

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт: Заочный
Кафедра «Системы автоматического управления»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

_____/ В.И. Ширяев

« ____ » _____ 2019 г.

Разработка и программирование нестандартного рекламного носителя в виде трехмерного голографического видео-изображения с управлением через мобильное приложение

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 09.03.01.2019.939.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы

ст. преп. каф. САУ

_____/ В.П. Щербаков

« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы

студент группы ПЗ-597

_____/ Е.А. Манаев

« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер

ст. преп. каф. САУ

_____/ В.П. Щербаков

« ____ » _____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Манаев Е.А. Разработка и программирование нестандартного рекламного носителя в виде трехмерного голографического видео-изображения с управлением через мобильное приложение. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ: Заочный; 2019, 40 с., 26 ил., библиогр. список – 17 наим., 12 листов слайдов презентации ф.А4.

В работе рассматривается процесс создания нестандартного рекламного носителя в виде цифровой голографической пирамиды. На основе математического описания процесса формирования голограммы разработан рекламный носитель.

Для воспроизведения видеопотока разработано программное обеспечение, исполняемое на носителе, которое выполняет функции сервера с целью приема управляющих команд. Для управления рекламным носителем разработано программное обеспечение для мобильных устройств под операционную систему Android.

					<i>09.03.01.2019.939.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Манаев Е.А.</i>			<i>Разработка и программирование нестандартного рекламного носителя в виде трехмерного голографического видео-изображения с управлением через мобильное приложение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Щербаков В.П.</i>				<i>Д</i>	<i>4</i>	<i>40</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Щербаков В.П.</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра САУ</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Щиряев В.И.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОЛОГРАММ.....	8
1.1 История появления голографии	8
1.2 Методы и средства создания голограммы.....	10
1.3 Виды голограмм	11
1.4 Выбор аппаратной платформы	16
Выводы по главе один	18
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО НОСИТЕЛЯ.....	19
2.1 Математическое описание процесса построения голограммы	19
2.2 Конструирование нестандартного цифрового носителя.....	24
Выводы по главе два.....	32
3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	33
3.1 Программное обеспечение рекламного носителя.....	33
3.2 Мобильное приложение	34
3.3 Тестирование системы.....	36
Выводы по главе три.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	40

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире все чаще возникает необходимость отобразить объект в трех измерениях для улучшения восприятия постоянно возрастающего объема информации. Одним из самых перспективных способов визуализации трехмерных объектов является голография.

Все большее развитие находят такие методы голографии как панорамное и цветное голографирование, трехмерная запись голограммы. Голограмма применяется практически во всех направлениях жизнедеятельности человека: электронные микроскопы, кино и театр, интерферометрии, ЭВМ с голографической памятью. Голограмма является уникальным средством визуализации реальной действительности, так как может воспроизводить точную трехмерную копию оригинального объекта. Такое изображение обладает удивительной реалистичностью и зачастую неотлично от реального объекта.

Цифровая голография позволяет полностью избавиться от промежуточных фотоносителей путем их замены на цифровые матрицы. Процесс расшифровки цифровой голографии выполняется при помощи компьютерной техники, что позволяет, во-первых, получать и сохранять результаты в более удобном для человека виде, а, во-вторых, позволяет использовать ранее недоступные методы обработки и анализа. Однако разрешение современных цифровых матриц существенно меньше, чем разрешение голографических, что вызывает необходимость разрабатывать новые цифровые носители, позволяющие качественно генерировать голографическое видеоизображение.

Таким образом, исследование и разработка новых методов анализа цифровой голографии является актуальной задачей при промышленном производстве высокоточных изделий, в оказании рекламных услуг, презентаций, медицины и прочего.

Объектом исследования является нестандартный цифровой носитель, генерирующий голографическое видеоизображение.

Предметом исследования являются методы создания нестандартного цифрового носителя с целью получения голографического видеоизображения с использованием современных компьютерных технологий.

Целью работы является разработка и программирование нестандартного цифрового носителя в виде голографического видеоизображения с управлением через мобильное приложение.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

– выполнить обзор существующих цифровых носителей с применением голографии, видов и методов построения голограмм;

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	09.03.01.2019.939.00 ПЗ					

- разработать нестандартный цифровой носитель в виде голографического видеоизображения, выполнить компьютерное моделирование процесса восстановления фазовых волновых фронтов из цифровой голографии;
- разработать программное обеспечение для нестандартного цифрового носителя;
- разработать мобильное приложение для управления нестандартным цифровым носителем.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОЛОГРАММ

1.1 История появления голографии

Ознакомление с источниками, изучение научных публикаций показали, что ведущие современные разработки по голографии в России тесно связаны с работами Ю.Н. Денисюка [3], который является автором одного из способов записи изображений в трехмерных средах, и работы его последователей из СПБИТМО О.В. Андреевой [1] и С.Н. Коршевой [4], которые продолжают исследования в этой области.

Мусский С. А. [5] в своей книге причисляет голографию к одному из чудес техники. Многие интернет-источники говорят о голографии как о направлении искусства. В Энциклопедическом словаре молодой физики [17] и различных публикациях по физике для довузовской подготовки можно найти информацию о применении голографии в медицине, дефектоскопии, криминологии.

Методы и возможности использования голографии в выпускной квалификационной работе рассматриваются на основе работ следующих авторов: Ю.А. Н. Денисюк [3], О. Андреева [1], А. К. Горбунова [2], группа авторов под редакцией А. А. Пинского [6] и другие. Мусский С. А. [5] в своей книге причисляет голографию к одному из чудес техники. Множество Интернет-источников рассказывает о голографии, как о виде искусства.

Идеи и принципы голографии сформулировал в 1948 г. Д. Габор. Идея голографии возникла при разработке совсем другой темы – усовершенствования электронного микроскопа. В 1971 году «за изобретение и развитие голографического принципа» Д. Габор получил Нобелевскую премию в области физики.

Суть идеи состояла в фиксации информации о фазе и амплитуде световой волны. Отсюда происходит название голографии (от греч. holos – полный и grapho – пишу) [6].

В 1962 году была разработана классическая схема Эммета Лейта и Юриса-Упатниекса из Мичиганского Технологического Института (голограммы Лейта-Упатниекса).

Ученые создали первую трехмерную пропускающую голограмму, воспроизводимую в лазерном свете. Данная схема записи голографии используется в лабораториях во всем мире.

Существуют несколько способов получения голограмм и псевдоголограмм, советский ученый Ю.Н. Денисюк разработал один из самых интересных [6].

В 1962 Ю.Н. Денисюк разработал метод записи изображения объекта в трехмерных средах, позволяющий сохранить информацию о фазе, амплитуде и

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

спектральном составе волны. Голограммы Ю.Н. Денисюка были названы отражательными, так как могут быть воспроизведены при освещении пучком обычного белого света. Это научное достижение было оценено в СССР как научное открытие и занесено в Государственный реестр открытий СССР в следующей формулировке: «Установлено ранее неизвестное явление возникновения пространственного неискаженного цветного изображения объекта при отражении излучения от трехмерного элемента прозрачной материальной среды, в которой распределение плотности вещества соответствует распространению интенсивности поля стоячих, волн, образующихся вокруг объекта при рассеянии на нем излучения» [9].

Практически вся современная изобразительная голография базируется на методах, предложенных Ю. Н. Денисюком. Первые высококачественные голограммы по этому методу были выполнены в 1968 году в СССР – Г.А. Соболевым и Д.А. Стаселько, а в США – Л. Зибертом.

В 1969 году Стивен Бентон из Polaroid Research Laboratories (США) разработал пропускающую голограмму, которую видно в обычном белом свете. Голограммы Бентона получили название радужные, так как они переливаются всеми цветами радуги, из которых состоит белый свет.

Голограмма Бентона – это голограмма сфокусированного изображения, допускающая восстановление объектной волны источником излучения со сплошным спектром (лампа накаливания, Солнце) за счет ограничения пространственного спектра объекта в одном направлении. Цвет изображения зависит от угла просмотра и не связан с цветом объекта.

В 1977 году Ллойд Кросс получил голограмму, которая состоит из нескольких обычных фотографий объекта, снятых с множества точек зрения, лежащих в горизонтальной плоскости. При перемещении такой голограммы в поле зрения можно увидеть все запечатленные кадры.

С середины 70-х годов исследуются способы воспроизведения систем голографического кинематографа. В России значительные успехи в этом направлении были достигнуты специалистами Научно-исследовательского кино-фото института (НИКФИ) в Москве под руководством В.Г. Комара. Голография продолжает активно развиваться, и с каждым годом в этой области появляются новые интересные решения [10].

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	09.03.01.2019.939.00 ПЗ					

1.2 Методы и средства создания голограммы

Имеется два способа создания голограмм: компьютерный – для очков дополненной реальности и физический – для оптических дисплеев.

Microsoft – первая компания, которая представила голографические очки HoloLens. На презентации в 2015 году компания заявила, что новое устройство перевернет представления о технологии дополненной реальности. Windows Holographic – это виртуальные объекты, встроенные в реальный мир.

