

На правах рукописи

Алехин Владимир Александрович

**Развитие теории проектирования, разработка и реализация новых
принципов функционирования оптических и термографических
устройств регистрации и отображения
с линейной записью информации**

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Москва 2005 г.



Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ковтонюк Николай Филиппович
доктор технических наук, профессор
Микитин Владимир Михайлович
доктор технических наук, профессор
Степанов Игорь Михайлович

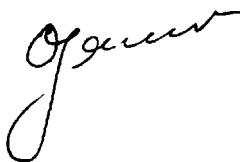
Ведущая организация: Научно-исследовательский институт специального машиностроения МГТУ имени Н.Э. Баумана

Защита диссертации состоится «16» марта 2005 г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.131.03 при Московском государственном институте радиотехники, электроники и автоматики (техническом университете) по адресу: 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 78., Г-412

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета)

Автореферат разослан «4» февраля 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Тягунов О.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

В вычислительной технике и системах управления важное место занимают устройства регистрации и отображения информации. Системы контроля и дистанционного управления, видеонаблюдения, промышленные и оборонные системы передачи и обработки визуальной информации составляют основу информационных управляющих систем. В качестве оконечных устройств в системах управления в большинстве случаев применяются разнообразные *устройства регистрации и отображения информации*.

Последние 25 лет характеризуются бурным развитием производства *электронных устройств регистрации информации*, использующих три основных принципа печати:

оптическую печать (лазерные принтеры и принтеры с пространственно-временными модуляторами света (ПВМС) и светочувствительными носителями записи);

термографическую печать (термографические принтеры и видеопринтеры); струйную печать (струйные принтеры).

Одновременно столь же бурно развивается производство *устройств отображения информации* на экраны индивидуального и коллективного пользования, которые можно разделить на следующие группы: дисплеи, телевизионные мониторы и проекторы с *электронно-лучевыми трубками* (ЭЛТ); *жидкокристаллические* панели; плазменные панели; проекторы с *ПВМС*, в том числе: *рельефографические*, в которых фазовая модуляция света осуществляется путем изменения рельефа поверхности оптической среды; *жидкокристаллические*, в которых модуляция света осуществляется путем изменения оптических свойств слоя жидких кристаллов; *микрзеркальные*, в которых модуляция света осуществляется путем наклонов микрозеркал, образующих управляемую отражающую поверхность.

Технические характеристики устройств регистрации и отображения информации, качество изображения, скорость печати достигли в настоящее время показателей, практически соответствующих наивысшим запросам потребителей. Как и во всем мире, в России рынок сбыта устройств регистрации постоянно расширяется, растут объёмы продаж. К сожалению, этот важный сегмент рынка в России практически полностью занят изделиями зарубежного производства. В то же время с середины 1970-х годов и до середины 1990-х в России проводились интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по устройствам регистрации и отображения информации. Автор диссертации, являясь руководителем или ответственным исполнителем работ, принимал активное и непосредственное участие в разработках **трех классов устройств регистрации и отображения с линейной записью информации (УРОЛЗ)**, которые далее сокращенно именуются в общем смысле **линейные принтеры и проекторы (ЛПП)** и отдельно - **линейные принтеры (ЛПН)** и **линейные проекторы (ЛПО)**:

1. Рельефографические линейные проекторы и принтеры (РЛПП) с рельефографическими модуляторами света (РМС) и отображением информации на экран или записью информации на светочувствительный носитель или на электрофото-

графический цилиндр с последующим переносом на оконечный носитель (по современной классификации РЛПП относятся к рельефографическим микрооптикоэлектромеханическим системам (РОЭМС));

2. Жидкокристаллические линейные принтеры (ЖК - принтеры) с жидкокристаллическим модулятором света (ЖКМС) и записью информации на электрофотографический цилиндр с последующим переносом на оконечный носитель;

3. Термографические линейные принтеры (ТЛПН), включая монохромные и цветные видеопринтеры с термопечатающими головками (ТПГ) и записью информации на термочувствительные носители или с термопереносом красителя на оконечный приемный носитель.

Обобщенная функциональная схема УРОЛЗ показана на рис.1.

Линейные принтеры (ЛПН) (термографические и оптические) выполняют печать строки точек изображения на оконечном носителе - термочувствительном или светочувствительном. Полный кадр изображения получают протяжкой оконечного носителя. Линейные проекторы (ЛПО) с помощью линейки оптических затворов модулируют световую строку на экране. Кадр изображения получают разверткой с помощью, например, зеркального сканатора.

Эти три типа ЛПП объединяют:

- способ записи информации, а именно: одновременная параллельная запись линейной строки (или столбца) изображения, осуществляемая многоканальным ПВМС на светочувствительной (в принтере) или светоотражающей (в проекторе) среде, или линейной термопечатающей головкой на термочувствительном материале, в которых количество управляемых пишущих элементов равно количеству точек в линейной строке изображения;

- единые научные подходы к методам формирования и оценки качества изображения;

- сходные технические средства реализации управления записью информации;

- аналогичные подходы к выбору элементной базы;

- общие области применения ЛПП.

В настоящее время ЛПП имеют широкое применение в различных системах и приборах, как за рубежом, так и в России. Наиболее важные применения:

проекторные устройства отображения информации на экраны коллективного пользования гражданского и специального назначения (оптические дисплеи, мультимедийные и телевизионные проекторы);

линейные оптические принтеры (ЖК - принтеры, рельефографические принтеры) как страничные и широкоформатные принтеры персональных компьютеров и управляющих систем;

термопринтеры для печати конструкторской документации в системах автоматизированного проектирования (САД, САМ); факсимильные аппараты с печатью на термочувствительной и обычной бумаге; термопринтеры с шириной печати от 50мм до 100 мм для контрольно-измерительной и телеметрической аппаратуры, медицинских приборов, кассовых аппаратов и торгового оборудования; термопринтеры с шириной печати от 100мм до 216 мм для скоростного вывода информации из ЭВМ и информационных систем (скорость вывода до 300 мм/с);

