массиве позиции с максимальным значением

vmaxarrayindex_int = 0;

vmaxarrayvalue_int = 0;

for (vservo_int = 0; vservo_int < 13; vservo_int = vservo_int + 1)
{
    if (vHC_SR04_array[vservo_int] > vmaxarrayvalue_int)
    {
        vmaxarrayindex_int = vservo_int;
        vmaxarrayvalue_int = vHC_SR04_array[vservo_int];
    }
}

Serial.print("Max index ");

Serial.println(vmaxarrayindex_int);


// Проверка - если максимальное значение массива меньше
минимального расстояния, то едем назад

if (vHC_SR04_array[vmaxarrayindex_int] < vmindistance)
{
    stepBack(500,10);

    //delay(500);
```

```
}

/* Проверка - если индекс максимального значения массива
меньше 6 то поворачиваем вправо,

иначе влево */

if (vmaxarrayindex_int < 6)

{

    steerRight(); // Поворот вправо

    delay(500);

}

else

{

    steerLeft();// Поворот влево

    delay(500);

}

}

else

{

    // Движение прямо

    runForward();

}
```

```
}
```

```
/* РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ  
ЛИНИИ*/
```

```
void vsensormode()
```

```
{
```

```
// Наш робот ездит по белому полю с чёрным треком.
```

```
boolean left = !digitalRead(LEFT_SENSOR_PIN);
```

```
boolean right = !digitalRead(RIGHT_SENSOR_PIN);
```

```
// В какое состояние нужно перейти?
```

```
int targetState;
```

```
if (left == right)
```

```
{
```

```
// под сенсорами всё белое или всё чёрное
```

```
// едем вперёд
```

```
runForward();
```

```
}
```

```
else if (left)
```

```
{
```

```
// левый сенсор упёрся в трек
```

```
// поворачиваем налево
```

```
    steerLeft();
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
    steerRight();
```

```
}
```

```
if (state == STATE_FORWARD && targetState !=  
STATE_FORWARD)
```

```
{
```

```
    int brakeTime = (currentSpeed > SLOW_SPEED) ?
```

```
    currentSpeed : 0;
```

```
    stepBack(brakeTime, targetState);
```

```
}
```

```
switch (targetState)
```

```
{
```

```
    case STATE_FORWARD:
```

```
        runForward();
```

```
        break;
```

```
        case STATE_RIGHT:
            steerRight();

            break;

        case STATE_LEFT:
            steerLeft();

            break;

    }
}

//Действие при голосовом управлении
void action()
{
    switch (group)
    {
        case GROUP_0:
            switch (idx)
            {
                case G0_AKTIV:
                    group = GROUP_1;
```



```
break;
```

```
}
```

```
break;
```

```
case GROUP_1:
```

```
switch (idx)
```

```
{
```

```
case G1_PRIVET:
```

```
    digitalWrite(A0, HIGH);
```

```
    delay(2000);
```

```
    digitalWrite(A0, LOW);
```

```
    break;
```

```
case G1_KAK_DELA:
```

```
    digitalWrite(A1, HIGH);
```

```
    delay(2000);
```

```
    digitalWrite(A1, LOW);
```

```
    break;
```

```
case G1_KAK_NASTR:
```

```
    digitalWrite(A2, HIGH);
```

```
    delay(2000);  
  
    digitalWrite(A2, LOW);  
  
    break;  
  
case G1_MOLODEC:  
  
    digitalWrite(A3, HIGH);  
  
    delay(2000);  
  
    digitalWrite(A3, LOW);  
  
    break;  
  
case G1_PLOXO:  
  
    digitalWrite(A4, HIGH);  
  
    delay(2000);  
  
    digitalWrite(A4, LOW);  
  
    break;  
  
case G1_AN:  
  
    digitalWrite(A5, HIGH);  
  
    delay(2000);  
  
    digitalWrite(A5, LOW);  
  
    break;  
  
}
```

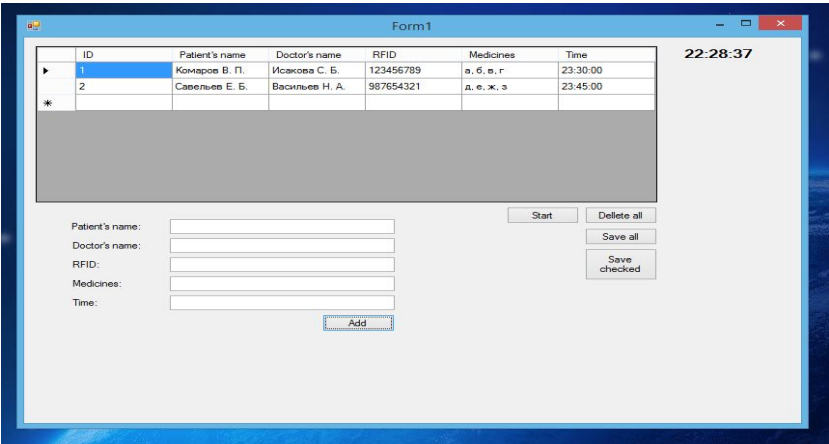
```
break;