В физике голография – это особый фотографический метод, при котором сначала с помощью лазера регистрируются, а затем восстанавливаются максимально приближенные к реальным 3D-изображения. При освещении лазером голограммы формируют точный 3D-клон объекта и копируют его свойства, схематически отражено на рисунке 1. Например, изменение перспективы при перемещении смотрящего [11].

Исследуемый объект освещается пучком света лазера, предварительно расширенным простым оптическим устройством. Затем перед объектом помещается стекло и через определённую точку проходит лазерный луч. Расширитель разделяет луч на два потока, направляет один из них за объект, а другой – за него. Поток, направленный на фронтальную часть объекта, – предметный поток. Опорный поток проходит через линзу фотообъектива, которая рассеивает свет, затем отражается параболическим зеркалом, которое не даёт ему потерять интенсивность.

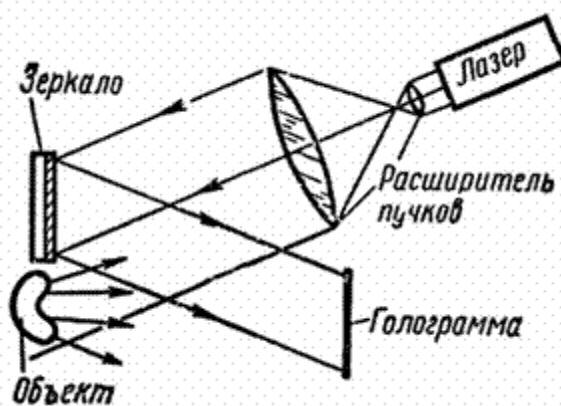


Рисунок 1 – Схема создания голограммы

В самом элементарном случае испускаемый лазером луч расширяется и делится на две части. Одна часть падает на фотопластинку и отражается от зеркала – это опорный луч. Другая отражается от объекта и называется предметным лучом.

Оба пучка лучей должны иметь одинаковую длину волны и двигаться в одной фазе. Опорный и предметный лучи складываются на фотопластинке и образуют

интерференционную картину (чередование повышенной и пониженной интенсивности света). При максимальной интенсивности эмульсия засвечивается сильнее, при минимальной – слабее.

Голографический процесс состоит из двух частей – записи и восстановления, схематически обозначенных на рисунке 2.

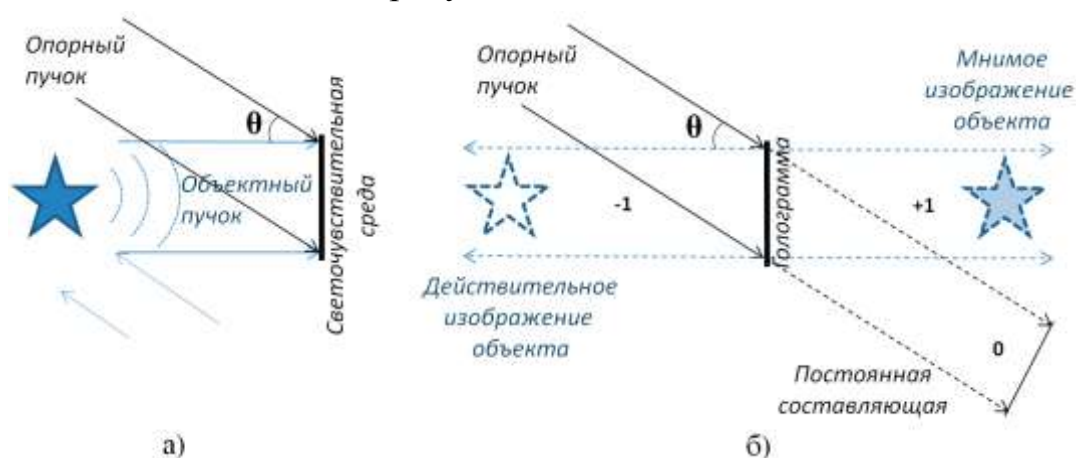


Рисунок 2 – Процесс голографической записи (а) и голографического восстановления (б)

Чтобы восстановить изображение, проявленную фотопластинку помещают в то же место, где она находилась при фотографировании, и освещают опорным пучком света. Часть лазерного пучка, которая освещала предмет, перекрывается.

Опорный пучок огибает (дифрагирует) на голограмме. В результате получается точно такая же волна, как у отраженного предмета. Эта волна и дает изображение предмета.

1.3 Виды голограмм

В основе голографии лежит дифракция света. Голограмма в общем случае представляет собой сложную структуру пятен, расстояние между которыми порядка длины волны, в связи с этим для изготовления голограмм требуются специальные высококачественные фотоматериалы.

Кроме амплитудных голограмм, существуют фазовые основанные на преобразовании не амплитуды фронта волны, а фазы.

Записать цветное голографическое изображение можно методом Денисюка. Так на одну голограмму можно записать изображения предмета для трех длин волн: красный, синий, зеленый. При восстановлении голограммы будут формироваться сразу три изображения предмета в красных, синих и зеленых тонах, с последующим формированием одного цветного [12].

По объемности восстановленного изображения выделяют следующие виды радужных голограмм:

- 3D-голограммы;
- 2D-3D-голограммы;
- цифровые голограммы;
- многоакурсная (мультиплексная) голограмма;
- самоклеящаяся разрушаемая голограмма;
- голограммы на разрушающейся основе
- лазерная нумерация голограмм.

Существуют так же «Защитные голограммы», появление которых обусловлено современными тенденциями в области технологий голографической защиты и направлены на использование комбинированных методов и средств защиты, причем, чем дальше отстоят друг от друга защитные элементы (методы) в технологическом отношении, тем труднее задача для будущего злоумышленника [13].

Что касается массового применения «декоративных голограмм», то все большую популярность среди компаний приобретает возможность голографической презентации товара или услуги. По оценкам экспертов [13], для того, чтобы покупатель в магазине принял решение о покупке, необходимо, чтобы его взгляд задержался на товаре минимум две секунды. Именно голограмма способна привлечь внимание к товару, выделить его среди множества, заинтриговать переливающимся рисунком, иллюзией объема и глубины.

В целях определения необходимости собственного изобретения цифрового носителя с возможностью генерации голографических видеоизображений мы приведем наиболее доступные по стоимости и техническим возможностям голографические и псевдоголографические цифровые носители.

Виртуальная пирамида

Трехмерный виртуальный стенд – это пирамида для демонстрации реалистичных трехмерных объектов. Устройство позволяет добиться эффекта голограммы в воздухе: продемонстрировать объемное виртуальное изображение, как будто движущееся внутри стеклянной пирамиды. 3D-пирамида дает возможность рассмотреть любой объект с разных сторон, как если бы он был представлен на витрине.

Призма перенаправляет пучок света, линза его расфокусирует таким образом, что на выходе получается параллельный пучок лучей. Как вы понимаете, где линза/призма, там и аберрации: у данной пленки (любого производителя) довольно плохая цветопередача и малые углы обзора, при которых не происходит

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

критического искажения цвета. Например, если присесть перед этим экраном, то верхняя часть уйдет в синий диапазон, а нижняя – в красный [14].



Рисунок 3 – Схема виртуальной пирамиды

На горизонтальной панели формируется специально подготовленный контент (при этом панель располагается чуть ниже уровня глаз «среднестатистического» зрителя). Пирамидка выполнена из стекла/орстекла со специальной пленкой по типу Musion Eyeliner. Зритель наблюдает отражение изображения на панели в стекле и, одновременно, подсвеченный объект внутри пирамидки.

Еще один метод изготовления голографической пирамиды подразумевает применение вращающегося зеркала. Зеркало вращается со скоростью 20 оборотов в секунду и отражает изображение, сформированное проектором. На каждый поворот зеркала на 1.25 градуса, проектор формирует новое изображение, таким образом с любого угла будет наблюдаться уникальная картинка, создавая иллюзию объемности объекта. Однако, срок службы данного вида псевдоголографии еще ниже, чем у классической виртуальной пирамиды за счет вращающегося элемента.