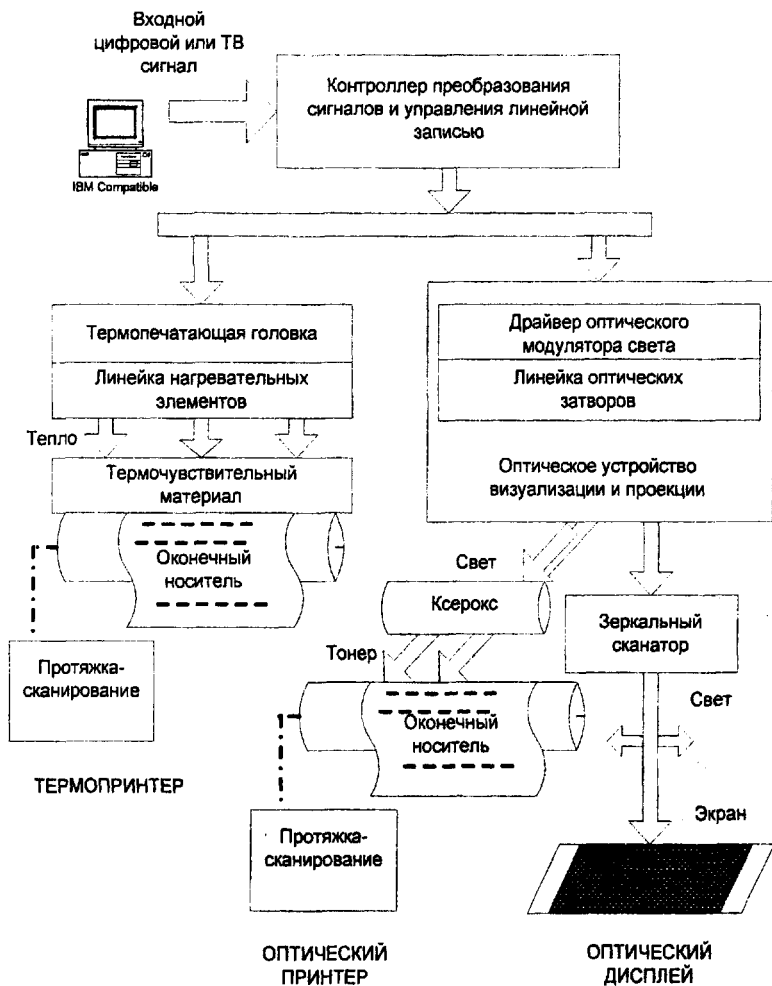


Рис.1. Обобщенная функциональная схема УРОЛЗ

полутонные термографические видеопринтеры для регистрации телевизионных изображений, которые применяются в оконечных устройствах телекоммуникационных систем, в телевизионных системах наблюдения и контроля, в медицинских ультразвуковых и рентгеновских приборах, в криминалистике, в приборах неразрушающего контроля и технической диагностики, в электронной микроскопии;

цветные термографические принтеры для цветной компьютерной печати;

цветные термографические видеопринтеры для высококачественной печати цветных видеоизображений в системах контроля природной среды, в системах

приема и обработки изображений, в электронной фотографии, в электронной полиграфии, в видеотехнике, в медицинской технике, в криминалистике и т.п.

цветные цифровые термосублимационные фотопринтеры для современной цифровой фотографии.

Перечисленные выше применения имеют как гражданское, так и оборонное назначение.

Линейные проекторы и оптические линейные принтеры необходимы для командных пунктов управления и контроля. Термопринтеры широко используют в факсимильных аппаратах гражданского и специального применения. Термографические полутоновые видеопринтеры и цветные видеопринтеры благодаря компактности, простоте и прочности механизма, высокому качеству изображения требуются для мобильных систем наблюдения, прицеливания и управления оружием, в беспилотных системах воздушной разведки и целеуказания, системах телевизионного и ИК-наведения для контроля правильности решений и документирования важных изображений в виде последовательности кадров в ситуациях сближения в целью, выполнения ответственного этапа операции, нарушения установленного режима и т.п.

В настоящее время особую актуальность приобретает развитие в России собственного производства наукоемких изделий высоких технологий, к которым относятся устройства регистрации и отображения с линейной записью информации.

Целью диссертационной работы является разработка научно-обоснованных технических решений, связанных с развитием теории проектирования и реализацией новых принципов функционирования оптических и термографических устройств регистрации и отображения с линейной записью информации, внедрение которых внесет вклад в практическую разработку и организацию производства отечественных наукоемких устройств регистрации и отображения и будет способствовать развитию экономики страны и повышению ее обороноспособности, и включает в себя:

- разработку теории преобразований сигналов и методов теоретического анализа рельефографических устройств регистрации и отображения, жидкокристаллических и термографических устройств регистрации с линейной записью информации;

- разработку теории цилиндрических шпирен-проекторов для рельефографических систем с тепловыми и лазерными источниками излучения и методики светоэнергетических расчетов рельефографических устройств и ЖК - принтеров;

- разработку и исследование ЖК - принтера с мультиплексным управлением;

- разработку методов сенситометрических исследований термочувствительных материалов и сенситометра, электрической и тепловой модели ТПП, функциональных схем видеопринтеров, алгоритмов печати линейной градиционной шкалы и способов реализации цветной термосублимационной печати;

- разработку, создание и исследование экспериментальных макетов и опытных образцов рельефографических, термографических и жидкокристаллических УРОЛЗ, защищенных авторскими свидетельствами и патентами.

Методы исследований основаны на теории систем и преобразований сигналов в радиотехнике и оптике, теории оптических систем, светотехнике, теории элек-

трических цепей и электромагнитного поля, теории теплопроводности, сенситометрии, методах математического моделирования.

Научная новизна заключается:

в теоретическом обосновании методов проектирования, численного расчета и в экспериментальном исследовании рельефографических УРОЛЗ;

в теоретическом обосновании методов проектирования и в экспериментальном исследовании линейных принтеров с ЖКМС, в разработке функциональной схемы и алгоритма мультиплексного управления;

в исследовании термочувствительных материалов и термопечатающих головок (ТПГ), разработке методик сенситометрических испытаний;

в обосновании методов полутоновой термопечати, принципов проектирования и реализации полутоновых и цветных термографических видеопринтеров.

Практическая значимость работы заключается:

в разработке методики проектирования рельефографических монохромных и цветных проекторов и принтеров с линейными РМС, жидкокристаллических принтеров, термографических полутоновых и цветных видеопринтеров;

в разработке многочисленных устройств отображения и регистрации с линейной записью информации, их реализации в виде действующих макетов, опытных и мелкосерийных образцов, проведении испытаний (РМС «Рельеф 1,2»; проекторы «Рельеф-2», «Рельеф-ЦЛ», макет ЖК -принтера, видеопринтеры «ЭЛУР-ТВП-3», «ЭЛУР-ТВП-4»);

в использовании разработанных принципиальных схем УРОЛЗ и методов их расчета для проектирования и реализации:

- РОЭМС на основе современных рельефографических модуляторов света, использующих GLV-технологии (Grating Light Valve);

- ЖК - принтеров на основе современных ЖКМС с отечественными жидкокристаллическими материалами;

- термографических монохромных и цветных видеопринтеров и фотопринтеров на основе современных ТПГ, материалов и электронных компонентов.

Реализация результатов диссертации.

Результаты диссертации использованы:

при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в МИРЭА с предприятиями: ЦКБ «Алмаз», г. Москва; ЦКБ «Спектр», г. Москва; НПП «Пульсар», г. Москва; НПО «Геофизика», г. Москва; опытно-конструкторской работы «Цвет» по разработке цветного термографического видеопринтера в рамках Государственной программы «Применение перспективных технологий в науке и технике» по решению Министерства науки, высшей школы и технической политики, 1992г.; ОКР «Кристалл» по разработке жидкокристаллической печатающей головки на основании ТТЗ на ОКР «Квинтель-27» в рамках Программы концерна «ТЕЛЕКОМ» (1992 г.) «Разработка и производство целевых и многофункциональных терминалов»; научно-исследовательских работ с Калужским НИИ телемеханических устройств по обоснованию выбора ТПГ и контактных датчиков изображения для отечественных факсимильных аппаратов специального назначения и гражданского

факсимильного аппарата Ф4С21-«Фортуна-3»; научно-исследовательских работ с ООО «Элсико», г. Калуга; с ЗАО «Сигма-М», г. Калуга; ОКР с АО ЛОМО, г. Санкт-Петербург и др.