}

}
```

Приложение 2.

Окно базы данных в программной среде Microsoft Visual Studio и ее программный код на языке C# (си-шарп)



```
using System;

using System.Collections.Generic;

using System.ComponentModel;

using System.Data;
```

```
using System.Drawing;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.Threading.Tasks;

using System.Windows.Forms;

using System.IO;


namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        int id = 0;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }


        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
```

```
if (this.textBox1.Text == "" | this.textBox2.Text == "" |
this.textBox3.Text == "" | this.textBox4.Text == "" | this.textBox5.Text ==
"")
{
    MessageBox.Show("ERROR: empty boxes!");
}
else
{
    this.dataGridView1.Rows.Add();
    this.dataGridView1[0, id].Value = id + 1;
    this.dataGridView1[1, id].Value = this.textBox1.Text;
    this.dataGridView1[2, id].Value = this.textBox2.Text;
    this.dataGridView1[3, id].Value = this.textBox3.Text;
    this.dataGridView1[4, id].Value = this.textBox4.Text;
    this.dataGridView1[5, id].Value = this.textBox5.Text;
    this.textBox1.Text = "";
    this.textBox2.Text = "";
    this.textBox3.Text = "";
    this.textBox4.Text = "";
    this.textBox5.Text = "";
```

```
        id++;  
    }  
}
```

```
private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)  
{  
    this.label6.Text = DateTime.Now.ToString("HH:mm:ss");  
  
}
```

```
private void timer2_Tick(object sender, EventArgs e)  
{  
  
    for (int id = 0; id != dataGridView1.RowCount - 1; id++) {  
  
        int t1 = Convert.ToInt32(dataGridView1[5,  
id].Value.ToString().Substring(0, 2));  
  
        int t2 = Convert.ToInt32(dataGridView1[5,  
id].Value.ToString().Substring(3, 2));
```

```
int t3 = Convert.ToInt32(dataGridView1[5,  
id].Value.ToString().Substring(6, 2));
```

```
if ((t1 == System.DateTime.Now.Hour) && (t2 ==  
System.DateTime.Now.Minute) && (t3 ==  
System.DateTime.Now.Second))
```

```
{
```

```
    dataGridView1.Rows[id].DefaultCellStyle.BackColor =  
Color.Green;
```

```
    MessageBox.Show("IT WORKS");           // Вместо  
вывода сообщения можно внедрить программный код с отправкой  
сигнала по WiFi.
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
```

```
{
```

```
    timer2.Enabled = true;
```

```
}
```

```
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
```

```
{
```

```
DialogResult result1 = MessageBox.Show("Are you sure?", "Are  
you sure?", MessageBoxButtons.OKCancel);
```

```
    if (result1 == System.Windows.Forms.DialogResult.OK)  
    {  
        dataGridView1.Rows.Clear();  
        id = 0; //иначе индекс за пределами диапазона  
    }  
}
```

```
private void button4_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    FileStream fs = new FileStream(@"d:\dgfgdg.txt",  
    FileMode.Create);  
    StreamWriter streamWriter = new StreamWriter(fs);  
  
    try  
    {  
        streamWriter.Write(dataGridView1[4, 0].Value.ToString());  
        streamWriter.Close();  
        fs.Close();  
    }  
}
```



```
        MessageBox.Show("Файл успешно сохранен");
    }
    catch
    {
        MessageBox.Show("Ошибка при сохранении файла!");
    }
}

private void button5_Click(object sender, EventArgs e)
{
    FileStream fs = new FileStream(@"d:\12312.txt",
    FileMode.Create);

    StreamWriter streamWriter = new StreamWriter(fs);

    try
    {
        for (int j = 0; j < dataGridView1.Rows.Count; j++)
        {
            for (int i = 0; i < dataGridView1.Rows[j].Cells.Count; i++)
```

```
        {  
            streamWriter.Write(dataGridView1.Rows[j].Cells[i].Value  
+ "\t");  
        }  
  
        streamWriter.WriteLine();  
    }  
  
    streamWriter.Close();  
    fs.Close();  
  