В настоящее время на рынке множество подобного рода изделий. Основным минусом является высокая стоимость, низкое качество проектируемого изображения, ограниченный прогнозируемый срок службы (как правило, 25000-50000 часов). Кроме того, большинство представленных на рынке носителей не могут быть полноценно использованы при ярком освещении в пространстве. Примерная стоимость пирамиды среднего качества, с изображением 30x30 см (при всей ее громоздкости) составляет 250000-300000 руб. Отдельно к ней разрабатывается контент, при средней стоимости одного видеоролика от 10000 руб. Более подробные данные будут приведены в таблице 1.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Таблица 1 – Сравнение характеристик носителей различного типа

	Виртуальный вентилятор LFD-65	Виртуальная пирамида
Читаемые форматы:	MP4, AVI, MPEG.	QuickTime, H. 264
Источник света:	LED RGB 0805	RGBW
Срок службы лампы:	80 000 часов	50 000 часов
Управление:	Wi-Fi удаленное, РС. Пульт дистанционного управления.	РС. Пульт дистанционного управления.
Разрешение:	720x720	720x1080
Блок питания:	100-240V	240V
Количество светодиодов:	680 шт	Экран
Диммер:	0-100%	0-100%
Размеры:	56 см	111x73x65 см
Максимальный угол поворота:	270 градусов	-
Масса:	3.9	76.2
Мощность:	45W	100 W
Движение:	360 градусов	-
Время нагрева:	20 секунд	60 секунд
Площадь покрытия:	56x56 см	30x30 см
Режимы работы:	Пульт Д/У	Пульт Д/У
Угол расхождения луча:	170 градусов.	170 градусов
Угол обзора:	175 градусов	180 градусов
Охлаждение:	Встроенное активное охлаждение	Встроенное активное охлаждение
Рабочее положение:	Установка в помещении	Установка в помещении
Производитель:	Россия	Россия
Память:	8 Гб	USB Flash до 32 Гб
Дополнительно:	Регулировка уровня яркости, стеклянный или акриловый защитный купол опционально	Изготовлена из влагостойкой фанеры, алюминия, искусственного камня и стекла.
Цена:	116 000 руб.	285 000 руб.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

09.03.01.2019.939.00 ПЗ

Лист

15

1.4 Выбор аппаратной платформы

При недостатках предложенных цифровых носителей голографии (псевдоголографии) в виде ненадежности, высокой стоимости, ограничений по эксплуатации возникла необходимость предложить собственную разработку цифрового носителя с возможностью генерации голографического видеоизображения. Для того чтобы поставленная задача была достигнута, необходимо, чтобы разработанное устройство при прочих схожих характеристиках стоило дешевле 100000 руб., а срок службы был более 100000 часов.

Большинство предложенных на рынке изделий управляются через пульт Д/У. У многих компаний производителей в процессе разработки программное обеспечение для управления через WiFi. Для обеспечения удобства в эксплуатации принято решение обеспечить управление цифровым носителем через смартфон путем разработки мобильного приложения.

Из диаграммы, представленной на рисунке 4, видно, что лидирующую позицию занимают устройства с операционной системой Android. Это обусловлено тем, что устройства представлены практически во всех ценовых категориях, что делает их в первую очередь доступными для потребителей, кроме того операционная система Android является современной и обладает широким функционалом.

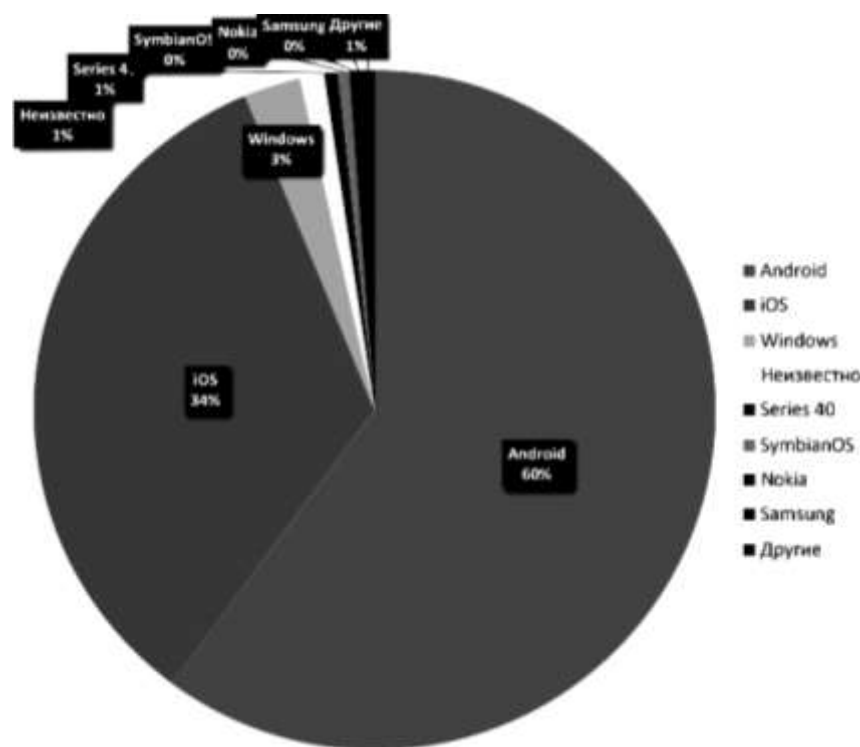


Рисунок 4 – Диаграмма использования мобильных операционных систем в России в период март 2017 – март 2018

создать инструмент, позволяющий пользователю самому выбрать необходимое действие. Одним намерением могут быть найдены несколько приемников, поэтому пользователь лично определяет action, которое нужно выполнить. Например, при долгом нажатии на изображение в галерее, появляется инструмент выбора, который предлагает отправить картинку через e-mail или социальные сети, редактировать или удалить и др.

Если система не может найти подходящее намерение, а инструмент выбора не был создан разработчиком, то приложение потерпит крах и выдаст ошибку исполнения. Поэтому важно следить за тем, чтобы выборы для намерений, не нацеленных на другие деятельности в данном приложении, были созданы.

Видовое окно (view) представляет собой базовый элемент управления интерфейса в виде прямоугольной области, где можно рисовать и обрабатывать события. Примерами видовых окон являются: контекстное меню (ContextMenu), меню (Menu), вид (View), поверхность рисования (SurfaceView).

Виджеты (widgets) – это более продвинутые элементы пользовательского интерфейса, например, флажки с переключателями, где можно выбрать одно из нескольких возможных состояний. Виджетами являются: кнопка (Button), выбор даты (DatePicker), галерея (Gallery), флажок (CheckBox) и др.

Асинхронные потоки применяются при выполнении задач, которые занимают много времени, например, загрузка файла из Интернета, воспроизведение аудиозаписи или просмотр видеоклипа, т.е. то, что заставляет пользователя ждать. Если пользователю необходимо подождать решения какой-либо задачи, то лучший выход из ситуации – создать асинхронный поток, чтобы дать возможность пользователю заниматься в это время чем-нибудь другим. В большинстве случаев специалисты рекомендуют выносить в фоновый поток выполнение тех задач, которые сильно нагружают процессор, или выполняются более 5-6 секунд [13].

Выводы по главе один

1. Проведен обзор литературы по методам и видам цифровой голографии и псевдоголографии, рассмотрены варианты использования голографических видеоизображений.

2. Проведен обзор рынка предлагаемых цифровых носителей с возможностью генерирования голографического видеоизображения.

3. Рассмотрено текущее соотношение используемых мобильных операционных систем для определения приемлемой системы для разработки мобильного приложения.

										Лист
										18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	09.03.01.2019.939.00 ПЗ					

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО НОСИТЕЛЯ

2.1 Математическое описание процесса построения голограммы

С математической точки зрения процесс построения голограмм рассмотрен в книге Л.М. Сороко «Основы голографии и когерентной оптики» [13]. Пусть координатная система голографической пластинки будет двумерной и обозначена (x, y) , тогда комплексная амплитуда объектной волны может быть записана как

$$U_0(x, y) = E_0(x, y) \exp[i\varphi_0(x, y)],$$

где E_0 – амплитуда, а φ_0 – фаза объектной волны. Аналогично для опорной волны можно записать

$$U_r(x, y) = E_r(x, y) \exp[i\varphi_r(x, y)],$$

Когда объектная и опорная волна интерферируют на поверхности светочувствительной среды, сформированная голограмма может быть представлена следующим образом

$$\begin{aligned} U_h(x, y) &= |U_0(x, y) + U_r(x, y)|^2 = \\ &= |U_0(x, y) + U_r(x, y)| \cdot |U_0(x, y) + U_r(x, y)|^* = \\ &= |U_0(x, y)|^2 + |U_r(x, y)|^2 + U_0(x, y)U_r^*(x, y) + U_0^*(x, y)U_r(x, y) = \\ &= E_0^2(x, y) + E_r^2(x, y) + U_0(x, y)U_r^*(x, y) + U_0^*(x, y)U_r(x, y), \end{aligned}$$

Значение интенсивности, формирующее голограмму, будет пропорционально $U_h(x, y)$. Коэффициенты пропорциональности в данной модели значения не имеют.

Рассмотрим процесс восстановления для одномерного случая [1-2],

когда $U_0(x) = E_0(x) \exp[i2\pi\xi_0 x]$ и $U_r(x) = E_r(x) \exp[i2\pi\xi_r x]$. Тогда

$$U_h = E_0^2 + E_r^2 + U_0 E_r \exp[-i2\pi\xi_r x] + U_0^* E_r \exp[i2\pi\xi_r x].$$

В данном выражении зависимость от x подразумевается и убрана для упрощения визуального представления.