Разработка видеопринтеров «ЭЛУР-ТВП-4» реализована в производстве опытной партии, прошедшей испытания в ведущих медицинских центрах РФ и учреждении МВД РФ и рекомендованной к освоению и производству комиссией по новой технике Минздрава РФ, 1993 г. К освоению и производству рекомендован также цветной видеорегистратор «ЭЛУР-Ц1».

Результаты работы использованы в учебном процессе в Московского государственном институте радиотехники, электроники и автоматики (техническом университете) при руководстве дипломным проектированием и работой аспирантов.

Автор защищает:

1. Принципы построения, функционирования и реализации монохромных и цветных рельефографических устройств отображения и регистрации с линейной записью информации, использующих тепловые источники света, с научным обоснованием, включающим:

- теорию преобразования сигналов в рельефографических оптикоэлектромеханических системах (РОЭМС) с учетом пространственной дискретизации и численное моделирование РОЭМС для расчета и оптимизации основных параметров рельефографического модулятора света (РМС);

- теорию цилиндрического шлирен-проектора (ЦШП) с тепловым источником света, предназначенного специально для воспроизведения рельефной записи в одномерных многоканальных РОЭМС, оптимизацию оптической схемы проектора и конструктивных параметров основных элементов РОЭМС;

- теоретический анализ потенциальных светоэнергетических характеристик ЦШП и оптимизацию осветительной системы.

2. Принципы построения, функционирования и реализации рельефографических устройств отображения и регистрации с линейной записью информации, использующих лазерные источники света, с дополнительным научным обоснованием, включающим методику габаритного и светоэнергетического расчета монохромного и цветного ЦШП с лазерными источниками света.

3. Теорию проектирования оптических линейных принтеров с многоканальными жидкокристаллическими модуляторами света (ЖК - принтеров), включающую обоснование требований к оптической печатающей головке, методику светоэнергетических расчетов проекционных и осветительных систем ЖК - принтеров, методику экспериментальных исследований ЖКМС и ЖК - принтеров в режимах печати.

4. Принципы построения, функционирования и реализации жидкокристаллического устройства регистрации информации с мультиплексным управлением, включающие функциональную схему, алгоритм мультиплексного управления с пространственным сведением изображений ЖК - ячеек, экспериментальный выбор ЖК - матриала и параметров ЖКМС для мультиплексного управления.

5. Теорию проектирования термографических монохромных и цветных видеопринтеров, включающую в себя, в частности:

- анализ цветообразования в прямой и термосублимационной термопечати;

- новый метод сенситометрических испытаний термочувствительных материалов, сенситометр и набор сенситометрических параметров для оценки качества термочувствительных материалов;

- электрическую и тепловую модель термопечатающей головки видеопри-
тера, позволяющие оценить требования к параметрам и качеству ТПГ для видеопри-
теров;

- обоснование метода создания и реализации алгоритма печати линейной гра-
дационной шкалы.

6. Обоснование построения функциональных схем контроллеров монохром-
ных и цветных видеопри-теров, контроллера полутонов, блоков преобразования
цветов и цветокоррекции.

7. Результаты исследований экспериментальных образцов и макетов рельефо-
графических проекторов и принтеров, макета ЖК - принтера, испытаний опытных и
мелкосерийных образцов монохромных полутоновых видеопри-теров «ЭЛУР-ТВП-
3», «ЭЛУР-ТВП-4».

Апробация работы. Основные положения и результаты выполненных разра-
боток и исследований докладывались на международных, всесоюзных, всероссий-
ских, республиканских и региональных конференциях. В их числе:

- Конференция "Предельные свойства фотографических регистрирующих сред"
(Черноголовка, 1979);

- Всесоюзная конференция "Процессы усиления в фотографических системах реги-
страции информации" (Минск, 1981);

- Всесоюзная конференция "Оптическое изображение и регистрирующие среды"
(Ленинград, 1982);

- IV Всесоюзная конференция "Бессеребряные и необычные фотографические про-
цессы" (Суздаль-Черноголовка-1984);

- II Всесоюзная конференция "Формирование оптического изображения и методы
его обработки" (Кишинев, 1985);

- I Всесоюзная конференция "Современное состояние и перспективы развития уст-
ройств ввода-вывода информации в САПР, АСУ" (Орел, 1985);

- III Всесоюзная конференция по диагностике сердечных заболеваний (Львов, 1990);

- Международная конференции "Электрофотография 91" (Москва, 1991);

- III Всесоюзная НТК по гибридным технологиям (Ярославль, 1991);

- Научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в
управлении и образовании» (Москва, 2001);

- Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные проблемы
радиоэлектронного приборостроения» (INTERMATIC-2004) (Москва, 2004).

Рельефографические модуляторы света, проекторы и принтеры неоднократно
демонстрировались на ВДНХ СССР. Автор награжден двумя серебряными медаля-
ми.

Большинство новых технических решений защищено авторскими свидетельства-
ми СССР и патентами РФ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано более 90 печатных работ, в числе которых 18 статей, 46 авторских свидетельств СССР, 2 патента РФ, а также 19 публикаций тезисов докладов и 9 статей в сборниках трудов МИРЭА.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (291 наименование) и восьми приложений. Общий объем диссертации 442 листа сквозной нумерации, основной текст изложен на 276 листах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан общий анализ развития и современного состояния разработки и производства устройств регистрации и отображения с линейной записью информации, показана общность трех классов устройств (рельефографических проекторов и принтеров, ЖК - принтеров, термографических видеопринтеров) по способу записи, методам формирования изображения, способам управления и элементной базе, приведены наиболее важные области применения УРОЛЗ в гражданской и оборонной областях, сформулированы научно-технические задачи и цели исследования, дана общая характеристика содержания работы.

В первой главе рассмотрены общие принципы функционирования, классификация и оценка качества оптических и термографических УРОЛЗ. Обсуждаются основные области применения современных линейных проекторов и принтеров (ЛПП), их основные технические характеристики.

Разработана и представлена классификация УРОЛЗ, включающая многочисленные классы современных оптических и термографических ЛПП. В диссертации исследуются методы проектирования рельефографических линейных проекторов и принтеров, жидкокристаллических принтеров, термографических монохромных и цветных видеопринтеров. Полученные в диссертации результаты по термопечати в значительной степени применимы и к другим классам термографических принтеров.

Интенсивное развитие в настоящее время за рубежом получают рельефографические ЛПП на современной GLV- технологии (Grating Light Valve). В первой главе показано, что некоторые *технические решения и принципиальные схемы РО-ЭМС на основе GLV- технологии являются аналогами более ранних изобретений автора по рельефографическим ЛПП с эластомерными модуляторами света (ЭРМС).*

Разработана классификация современных термографических линейных принтеров, приведены технические характеристики, показано интенсивное развитие этого направления, перспективы расширения производства цветных термографических устройств, отмечено, что работы автора по полутоновой и цветной термопечати являются единственными в России, а разработанные автором с сотрудниками видеопринтеры «ЭЛУР-ТВП-3» и «ЭЛУР-ТВП-4», печатающие 64 градации полутонов, были первыми и остаются единственными отечественными .полутоновыми видеопринтерами.