    MessageBox.Show("Файл успешно сохранен");  
}  
catch  
{  
    MessageBox.Show("Ошибка при сохранении файла!");  
}  
}
```

```
private void button6_Click(object sender, EventArgs e)
```

```
{  
    dataGridView1.Rows[0].DefaultCellStyle.BackColor = Color.Red;  
}  
  
private void button7_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    dataGridView1.Rows[0].DefaultCellStyle.BackColor =  
Color.Green;  
}  
}  
}
```

Приложение 3. Фотообзор мирового опыта внедрения аналогичных технологий и устройств.



Рис. 1. Робот-фармацевт фирмы Consis в одной из аптек Красноярска, РФ



Рис. 2. Органайзер приема лекарств SimpleMed, фирма Vaica Medical, США.



Рис. 3. Баночки для лекарств компании GlowCaps, США.

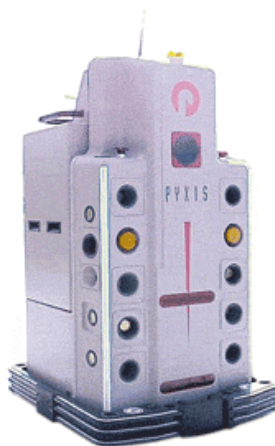


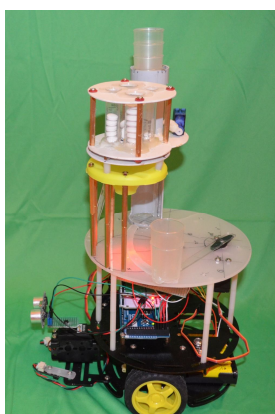
Рис 4. Сервисный робот HelpMate компании PIXIS, США.



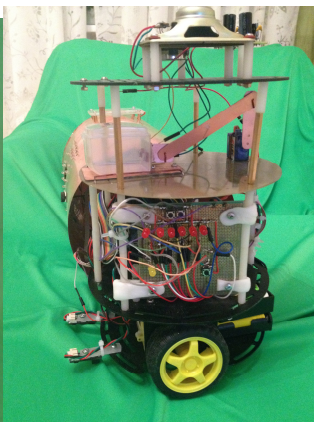
Рис. 5. Сервисный робот в “Forth Valley Royal Hospital”, Шотландия.



Рис. 6. Сервисный робот HOSPI-R от Panasonic.



2013-2014



2014-2015



2014-2015

Рис. 7. Прототип сервисного робота, созданный в ходе выполнения проекта.

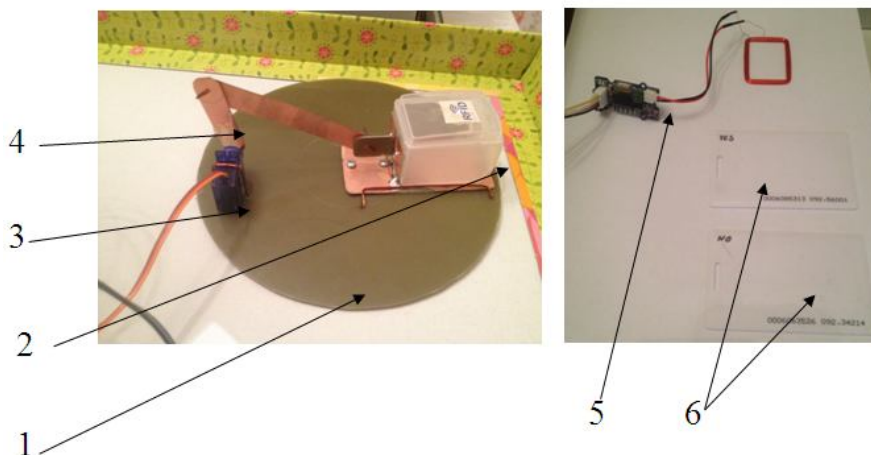


Рис 8. Компоненты прототипа сервисного робота.

Устройство выдачи медицинских препаратов в сборе.

Устройство выдачи лекарств состоит из следующих компонентов:

№п/п	Наименование	Предназначение
1	Базовая платформа	Несущая конструкция с устанавливаемыми на ней емкостями для лекарств и приводами выдвижения емкостей (соленоиды)
2	Емкости для лекарств	Емкость для хранения лекарств

3	Сервопривод *	Обеспечение выдвижения/втягивания емкости для лекарств
4	Элемент механического привода	Передача усилия от сервопривода к емкости для лекарств
5	Сканер RFID карт *	Определение RFID кода и его сопоставление с внесенным в память контроллера с целью подачи управляющего сигнала на сервопривод
6	RFID карта	Идентификационная карта с уникальным кодом

*Управляется микроконтроллером сервисного робота

Принцип действия устройства:

RFID карта подносится к рамке RFID сканера.

RFID сканер считывает код RFID карты и направляет его в микроконтроллер.

Происходит сопоставление полученного кода с кодом, внесенным в память управляющего микроконтроллера сервисного робота.

Если коды совпадают, то микроконтроллер сервисного робота посылает на сервопривод управляющий сигнал, приводящий в поступательное движение емкость для лекарств. Происходит операция выдачи лекарств пациенту.

Пациент забирает предназначенные ему лекарства из емкости.

По истечению определенного времени микроконтроллер сервисного робота подает управляющий сигнал на сервопривод и происходит вытягивание емкости для лекарств обратно.

Полагаю, что использование соленоидов, позволит уменьшить габариты устройства. Также вместо сервоприводов возможно использование микродвигателей с реечно-червячной передачей.