При восстановлении голограммы получим

$$\begin{aligned} O &= U_h E_r \exp[i2\pi\xi_r x] = E_0^2 E_r \exp[i2\pi\xi_r x] + \\ &+ E_r^3 \exp[i2\pi\xi_r x] + U_0 E_r^2 + U_0^* E_r^2 \exp[i4\pi\xi_r x]. \end{aligned}$$

Обозначим спектр объектного пучка $S(\xi, \eta)$ и представим его графически на рисунке 5.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

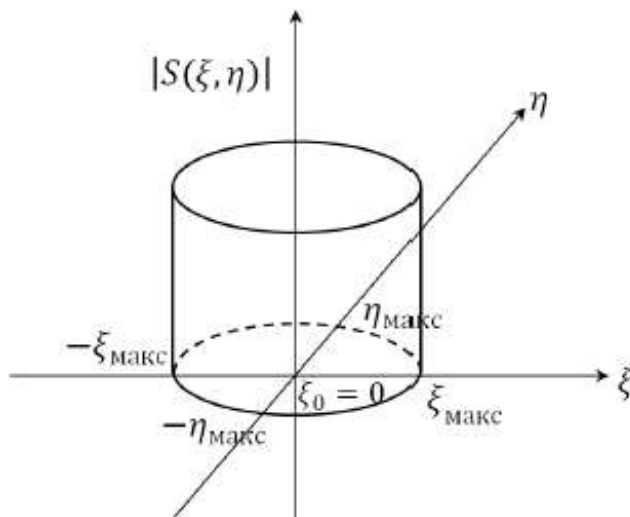


Рисунок 5 – Спектр объектного пучка

Тогда спектр световой волны после восстановления можно графически представить следующим образом (рис. 6).

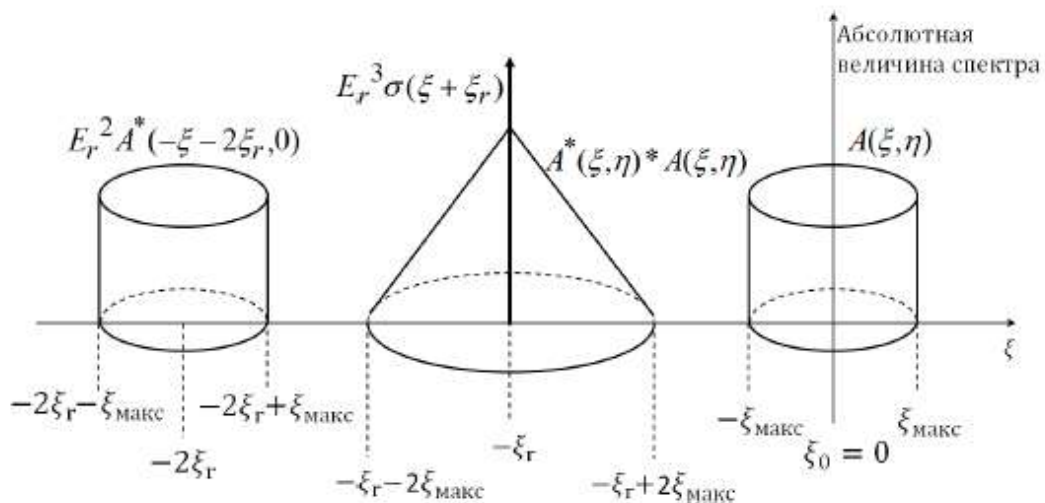


Рисунок 6 – Спектр световой волны после восстановления

Первое и второе слагаемое в формуле описывают постоянную составляющую, находящуюся в нулевом порядке дифракции, а первый член образует спектр.

$$E_0^2 E_r \exp[i2\pi \xi_r x] \rightarrow A^*(\xi, \eta) * A(\xi, \eta)$$

где * - оператор автокорреляции.

Ширина спектра $A(\xi, \eta)$ определяется спектром $S(\xi, \eta)$, а ширина функции автокорреляции составит $4\xi_{max}$ по оси ξ и 4η по оси η .

Центр функции $-\xi_r$ совпадает с пространственной частотой, соответствующей наклону освещающего пучка. Второй член в (2.5) преобразуется в σ -функцию в точке

$$(\xi = -\xi_r, 0) E_r^3 \exp[i2\pi\xi_r x] \rightarrow E_r^3 \sigma(\xi + \xi_r).$$

Третье слагаемое с точностью до известного множителя E_r^2 представляет собой точную копию исходного поля – мнимое изображение объекта. Величина ее спектра пропорциональна спектру $S(\xi, \eta)$. Ее центр находится в точке $(\xi=0, \eta=0)$, что соответствует первому порядку дифракции.

Последний член описывает волновой фронт, комплексно сопряженный объектному волновому фронту в плоскости голограммы и промодулированный несущей частотой. Это слагаемое образует еще одно изображение объекта, которое называется действительным изображением (или парным изображением), и спектр которого определяется как

$$U_0^* E_r^2 \exp[i4\pi\xi_r x] \rightarrow E_r^2 A^*(-\xi - 2\xi_r, 0).$$

Действительное изображение образуется в минус первом порядке дифракции.

Использование опорной волны с высокой пространственной частотой (с большим углом наклона θ) обеспечивает угловое разделение спектров, образующихся в нулевом, первом и минус первом порядках дифракции. Чтобы избежать наложения волны нулевого порядка на волны, образующие изображение, опорная пространственная частота ξ_r должна удовлетворять соотношению

$$|\xi_r - \xi_0| \geq 3\xi_{\text{макс}},$$

где ξ_0 – центральная пространственная частота спектра объекта (в приведенном примере равна нулю) [14]. Из этого выражения видно, что для записи голограммы необходим регистрирующий материал, способный записывать частоты полос, которые в несколько раз превосходят наивысшую пространственную частоту объекта.

Для того чтобы оценить необходимую частоту полос воспользуемся следующей формулой [4].

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}.$$

Допустим, что интерферируют две плоские волны под углом 30 градусов, то при длине волны 0.5 мкм расстояние между полосами будет около 1 мкм. По

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

теореме Найквиста-Котельникова для записи голограммы необходим регистрирующий материал с разрешающей способностью как минимум в два раза большей. Таким образом, при выбранных параметрах необходимо обеспечить не менее 2000 лин/мм.

Цифровые матрицы, используемые в цифровой голографии, не могут на текущий момент обеспечить столь высокое пространственное разрешение. Более того, с увеличением пространственного разрешения цифровой матрицы растёт её стоимость и сложность изготовления. Поэтому при цифровом голографическом восстановлении приходится уменьшать угол между объектной и опорной волнами, работая в условиях низкоразрешающей регистрирующей среды, что неизбежно приводит к перекрыванию спектров в разных дифракционных порядках.

Голограмма может быть рассмотрена как дифракционная решетка, попадая на которую опорная волна в результате интерференции формирует восстановленное изображение. Согласно принципу Гюйгенса каждая точка волнового фронта может быть рассмотрена как источник вторичных волн. Таким образом, волновой фронт в каждой точке пространства есть суперпозиция вторичных волн. В этом случае, используя координатную систему, приведенную на рисунке 2.3, где плоскость восстановления находится на расстоянии d от плоскости голограммы, можно воспользоваться интегралом Френеля-Кирхгофа для восстановления [5].

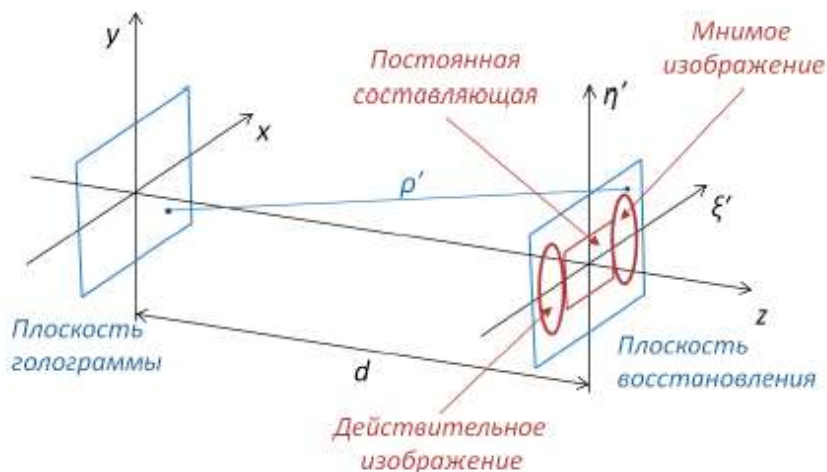


Рисунок 7 – Координатная система при голографическом восстановлении

Так как вычисление интеграла Френеля-Кирхгофа в общем случае представляет довольно сложную задачу, воспользуемся рядом допустимых упрощений.

Первое упрощение, к которому можно прибегнуть, состоит в сведении трёхмерной задачи к двумерной. Для этого поверхность наблюдения считается плоской, а распределение амплитуды и фазы волны на поверхности объекта заменяется по законам геометрической оптики распределением амплитуды и фазы на плоскости, касающейся объекта или достаточно близкой к нему и параллельной плоскости наблюдения (рис. 8).