Исследованы методы формирования изображений в монохромных и цветных ЛПП. Линейные оптические и термографические принтеры реализуют репродукционный процесс и печатают растрованное изображение. Каждый элемент оригинала и изображения (пиксель) может быть:

1. Монохромным (иметь один цвет), в том числе: бинарным (имеет два уровня оптической плотности); многоуровневым (имеет несколько уровней оптической плотности (например, 3-4)); полутоновым (имеет много уровней оптической плотности (градаций), образующих "серую шкалу" (как правило, 16-64 градаций); с непрерывным тоном (256 градаций);

2. Многоцветным (имеет несколько составляющих цветов (как правило, от 2 до 8));

3. Полноцветным (передает полную гамму цветов и полутонов, соответствующую качественному цветному изображению).

На основе формулы Шеберстова - Муррея - Девиса *проведена классификация, анализ возможностей применения и показателей следующих методов полутоновой печати:*

1. Бинарные SM - методы, в которых все черные точки имеют одинаковый размер и оптическую плотность D_T , а количество черных точек в пикселе изменяется в зависимости от его оптической плотности. Эти методы обозначены SMB. Они включает в себя:

упорядоченные бинарные методы (SMBO);

бинарные SM-методы с диффузией ошибок (SMBED);

рандомизированный метод модуляции площади (SMBR), в котором градации полутонов передаются случайным количеством точек на элементарной площадке, причем вероятность печати черной точки связана с оптической плотностью участка изображения.

2. Многоуровневый SM - метод, в котором количество точек в пределах пикселя неизменно, а размер каждой точки увеличивается по мере увеличения оптической плотности. Так как происходит модуляция площади растровых точек, этот метод обозначен нами SMML (multi - level).

3. Методы модуляции оптической плотности растровых точек и их площади (DSM- методы), в которых наряду с изменением площади меняется оптическая плотность растровых точек, принимая несколько дискретных значений.

4. Метод модуляции оптической плотности D_T каждой растровой точки без изменения относительной суммарной площади S_T растровых элементов (DM - метод). DM - метод реализуется в монохромных и цветных термографических видеопринтерах и фотопринтерах с непрерывной передачей тонов (градаций серого).

Проведены расчеты и представлены результаты сравнения методов формирования полутонов и их применение в различных ЛПП.

Рассмотрены *принципы формирования цветных изображений в линейных проекторах и принтерах*, в том числе аддитивное воспроизведение цвета в проекторах и мониторах, субтрактивное воспроизведение цвета и принципы цветной печати в линейных принтерах, особенности передачи полутонов в оптических цветных принтерах и цветных термографических принтерах с термопереносом сублимационного красителя.

Рассмотрены также критерии и оценка качества изображения в монохромных и цветных проекторах и принтерах.

Во второй главе приведены результаты теоретических и экспериментальных работ автора по линейным проекторам и принтерам с эластомерными рельефографическими модуляторами света (ЭРМС).

Разработана теория преобразований сигналов в рельефографических оптико-электромеханических системах (РОЭМС), включающая сквозной расчет прохождения сигналов, теорию воспроизведения фазово-оптической записи цилиндрической шпирен-оптикой, расчет и оптимизацию ЭРМС с электродным управлением с учетом пространственной дискретизации и т.д.

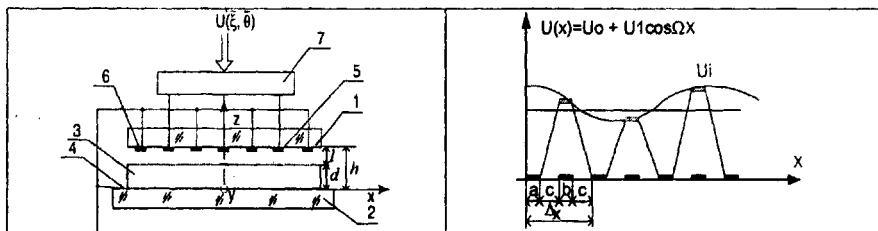


Рис.2. Расчетная схема ЭРМС

Рис.3. Дискретизация входного сигнала трапецидальной растрирующей функцией

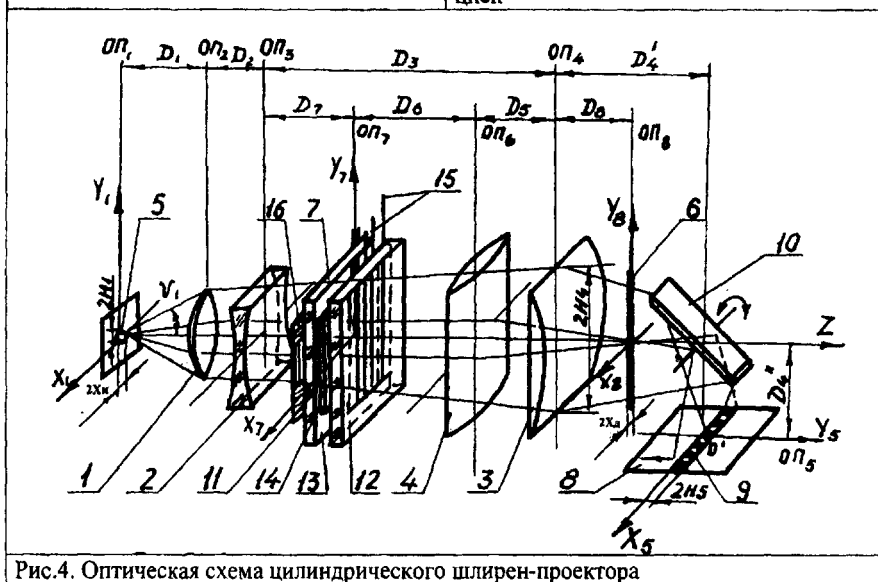


Рис.4. Оптическая схема цилиндрического шпирен-проектора

РОЭМС включает в себя ЭРМС и оптическую систему визуализации фазовой записи в виде цилиндрического шпирен-проектора (ЦШП) (рис.4). ЭРМС (рис.2) содержит две стеклянные пластины 1 и 2, деформируемый эластомерный слой 3, про-

зрачный электрод 4, управляющие электроды 5, контрэлектроды 6, соединенные с прозрачным электродом 4 и имеющие нулевой потенциал, устройство управления 7.

В цилиндрическом шлинген-проекторе по изобретениям автора положительная сферическая линза 1 и отрицательная цилиндрическая линза 2, являясь осветительными, одновременно образуют с положительной длиннофокусной линзой 3 сфероцилиндрический телескопический объектив и обеспечивают сжатие изображения точечного отверстия 5 в вертикальной плоскости (YOZ), называемой далее *плоскостью сжатия*. В горизонтальной плоскости (XOZ), называемой *плоскостью визуализации*, линза 1 и положительная цилиндрическая линза 4, совместно с непрозрачной линейной диафрагмой 6 образуют оптическую систему визуализации фазовой рельефной записи. Модулятор света 7 расположен между линзами 2 и 4. Расположение элементов оптической схемы позволяет при сохранении малых габаритов проектора получить большое фокусное расстояние телескопического объектива и большой коэффициент анаморфозы ($A = 100 \div 200$)

В результате этого весь световой поток, проходящий через носитель записи, на экране 8 будет сведен в световую строку 9, которая в вертикальной плоскости является изображением точечного отверстия диафрагмы 5, а в горизонтальной плоскости - визуализированным изображением носителя записи.

Элементы строки модулируются по яркости и цвету модулятором 7. Строка 9 развертывается по кадру с помощью сканирующего зеркала 10. Для уменьшения момента инерции зеркала фокусное расстояние линзы 4 выбирают таким, чтобы ее фокальная плоскость располагалась на выходе линзы 3. В этом месте световой поток сжимается в вертикальную полосу и перекрывается диафрагмой 6. Зеркало установлено непосредственно за диафрагмой, плоскость зеркала здесь имеет наименьший момент инерции относительно оси сканирования.