Приложение 4.

Предложения по организации использования технологии Wi-Fi

В больнице устанавливается центральный компьютер-сервер с подключением его к локальной сети через точку доступа (роутер). На компьютере устанавливается единая база данных медучреждения. Посредством доступа с компьютера в интернет возможно обмениваться данными с внешними базами данных других медицинских учреждений, аптек, аптечных складов и т.п..

Каждый этаж корпуса больницы оснащается маршрутизатором. Каждое койко-место различных отделений больницы оснащается локальным Wi-Fi модулем с присвоением ему в настройках сети роутера уникального статического IP адреса локальной сети и указанием MAC адреса устройства.

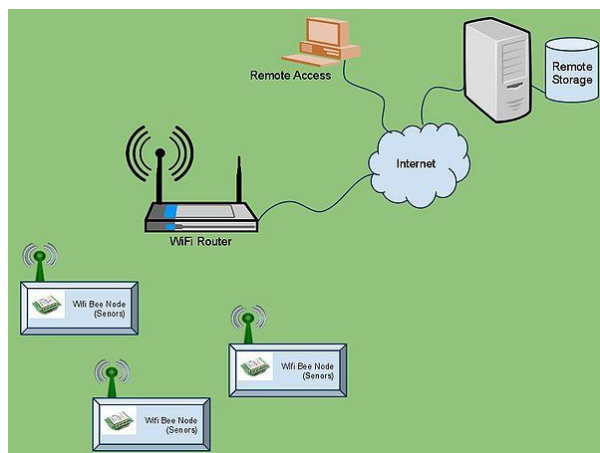


Рис. 9.

К данному Wi-Fi модулю койко-места можно подключить по беспроводной технологии любое устройство, например монитор состояния пациента для осуществления регулярной передачи данных о текущем состоянии пациента на центральный сервер медучреждения или локальное рабочее место медперсонала.

Аналогичным Wi-Fi модулем оснащается и сервисный робот с его подключением к микроконтроллеру Arduino, управляющему роботом.

Wi-Fi модуль, подключенный к управляющему роботом микроконтроллеру Arduino будет являться коммуникационным устройством, посредством которого осуществляется связь по локальной беспроводной сети между центральным сервером медучреждения и микроконтроллером робота. Вариантом такого модуля может служить модуль WiFi Bee, производимый компанией Seeed.

В установленной на сервере базе данных предполагается “защитить” командный код управления микроконтроллером сервисного робота (команды движения, команды управления сервоприводами и другие). При наступлении времени выдачи назначенного лекарственного препарата, база данных формирует управляющую посылку (командный код), которая после принятия Wi-Fi модулем с использованием протокола последовательной передачи данных попадает в микроконтроллер сервисного робота. Последний, получив управляющую команду, отрабатывает ее (подает управляющие сигналы на внешние устройства, подключенные к микроконтроллеру – двигатели, датчики и прочее). Также посредством использования Wi-Fi модуля происходит обратная связь с датчиков сервисного робота на центральный сервер медучреждения.

Приложение 5.

Предложение по концепции альтернативного устройства выдачи лекарств для установки его в сервисного робота.

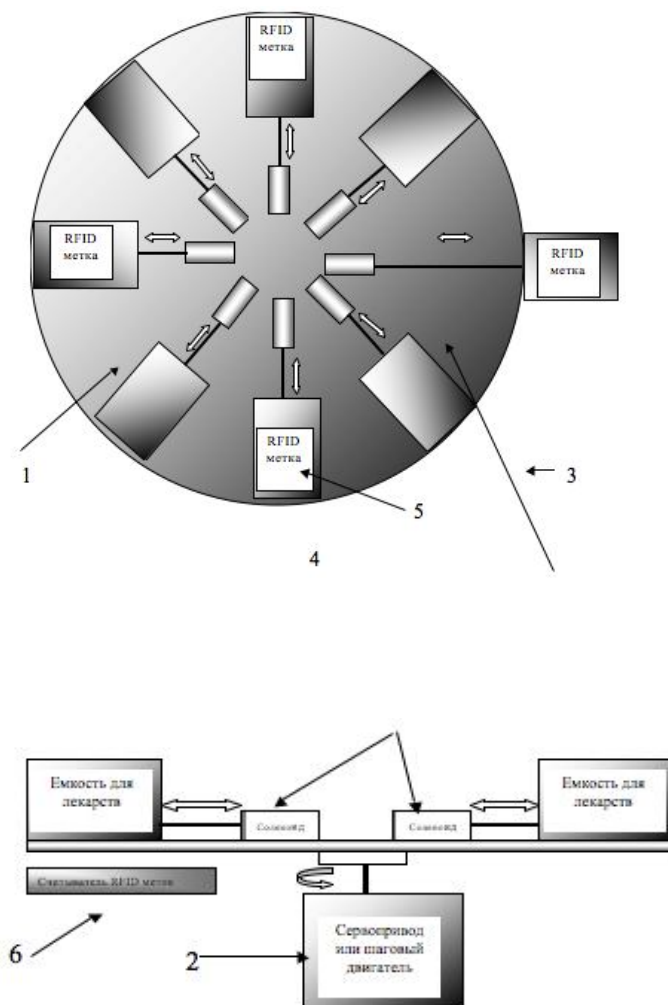


Рис. 10. Устройство и принцип действия.

Компоненты устройства:

№п/п	Наименование	Предназначение
1	Поворотная платформа	Несущая конструкция с устанавливаемыми на ней емкостями для лекарств и приводами выдвижения емкостей (соленоиды)