Рисунок 8 – Аппроксимация поверхности наблюдения

Так при пересчёте амплитуды и фазы можно пренебрегать дифракцией и пользоваться геометрической оптикой.

Интеграл Френеля-Кирхгофа можно записать как

$$\Gamma(\xi', \eta') = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(x, y) \frac{\exp(-i \frac{2\pi}{\lambda} \rho')}{\rho'} Q dx dy,$$

где

$$\rho' = \sqrt{(x - \xi')^2 + (y - \eta')^2 + d^2},$$

$$Q = \frac{\cos \theta + \cos \theta'}{2}.$$

Здесь $A(x, y)$ – это комплексная амплитуда в плоскости голограммы, λ – длина волны, ρ' – расстояние между точкой в плоскости голограммы и точкой в плоскости восстановления, Q – множитель, который зависит от угла между падающим лучом и нормалью к плоскости голограммы θ и угла между дифрагированным лучом и той же нормалью θ' .

Следует заметить, что множитель Q происходит из классической модели интерференции света на дифракционной решетке. Однако в случае цифровой голографии этим множителем можно пренебречь, поскольку углы θ и θ' приближаются к нулю, а множитель Q , соответственно, к единице.

Таким образом, интеграл Френеля-Кирхгофа можно переписать как

$$\Gamma(\xi', \eta') = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_h(x, y) U_r(x, y) \frac{\exp(-i \frac{2\pi}{\lambda} \rho')}{\rho'} dx dy,$$

где $U_h(x, y)$ – цифровая голограмма, $U_r(x, y)$ – функция, описывающая опорную волну.

2.2 Конструирование нестандартного цифрового носителя

Рассмотрен механизм разработки нестандартного цифрового носителя с возможностью воспроизведения голографических (псевдоголографических) фото и видеоизображений. Как видно из рис. 9, нестандартный носитель представляет из себя постамент, на котором установлена стеклянная пирамида со специальным затемнением, над пирамидой скрыт блок управления. По краям блок опирается на стальные трубки – колонны, для обеспечения устойчивости и безопасности.



Рисунок 9 – Визуализация нестандартного цифрового носителя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

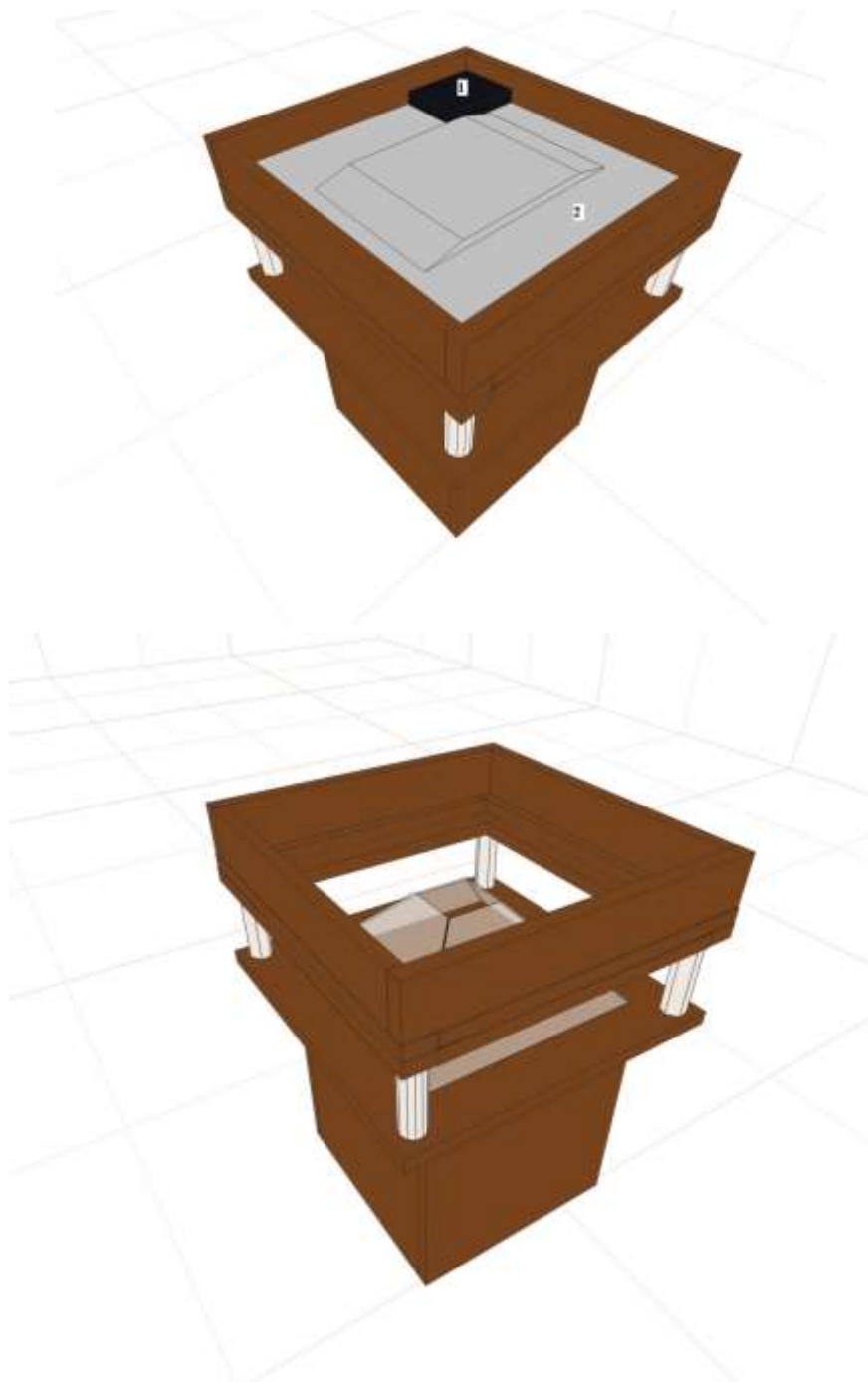


Рисунок 10 – Разработка нестандартного цифрового носителя

Где 1 – монитор, 2 – неттоп, 3 – пирамида из оргстекла, 4 – основа из фанеры, 5 – стальная труба для каркаса.

Для реализации задуманного необходимо предусмотреть:

1. Выбор устройства для создания цифровой пирамиды.
2. Выбор программного обеспечения.
3. Выбор дополнительных материалов для формирования носителя.
4. Расчет себестоимости готового изделия.

Устройство

В качестве основы цифровой пирамиды было принято решение использовать следующие устройства:

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

1. ЖК монитор Samsung 193P PLUS QAQ
Стоимость устройства 6500 руб.



Рисунок 9 – Samsung 193P PLUS QAQ

2. Неттоп Lenovo IdeaCentre Q190
Стоимость устройства 10000 руб.



Рисунок 10 – Lenovo IdeaCentre Q190

3. Программное обеспечение Microsoft Windows 7 Home Basic RU.
Стоимость пакета 4150 руб.



Рисунок 11 – обеспечение Microsoft Windows 7 Home Basic RU.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

4. Фанера из березы 6мм, 2 листа по 1525x1525 мм
Стоимость 440 руб.



Рисунок 12 – Фанера из березы 6мм

5. Оргстекло 1 мм, 1 лист 1250x2050 мм
Светопропускание 92%
Стоимость 900 руб.



Рисунок 13 – Оргстекло 1 мм

Важно правильно рассчитать угол сборки пирамиды основания. Неправильно рассчитанный градус приведет к искажению или рассеиванию конечного видеоизображения. На рисунке 14 изображена схема раскладки пирамиды с верным углом соединения частей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

09.03.01.2019.939.00 ПЗ

Лист

27

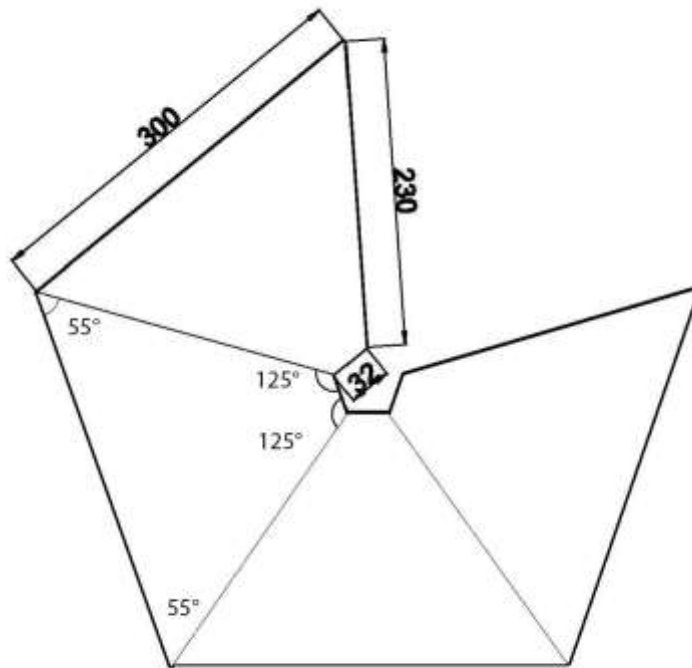


Рисунок 14 – Схема раскладки углов пирамиды с размерами

6. Труба горячедеформированная 25 мм, ГОСТ 8732-78, сталь 09Г2С, 1000 мм

Стоимость 178 руб.