На рис.4 в модуляторе света 7 обозначены две стеклянные пластины 11 и 12, прозрачный проводящий слой 13, эластомерный деформируемый носитель записи 14, параллельные прозрачные электроды 15, число которых равно числу элементов разрешения в записываемой строке изображения. На электроды поступают напряжения записи. Ориентированы электроды параллельно диафрагме 6.

Для воспроизведения цветных изображений предложено выполнять электроды в виде трех секций, управляемых напряжениями записи основных цветов и освещаемых через трехцветный светофильтр 16. Цилиндрическая оптика сводит модулированные световые лучи основных цветов в цветную световую строку на экране.

Рельефографический процесс в РОЭМС с электродным управлением можно представить в виде совокупности операторов, последовательно преобразующих входной сигнал:

$$U(x, y, t) \xrightarrow{1} \sum_n \sum_m U_{nm}(t) \xrightarrow{2} E(x, y, z, t) \xrightarrow{3} P(x, y, t) \xrightarrow{4} \\ A(x, y, t) \xrightarrow{5} \exp[j\Phi(x, y, t)] \xrightarrow{6} I(x, y, t) \xrightarrow{7} E_{CB}(x, y, t),$$

где $U(x,y,t)$ - входной пространственно-временной электрический сигнал; $U_{nm}(t)$ - дискретизированный сигнал на управляющих электродах; $E(x,y,z,t)$ - пространственно-временное распределение напряженности электрического поля внутри РМС; $P(x,y,t)$ - плотность нормальных деформирующих сил на границе воздух - деформируемый слой; $A(x,y,t)$ - пространственно-временное распределение рельефа поверхности деформируемого слоя; $\exp[j\Phi(x,y,t)]$ - фазовый множитель считывающего модулированного света, причем $\Phi(x,y,t)$ связано с $A(x,y,t)$; $I(x,y,t)$ - распределение интенсивности света в строке изображения на выходе рельефографической системы; $E_{CB}(x,y,t)$ - распределение освещенности в кадре изображения. Этапы преобразования сигнала отличаются по линейности и инерционности: 3, 4, 5, 6-й этапы - нелинейные, 4 - инерционный, 1 и 2 - линейные и практически безинерционные.

Важной особенностью РОЭМС с линейным электродным управлением является пространственная дискретизация входного электрического сигнала на управляющих электродах и возникающие при этом шумы дискретизации и искажения выходного оптического сигнала. Проведен анализ для трех видов функции растривания, которые зависят от топологии электродов ЭРМС.

Выходные характеристики РОЭМС могут быть выражены через освещенность $E_{CB}(X,y)$ и интенсивность света в строке.

Важной характеристикой РОЭМС является светоотдача:

$$\rho(\vec{p},t) = \frac{F_{\text{вых}}}{F_0} = \frac{\iint E_{CB}(x,y) \cdot dx \cdot dy}{\iint E_O(x,y) \cdot dx \cdot dy} \quad (1),$$

где $F_{\text{вых}}$ - выходной световой поток шпирен - проектора при наличии визуализирующей диафрагмы (ВД); F_0 - световой поток шпирен - проектора в отсутствии ВД (в светлом поле); $E_f(x,y)$ - освещенность экрана в светлом поле; $\vec{p} = \vec{p}(d,l,\varepsilon_1,\varepsilon_2,\beta,U_0,U_1,G,\mu,f_i,D_k,l_{\text{uct}},r_{\text{од}},a,b,c\dots)$ - вектор параметров РОЭМС, где: d - толщина носителя записи; l - зазор; ε_1 - диэлектрическая постоянная гелеобразного слоя; ε_2 - диэлектрическая постоянная воздуха; β - пространственная частота входного электрического сигнала; U_0, U_1 - управляющие напряжения; G, μ - механические постоянные гелеобразного слоя; $f_i, D_k, l_{\text{uct}}, r_{\text{од}}$ - параметры цилиндрического шпирен - проектора, a, b, c - параметры растриванных электродов.

Для расчета характеристик РМС в установившемся режиме входной сигнал задается неизменной во времени функцией координаты X :

$$U(x) = U_0 + U_1 \cos \Omega x \quad (2).$$

Для трапецидальной растривающей функции (рис.3) ширина нечетных контрэлектродов a , ширина четных управляющих электродов b , промежутков между электродами c , период растра Δ_x . Считается, что в промежутках между электродами потенциал меняется монотонно (приближенно линейно).

С учетом дискретизации входного сигнала распределение управляющего потенциала в плоскости электродов можно представить в виде:

$$U(x) = d_n(0)U_0 + d_n(\Omega)U_1 \cos \Omega x + \sum_{n=1}^{\infty} 2U_0 d_n(n\omega_{0x}) \cos n\omega_{0x} x + \sum_{n=1}^{\infty} d_n(n\omega_{0x} + \Omega)U_1 \cos [(n\omega_{0x} + \Omega)x] + \sum_{n=1}^{\infty} d_n(n\omega_{0x} - \Omega)U_1 \cos [(n\omega_{0x} - \Omega)x] \quad (3),$$

где $\omega_{0x} = \frac{2\pi}{\Delta_x}$. Масштабные множители гармоник спектра вычисляются через параметры электродов по формуле:

$$d_n(n\omega_{0x}) = \frac{c+b}{\Delta_x} \cdot \frac{\sin 0,5n\omega_{0x}(c+b) \cdot \sin 0,5n\omega_{0x}c}{0,25n\omega_{0x}(c+b)n\omega_{0x}c} \quad (4).$$

После группировки членов ряда (3) в порядке возрастания частот получим распределение управляющего потенциала на верхней границе модулятора ($z=d+l$):

$$\varphi(x, y, z) = U(x) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_k \cos \beta_k x \quad (5)$$

где: β_k - пространственные частоты гармонических составляющих; U_0 - постоянная составляющая; U_k - амплитуды гармоник после их группировки и суммирования. При $z=0$, $\varphi(x,y)=0$. На границе раздела гелеобразного слоя и воздуха при $z=d$ выполняются граничные условия:

$$\varphi_1 = \varphi_2, \quad \varepsilon_1 \partial \varphi_1 / \partial z = \varepsilon_2 \partial \varphi_2 / \partial z \quad (6)$$

Решение уравнения Лапласа с граничными условиями (6) дает выражения для нормальных (E_{1N} , E_{2N}) и тангенциальных (I) составляющих электрического поля на границе раздела, содержащие суммы рядов гармонических составляющих, в которых пространственные частоты β_k не являются кратными в связи с дискретизацией модулированного пространственного сигнала.

Проведен анализ шумов дискретизации на выходе электростатического звена и показана целесообразность повышения частоты растривания $\omega_{\alpha} = \frac{2\pi}{\Delta_x}$ до значений $3 \cdot \Omega - 5 \cdot \Omega$.