2	Сервопривод (или шаговый двигатель) поворотной платформы *	Привод для вращения поворотной платформы
3	Емкости для лекарств	Емкость для хранения лекарств
4	Соленоиды*	Приводят возвратно-поступательное движение емкости для лекарств
5	Самоклеющиеся метки RFID	Для идентификации принадлежащей одному больному емкости лекарств
6	Считыватель RFID меток *	Определение RFID кода и его сопоставление с базой данных для выдачи определенного бокса с лекарствами.

*Управляется микроконтроллером сервисного робота

Принцип действия устройства:

При поступлении пациента в медицинское учреждение происходит его регистрация. Данные пациента заносятся в базу данных, установленную на сервере медицинского учреждения. Пациенту выдается одеваемый на руку RFID браслет, который имеет уникальный код-идентификатор. Код браслета заносится в базу данных. Назначения лечащих врачей по времени приема различных медицинских препаратов для отдельно взятого пациента также заносятся в базу данных.

Соответственно, имея уникальный RFID идентификационный код пациента, можно его же записать на самоклеющиеся RFID метки. Самоклеющаяся RFID метка приклеивается на емкость с лекарственными препаратами.

Медсестра, следуя назначению лечащего врача по записи в базе данных (карточка пациента) комплектует лекарственные препараты с их помещением в емкость для лекарств конкретного пациента.

При получении сервисным роботом через WIFI сеть управляющей команды от базы данных, содержащей, в том числе и RFID идентификационный код пациента, выполняется следующий алгоритм поиска и выдачи лекарственных препаратов:

RFID считыватель, сканирует находящуюся над ним емкость для лекарств с нанесенной на ней самоклеющейся RFID меткой. Происходит сопоставление считанного кода с кодом, полученным с управляющей командой от сервера. Если коды не совпадают, то микроконтроллер сервисного робота посылает на сервопривод (или

шаговый двигатель) поворотной платформы управляющий сигнал, приводящий платформу в движение.

В процессе поворота платформы RFID считыватель сканирует RFID метки емкостей с лекарствами до получения совпадения. При совпадении кодов привод поворотной платформы останавливается. Соответственно, емкость для лекарств находится перед окном выдачи. Пациент подносит RFID браслет к роботу. Происходит идентификация кода пациента и его сравнение с полученным кодом. При совпадении микроконтроллер подает управляющий сигнал на привод емкости для лекарств (соленоид). Соленоид совершает поступательное движение и выталкивает емкость для лекарств через окно выдачи сервисного робота пациенту.

Пациент забирает предназначенные ему лекарства из емкости. Робот посылает на сервер сигнал о выдаче лекарства. Микроконтроллер робота подает управляющий сигнал на соленоид и последний втягивает емкость для лекарств обратно. Сервисный робот возвращается на базу.