Рисунок 15 – Труба горячедеформированная 25 мм

7. Саморез ГКЛ-дерево 3,5x16 окс 20 шт

Стоимость 4 руб.

8. Стержни клеевые (11x250 мм; прозрачный; 12 шт.) ТОРЕХ 42Е113

Стоимость 350 руб.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

На рисунках 9, 10 подготовлена 3D визуализация разработанного нестандартного цифрового носителя. Как видно из представленной выше сметы, самая дорогая часть – неттоп и монитор. В действительности, стоимость может быть дополнительно снижена за счет приобретения более дешевого оборудования, но с риском потери качества воспроизводимого контента.

Таким образом, итоговая стоимость готового устройства составляет 22 522 руб. при сохранении и возможности улучшения характеристик воспроизведения голографического (псевдоголографического) контента на подобных устройствах стоимостью 285 000 руб.

Создание контента для воспроизведения в виде голографии

В качестве контента для голографической пирамиды выступает видео файл или анимация, созданная по специальной раскладке по четырем сторонам на черном фоне. Формат выходного файла mp4, кодек H.264, 1280x1024 px, 25 fps.

Для начала берем квадратное видео на черном фоне. В программу After Effects вставляем разметку-шаблон в виде квадрата, расчерченного перекрестно по диагоналям. С помощью шаблона-разметки можно одновременно смонтировать несколько роликов для контента [7].

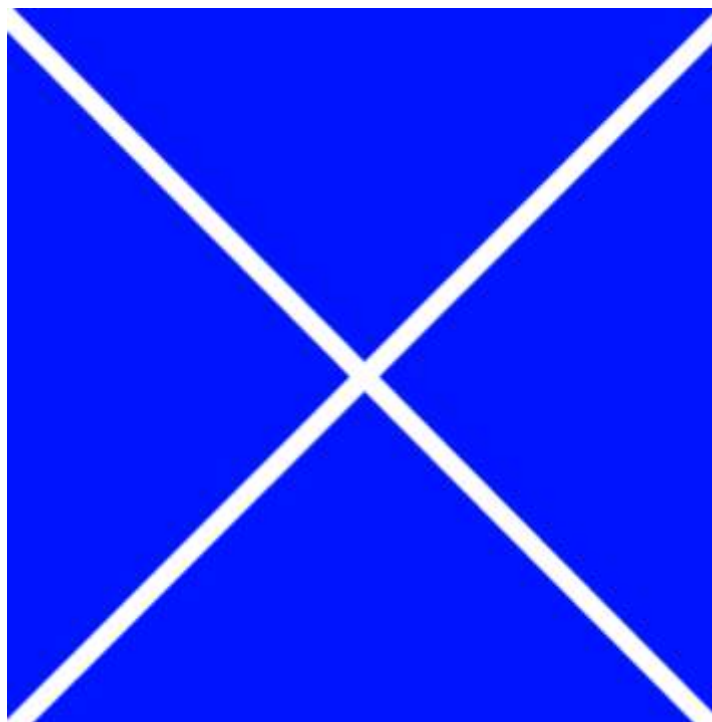


Рисунок 16 – Шаблон для программы After Effects

В действительности, пользоваться можно любым редактором, в который можно одновременно загрузить несколько обрабатываемых дорожек.

В программе можно определить длительность созданного ролика. В случае необходимости, ролик можно сделать циклическим, для бесконечного воспроизведения. Что можно применять для имиджевой рекламы, нестандартной

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

вывеске (при увеличении размера конструкции), нейтрального фона для презентаций и т.д.



Рисунок 17 – Загрузка в After Effects вариантов контента для редактирования

В программе копируем выбранный ролик на четыре части. К 1 дорожке погружаем заготовленный шаблон. Можно сделать его синим или зеленым, для работы на контрасте, либо оставить в черном цвете, для того, чтобы сразу видеть результат, при подгрузке контента.

После загрузки уменьшенного первого ролика в шаблон, берем второй ролик – отражаем его на 180 градусов и вставляем в нижнюю часть шаблона. Аналогичным образом, но с углом отражения на 90 и 270 подгружаем в шаблон третий и четвертый ролики. Важно, равномерно распределить ролики.



Рисунок 18 – Раскладка видео на 4 стороны в After Effects

Далее, если шаблон был черный, то просто убираем разметку. Если на контрастном, то меняем цвет и убираем разметку.

После получения готового видео для воспроизведения в виртуальной пирамиде, сохраняем видео в формате mp4. Получается статично клонированное на четыре стороны видео.

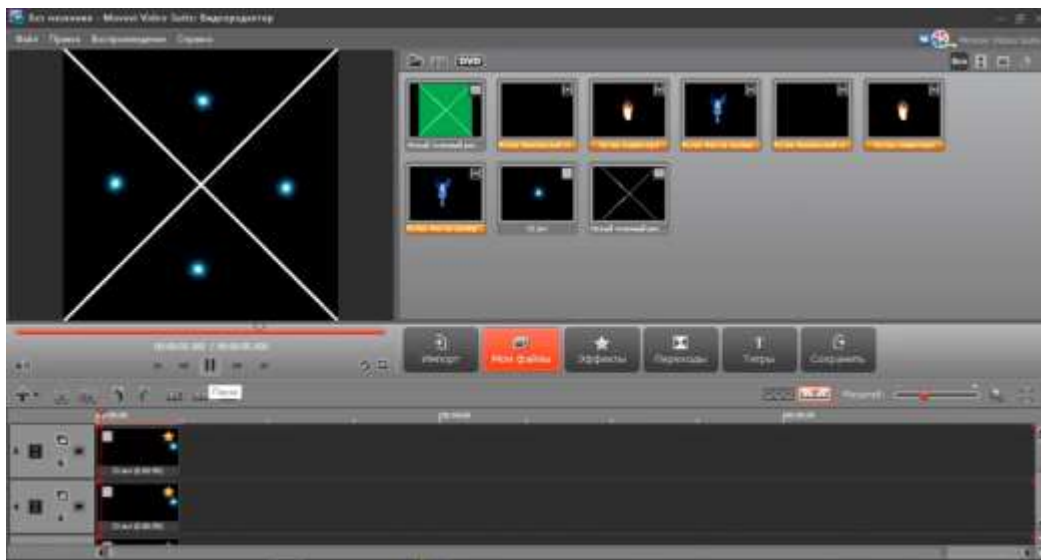


Рисунок 19 – Готовый к выгрузке ролик в After Effects

Моделирование, анимация и визуализация медиаконтента для воспроизведения на голографической пирамиде возможна в программах 3ds Max, Maya. Однако, именно в программе Adobe After Effects наиболее удобный метод раскладки на четыре стороны и добавления эффектов. Возможен и вариант создания четырех клонов сцены, в каждой из которых основная камера находилась в разных местах (под углами 0, 90, 180, 270 градусов), с дальнейшим соединением кадров анимации Нодами [8].

Передача видеопотока

На рисунке 20 показан принцип передачи и воспроизведения видео контента на нестандартном цифровом носителе.

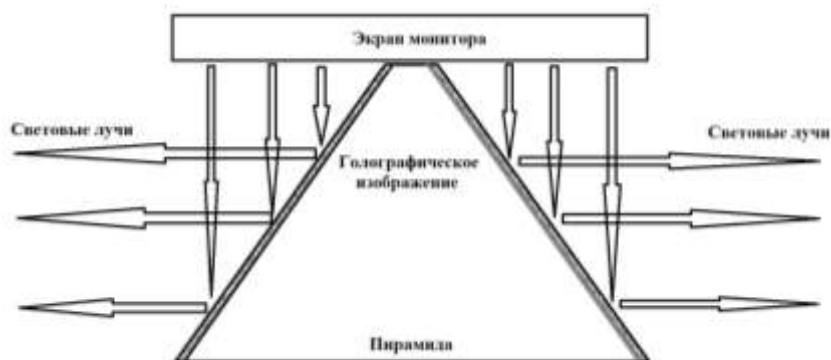


Рисунок 20 – Схема воспроизведения контента на нестандартном носителе

Создание иллюзии с эффектом голографии обеспечивает принцип преломления, отражения световых потоков всех четырех видеорядов в панелях созданного устройства. С фронтальной стороны, то есть со стороны зрителя, прозрачные полосы суммируются в единое 3D изображение.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Выводы по главе два

1. Рассмотрены способы формирования голографических изображений.
2. Разработана конструкция нестандартного цифрового носителя.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

3.1 Программное обеспечение рекламного носителя

На рисунке 21 указана блок-схема всего процесса работы нестандартного рекламного носителя.