Составляющие электрического поля создают плотность деформирующих сил, действующую на границе раздела "воздух - деформируемый слой" и связанную с напряжённостью электрического поля известным соотношением:

$$P_N(x) = \frac{\varepsilon_0 \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2} \cdot [E_{1N} \cdot E_{2N} + E_t^2] \quad (7).$$

Выведены формулы для гармонического синтеза деформирующих сил и рельефа поверхности деформируемого слоя. Этот этап преобразования для каждой составляющей амплитуды рельефа выражен следующим образом:

$$A_k(x,t) = \frac{P_{Nk}(x) \cdot F(\omega_k d)}{4 \cdot G \cdot \omega_k + \alpha(2\omega_k)^2 \cdot F(\omega_k d)} \cdot h_k(t) = P_{Nk}(x) \cdot K_p(\omega_k d) \cdot h_k(t) \quad (8).$$

Здесь $P_{Nk}(x)$ - плотность нормальных деформирующих сил k - составляющей с частотой ω_k ; $h_k(t) = 1 - \exp(-t/\tau_k)$ - временная переходная характеристика. Функции, связанные с механикой образования рельефа ($K_p(\omega_k d)$, $F(\omega_k d)$, τ_k), получены в работах Ю.П. Гушо.

В установившемся режиме рельеф поверхности выражается суммой ряда гармонических составляющих, в котором амплитуды, фазы и частоты рассчитываются по формулам и алгоритмам, полученным в диссертации:

$$A(x) = \sum_{k=1}^n A_k \cos(\omega_k x + \varphi_k) \quad (9).$$

Получены общие формулы для спектра оптической фазовой модуляции при освещении ЭРМС с рельефом (9) плоской волной монохроматического когерентного света, из которых для частного случая негармонического рельефа $A(x) = A_1 \cdot \cos \omega_1 x + A_2 \cdot \cos 2\omega_1 x$ получены аналитические формулы светоотдачи и распределения интенсивности визуализированного сигнала.

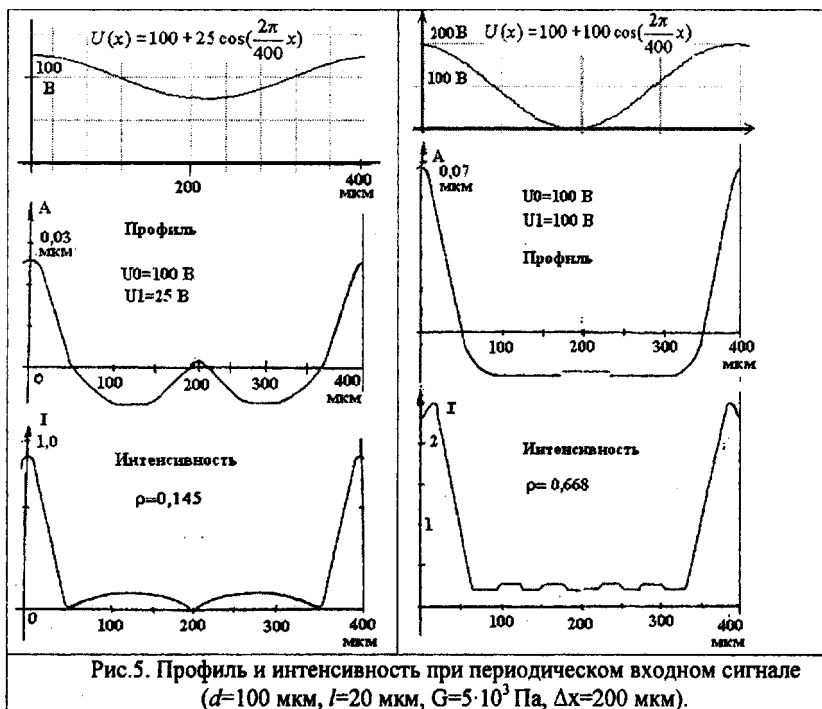
С использованием модели частотных свойств РОЭМС выполнен сквозной расчет частотно-контрастной характеристики в плоскости сжатия, что позволяет найти требуемую ширину световой строки по заданному значению нормированной ЧКХ $R_n(\frac{\omega}{V})$, размеру экрана $H_{\text{экp}}$, разрешающей способности N_{paz} и времени воспроизведения кадра T_k (здесь: ω - угловая частота временной модуляции сигнала, V - линейная скорость развертки строки).

Полученные формулы и алгоритмы были использованы для разработки программы численного моделирования и оптимизация РОЭМС на ЭВМ с учетом шумов дискретизации сигнала. В результате расчетов с учетом 60 гармонических составляющих управляющего потенциала получены профили рельефа, модуляционные характеристики, пространственно-частотные характеристики, светоотдача, контраст, распределение интенсивности света на экране и определены оптимальные значения вектора параметров ЭРМС.

В качестве примера на рис.5 показаны графики входного сигнала, профили рельефа и интенсивности света на экране.

Разработана теория расчета и оптимизации цилиндрического шлирен-проектора (рис.4). Для расчета оптимальных вариантов оптической схемы в плоскости сжатия, задаваясь некоторым вектором параметров

$\bar{P}' = \{D_1, D_2, D_3, D_4, f'_1, f'_3\}$, можно вычислить f_2 , удовлетворяющее условию сопряжения ЭРМС и экрана:



$$f'_2 = \frac{D_1 D_3 + D_2 D_3 (1 - \Phi_1 D_1) + D_1 D_4 \{ (1 - \Phi_3 D_3) [1 + D_2 D_2 (1 - \Phi_1 D_1)] \}}{D_1 + (D_2 + D_3)(1 - \Phi_1 D_1) + D_4 \{ (1 - \Phi_1 D_1) [1 - \Phi_3 (D_2 + D_3)] - \Phi_3 D_1 \}} \quad (10),$$

увеличение β_y :

$$\beta_y = A = 1 - \Phi_1 D_2 + D_3 [\Phi_2 + \Phi_1 (1 - \Phi_2 D_2)] - D_4 \{ \Phi_3 (1 - \Phi_1 D_2) + (1 - \Phi_3 D_3) [\Phi_2 + \Phi_1 (1 - \Phi_2 D_2)] \} \quad (11),$$

определяющую вертикальный размер сканирующего зеркала высоту луча в опорной плоскости ОП₁:

$$H_{4\max} = H_1 \{ 1 - \Phi_1 D_1 - D_3 [\Phi_2 + \Phi_1 (1 - \Phi_2 D_2)] \} + V_1 \{ D_1 + D_2 (1 - \Phi_1 D_1) - D_3 [\Phi_2 D_1 - (1 - \Phi_1 D_1)(1 - \Phi_2 D_2)] \} \quad (12)$$

и входные векторы $[H_{1max}, V_{1max}]$, определяющие светоэнергетические характеристики ЦШП. В этих формулах: $\Phi_1 = \frac{1}{f'_1}$; $\Phi_2 = \frac{1}{f'_2}$; $\Phi_3 = \frac{1}{f'_3}$, $D_1 - D_4$ - расстояния между элементами ЦШП.

В результате численных расчетов получены оптимальные оптические схемы ЦШП, имеющие малое увеличение в плоскости сжатия $|\beta_y| \leq 2$, линейный размер сканирующего зеркала не более 10 см, увеличение в плоскости визуализации $|\beta_x| \geq 20$, габаритный размер ЦШП до 1 м.

Проведен анализ и оптимизация потенциальных светоэнергетических характеристик цилиндрического шликрен-проектора. Показана целесообразность применения многоэлементных растровых осветителей, получены формулы для расчета выходного светового потока. Для схемы (рис.4) растровый источник шириной $B_{пу}$, расположенный на оси X_0 с яркостью элементарных источников L , скважностью расстановки t дает полный световой поток на выходе проектора:

$$\Phi_n = \frac{2L \cdot B_{пу} \cdot b_k \cdot H_3 \cdot A_{эн}}{D_4 \cdot N_y \cdot t \cdot (D_1 + D_7)} \cdot \rho \cdot \tau \quad (13),$$

где b_k - ширина кадра носителя, $2H_3$ - световой диаметр выходного объектива, $A_{эн}$ - полный размер экрана в плоскости YOZ; N_y - разрешающая способность проектора в плоскости сжатия, ρ - светоотдача, τ - пропускание оптических элементов проектора.

Потенциальное значение выходного светового потока ЦШП, использующего растр из 17 элементов на основе лампы ДРШ-100, составляет 168 лм.

Разработан по изобретению автора и рассчитан осветитель с зеркальным растром. Удельная светоотдача цилиндрического шликрен-проектора с лампой ДРШ-100 и зеркальным растровым осветителем составит 0,7 лм/вт, что превышает средние значения светоотдачи светоклапанных устройств. Световой поток на выходе увеличивается в 6,5 раз по сравнению с осветителем без растра.

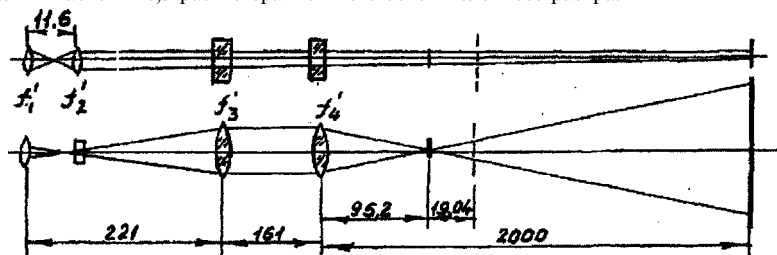


Рис.6. Полная оптическая схема монохромного канала лазерного проектора

Разработан по изобретениям автора лазерный рельефографический проектор с разрешением 600 x 600 элементов, размером экрана 1 x 1 м². Создана методика рас-

чета оптической схемы монохромного и цветного лазерного цилиндрического шлирен-проектора. Полная оптическая схема монохромного канала показана на рис. 6.

Для канала красного цвета ($\lambda = 0,63 \text{ мкм}$) параметры всех элементов оптической схемы: $f_1' = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $f_2' = 6,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $f_3' = 0,216 \text{ м}$, $f_4' = 9,52 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Как видно из рис.6 габаритная длина по оптической оси от объектива 1 до плоскости зеркал развертки составляет 496 мм.

Проведен расчет оптических элементов и светоэнергетических характеристик *цветного лазерного рельефографического проектора* с тремя РМС и оптическим сведением лучей на дихроичных зеркалах. Достоинством цветного лазерного рельефографического проектора является полное сведение цветов, простое устройство кадровой развертки, малые габаритные размеры, применение одинаковых модуляторов света в монохромных каналах.

Дано описание измерительной установки и результатов экспериментальных исследований характеристик ЭРМС. Определен экспериментально оптимальный набор параметров ЭРМС. Экспериментальные результаты исследования светоотдачи с точностью 10-20% совпадают с результатами численного моделирования.

Третья глава посвящена *разработке и исследованию путей создания линейного принтера с жидкокристаллическим модулятором света (ЖК - принтера)*, который должен иметь скорость печати не менее 6 страниц/мин, разрешение 12 точек/мм, ширину печати 210 мм, метод печати электрофотографический. Исходя из технических характеристик ЖК - принтера по быстродействию, сделано обоснование требований к оптической печатающей головке (ОПГ) и выбран тип жидкокристаллического материала: сегнетоэлектрический хиральный смектик-С* (далее ХСЖК). Проведено исследование принципов функционирования ОПГ на основе ХСЖК в ЖК - принтерах, определены целевые значения ОПГ по быстродействию, контрасту и управляющему напряжению. Разработаны и исследованы экспериментально ОПГ с разрешением 5 точек/мм, шириной печати 200 мм, количеством ЖК - ячеек (клапанов) 1000. Управление осуществлялось с использованием четырех гибридных интегральных микросборок, применяемых в термопечатающих головках и содержащих по 240 выходных ключей. Для трех ЖК - линеек были исследованы два режима прямого управления: «упругой раскрутки» и «вязкоупругой раскрутки с задержки в метастабильном раскрученном состоянии». Второй режим представляет наибольший интерес для ЖК -- принтера, так как в нем управляющие импульсы стирания и записи подаются только во время переключения, а в промежутке между импульсами клапан остается в бистабильном состоянии (открытом или закрытом) и возможна реализация *прямого управления бистабильным состоянием и мультиплексного управления*. Диаграмма прямого управления бистабильным состоянием и оптический отклик показаны на рис. 7. и рис.8.. В бистабильном состоянии напряжение на контрэлектроде $U_{кз} = U_1$, напряжение на управляющих электродах электродах $U_c = U_1$, напряжение на ЖК - ячейке $|U_c - U_{кз}| = 0$. Импульс стирания на контрэлектроде $U_{кз} = 2U_1$, импульс записи $U_{кз} = 0$. При записи сигнала «1» в ячейку

(включение) $U_c=U_1$. При записи сигнала «О» в ячейку (сохранение выключенного состояния) $U_c=0$. Как видно, в данном режиме управляющее напряжение $|U_c - U_{кз}| = U_1$ и ограничивалось допустимым значением напряжения ключевых транзисторов 15-20 В. Исползованный метод управления напряжением контрэлектрода, реализующий режим вязкоупругой раскрутки с запоминанием, позволил уже на первых ЖК - линейках получить оптимальную длительность переключающих импульсов $t_u^* = 1,5$ мс, минимальный цикл печати $T_u = 5$ мс, контраст 4-5. При прямом управлении ЖКМС без мультиплексирования скорость печати формата А4 с разрешением 5 точек/мм составит 6 страниц в минуту. Это типичная скорость для ЖК - принтера.

Проведен светознергетический расчет ЖК - принтера для трех типов проекционных систем (рис.9):

1. Проекционная система с одним линзовым широкоугольным объективом (типа ОР-000), полноформатным модулятором ($L=220$ ММ) И увеличением $\beta = -1$ на поверхности фоточувствительного барабана;

2. Проекционная система для составного блочного модулятора с N-объективами (типа объективов линейного магнитооптического принтера «Lisa») с увеличением $\beta = -1,2 \div -1,3$ и оптическим сложением строки на поверхности фоточувствительного барабана;

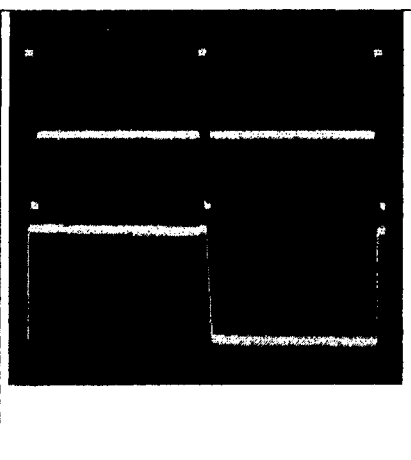
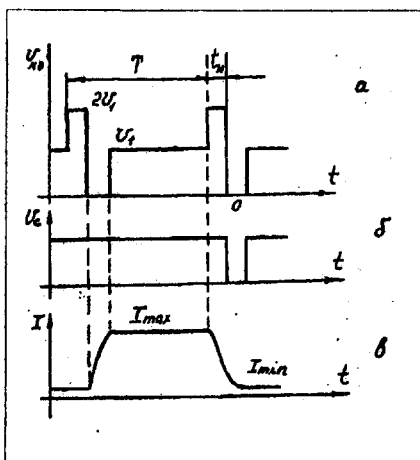


Рис. 7. Диаграммы прямого управления бистабильным состоянием

Рис.8. Оптический отклик ЖКМС «Линза б»(внизу) и управляющий сигнал: $U_m=30$ В, $T=20$ мс, $t_u = 2$ мс.