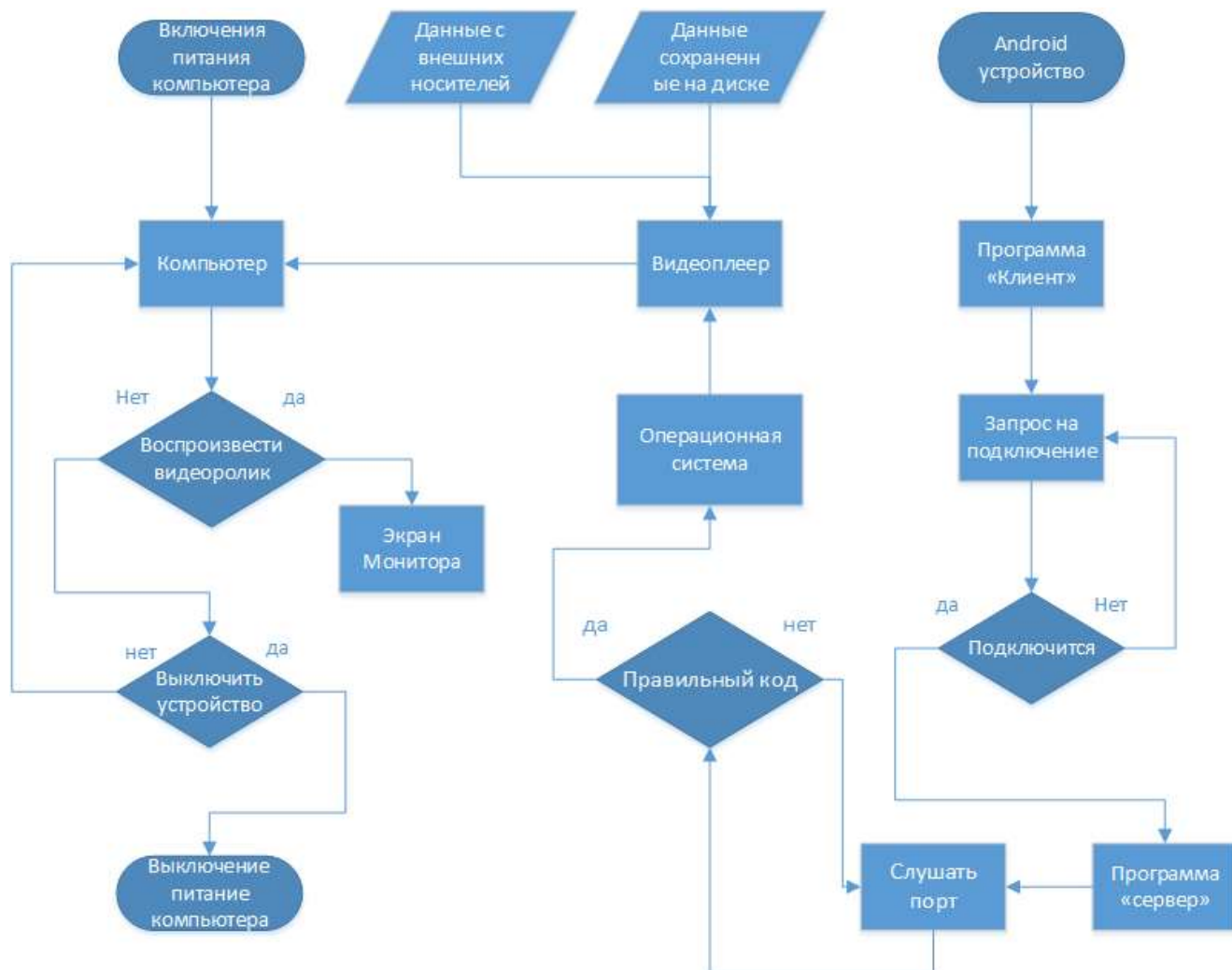


Рисунок 21 – Блок-схема работы рекламного носителя



Рисунок 22 – Блок-схема работы программы «сервер»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Программа Server была написана в программе Microsoft Visual. На рисунке предоставлена блок-схема работы сервера. Был взят порт 10000, для того чтобы быть уверенным в то, что этот порт никакой служебной программой не используется. Этот порт будет прослушивается сервером, IP адрес был использован 0.0.0.0 для того чтоб обрабатывались все сетевые интерфейсы. Использовал четыре константы, которые задают коды команд, приходящие от клиента. В программе сервер создается локальная конечная точка и ассоциируется с IP адресом сервера и портом. Определяется основной сокет, связывается с с конечной точкой, и переводится в режим прослушивания. Далее сервер входит в бесконечный цикл и переходит в режим ожидание соединения. При удачном соединении создается новый экземпляр сокета, посредством которого клиент с сервером будут общаться. Если соединение установлено сервер будет читать данные от клиента. Команды клиента закодированы однобайтовым кодом, сервер расшифровав код команды начинает его выполнять, после этого он снова уходит в режим прослушивания.

Так как серверная часть должна работать в фоновом режиме для прослушивания команд от клиента, внешний вид программы запуска сервера особо не нужен и появляется только на начальной стадии и в дальнейшем висит в системе.

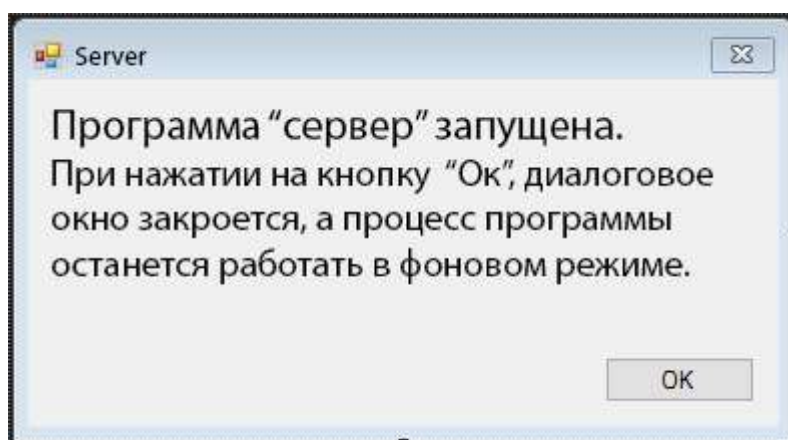


Рисунок 23 – Внешний вид программы «сервер»

3.2 Мобильное приложение

Существует много вариантов создания приложений на Android, однако самой простой, распространенной и официальной версией от Google является программа Android Studio. Именно в этой программе созданы практически все самые популярные приложения.

Удобство работы в программе Android Studio заключается в том, что программа самостоятельно управляет многими файлами, а также предлагает шаблоны интерфейса. При этом возможности и сложные эффекты приложения

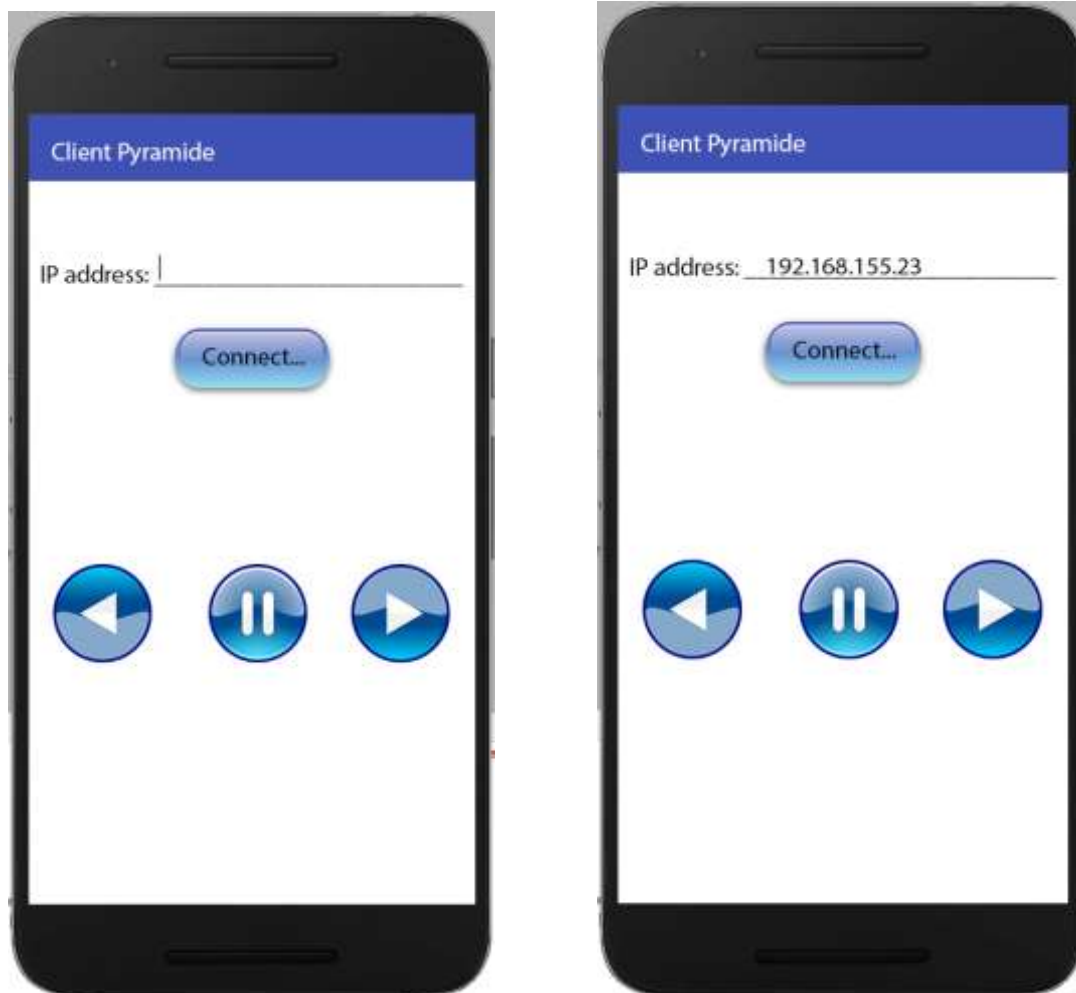


Рисунок 25 – Внешний вид программы «клиент»

3.3 Результат работы системы

Разработанная система нестандартного рекламного носителя в виде трехмерного голографического видеоизображения с управлением через мобильное приложение показала хорошие показатели в реальном времени и оправдала ожидаемые результаты. Проведены испытания как рекламного самого носителя, так и мобильного приложения. В ходе проведения тестирования системы ошибок не наблюдалось. Конструкция получилась надежной и устойчивой за счет простоты сборки и использования долговечных материалов. Мобильное приложение не громоздкое и систему android не загружает, легко отзывчиво на команды пользователя. Из-за хрупкости электронного оборудования в устройстве следует устанавливать в чистом, сухом помещении.

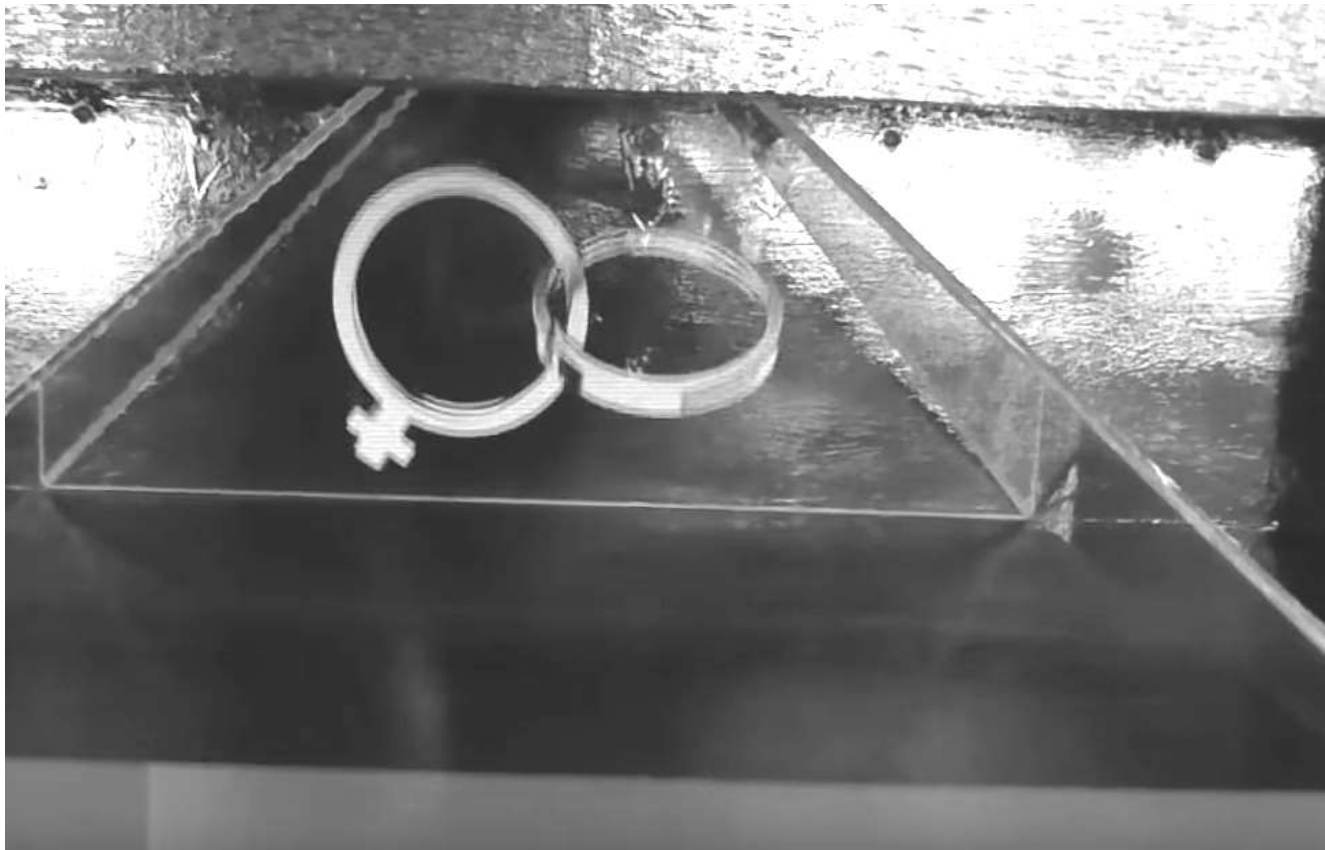


Рисунок 26 – Результат работы нестандартного рекламного носителя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

09.03.01.2019.939.00 ПЗ

Лист

37

Выводы по главе три

1. Разработано программное обеспечение, исполняемое на рекламном носителе.
2. Разработано программное обеспечение для мобильного телефона.
3. Представлены результаты разработки системы.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен процесс создания нестандартного рекламного носителя в виде цифровой голографической пирамиды. Разработана конструкция рекламного носителя с учетом математического описания процесса формирования голограммы.

Разработано программное обеспечение, выполняемое на рекламном носителе, а также программное обеспечение для мобильных устройств под операционную систему Android, которое позволяет управлять процессом воспроизведения видео.

Проведены испытания как рекламного самого носителя, так и мобильного приложения. В ходе проведения тестирования системы ошибок не наблюдалось. Конструкция получилась надежной и устойчивой за счет простоты сборки и использования долговечных материалов.

Затраты на создание системы составили 22 522 рубля, что в 12,65 раз меньше, чем при использовании аналогичных решений.

В дальнейшем планируется доработка конструкции и программного обеспечения с целью увеличения качества воспроизводимого видеоизображения, а также переход к серийному выпуску продукции.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Андреева, О.В. ПРИКЛАДНАЯ ГОЛОГРАФИЯ. Учебное пособие / О.В. Андреева. – СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 184 с.
- 2 Акаев, А.А. Динамика образования голограмм в фотополимеризующейся среде / А.А. Акаев, К.М. Жумалиев, А.А. Сагымбаев и др. // Оптич. журн. 1998. – № 4. – С. 1-42.
- 3 Кольер, Р. Оптическая голография / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. – М.: Мир, 1973. – 686 с.
- 4 Комар, В.Г. Изобразительная голография и голографический кинематограф / В.Г., Комар, О.Б., Серов – М.: Искусство, 1987. – 286 с.
- 5 Корешев, С.Н. Основы голографии и голограммной оптики: Учебное пособие / С.Н. Корешев, – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 97 с.
- 6 Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, – 848 с.
- 7 Все приложения Creative Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpx.adobe.com/ru/after-effects/user-guide.html> – Заглавие с экрана.
- 8 Виртуальная планета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blender3d.org.ua/tutorial/210.html> – Заглавие с экрана.
- 9 Мультиурок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://multiurok.ru/blog/golografiia-istoriia-i-primieneniie.html> – Заглавие с экрана.
- 10 Бётхер, Х. Современные системы регистрации информации / Х. Бётхер, И. Эпперляйн, А.В. Ельцов. – СПб: Синтез, 1992. – 328 с.
- 11 Денисюк, Ю.Н. Принципы голографии / Ю.Н. Денисюк. – Л.: ГОИ, 1978. – 125 с.
- 12 Мусский, С.А. 100 великих чудес техники / С.А. Мусский. – М.: Вече. – 2006. – 271 с.
- 13 Сороко, Л.М. Основы голографии и когерентной оптики / Л.М. Сороко, – М.: Наука, 1971. – 616 с.
- 14 Vivliophica [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vivliophica.com/articles/physics/516394> – Заглавие с экрана.
- 15 LiveJournal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://masterok.livejournal.com/462630.html> – Заглавие с экрана.
- 16 Оптическая голография, т. 1 / под ред. Г. Колфилда. – М.: Мир, 1982. – 816 с.
- 17 Энциклопедический словарь юного физика / сост. В. А. Чуянов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Педагогика, 1991. – 336 с.

					09.03.01.2019.939.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		