3. Проекционная система с градиентной оптикой в виде линейки градиентных линз (типа SLA-20) с увеличением $\beta = +1$, которая проектирует полноформатный ЖКМС на поверхность светочувствительного барабана.

Для проекционных систем с объективами в диссертации получена формула для расчета требуемой яркости на выходе ЖКМС:

$$L_{\text{жкмс}} = \frac{4H_{\text{max}}K^2(1-\beta)^2 \cdot V}{2y\tau|\beta| \cdot k_{\omega} \cos^4 \omega'} \quad (14),$$

где $L_{\text{жкмс}}$ - яркость на выходе щели ЖКМС; τ - коэффициент пропускания оптической проекционной системы; $K=f'/D$ - диафрагменное число; β - линейное увеличение проекционной системы; D - диаметр входного зрачка проекционного объектива; f' - фокусное расстояние проекционного объектива; k_{ω} - коэффициент виньетирования; $2y$ - вертикальный размер щели ЖКМС; V - линейная скорость электрографического цилиндра (ЭГЦ); $2\omega'$ - угловое поле в пространстве изображения. Значение H_{max} в формуле (14) является требуемой световой экспозицией светочувствительного ЭГЦ. В расчетах мы принимали с некоторым запасом $H_{\text{max}} = 3$ лк с.

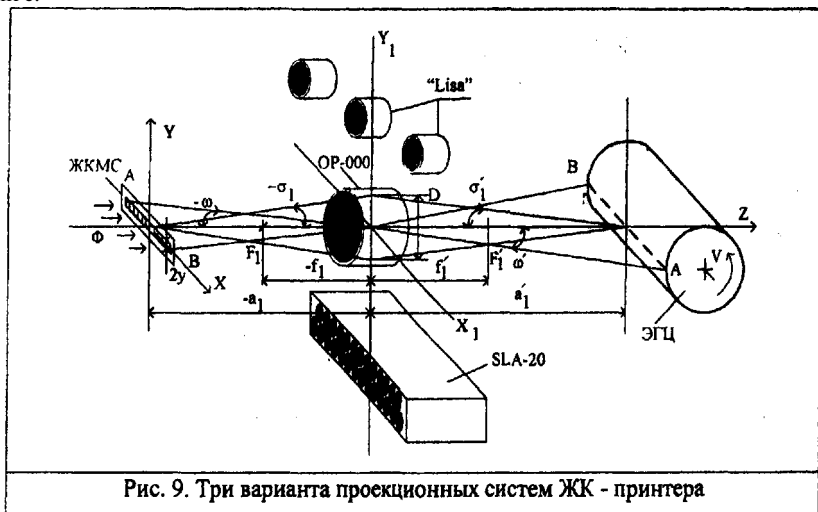


Рис. 9. Три варианта проекционных систем ЖК - принтера

В диссертации приведена также формула для требуемой яркости в проекционной системе с градиентной оптикой. Результаты расчетов для $2y = 0,2$ мм, $V = 100$ мм/сек показывают, что линейка градиентных стержневых линз SLA-20 со средним показателем преломления $n_0=1,64$, диаметром стержней $d=1,065$ мм; положительной градиентной константой $A=0,194$, длиной стержней 8,5 мм и расстоянием полного сопряжения $ТС=16,7$ мм является наиболее светосильной и обеспечивает наименьшую требуемую яркость на выходе ЖКМС $L_{\text{жкмс}}=6530$ кд/м². По сравнению с одним проекционным объективом OP-000 выигрыш составляет 38 раз.

Выполнен расчет двух типов осветительных систем для ЖК - принтера: осветитель с металлогалогенной лампой, эллипсоидным отражателем и волоконно-

оптическим преобразователем круг-линия; осветитель в виде трубчатой (обычно шелевой) флуоресцентной лампы (возможно, с дополнительной цилиндрической линзой). Показано, что второй тип осветителя требует применения проекционной градиентной оптики. Результаты расчета осветителя первого типа и проекционной системы с объективом ОР-000 были использованы при создании действующего макета ЖК - принтера, который был испытан в режиме регистрации.

На основе патента автора было разработано жидкокристаллическое устройство регистрации с мультиплексным управлением, в том числе: функциональная схема и принцип работы ЖК - принтера, топология электродов, алгоритм и диаграмма сигналов мультиплексного управления ЖКМС с коэффициентом мультиплексирования $1/4$, алгоритм пространственного сведения изображений ЖК - ячеек в одну линию на ЭГЦ. Состав ЖК - смеси для мультиплексного управления разработал сотрудник ФИАН им. П.Н. Лебедева Пожидаев Е.П.

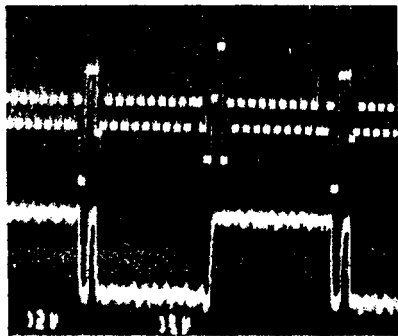


Рис.10. Диаграммы напряжения на ЖК - ячейке и оптического отклика

Были проведены экспериментальные исследования ЖК - ячеек в режиме мультиплексного управления. На рис. 10 показаны оциллограммы управляющих сигналов и оптический отклик ЖК - ячейки с толщиной слоя $d=3$ мкм при мультиплексном управлении с тактовым интервалом $t_0=120$ мкс, циклом печати $T_c=16 \cdot t_0=1.92$ мс. напряжении данных $U_d=\pm 5В$, напряжении сканирования $U_s=\pm 10В$.

ЖК -ячейки с толщиной слоя $d=3$ мкм обеспечивают хороший оптический отклик при мультиплексном управлении с тактовым интервалом $t_0=120$ и напряжении данных $U_d=\pm 5В$. В относительных единицах интенсивность света в закрытом состоянии $I_{\min} \approx 2$, в открытом состоянии $I_{\max} \approx 14$, размах амплитуды перекрестных помех $2I_n \approx 2$. Контраст составляет $K \approx 5-7$, отношение сигнал/шум $S/N=5-7$. Память бистабильного состояния составляет несколько миллисекунд. Эти характеристики подтверждают возможность реализации разработанного жидкокристаллического устройства регистрации и алгоритма мультиплексного управления, обеспечивающего разрешение 12 точек/мм и скорость печати до 10-12 страниц в минуту.

В четвертой главе представлены основные результаты, полученные автором, по разработке теории проектирования термографических видеопринтеров, методов исследования термочувствительных материалов и термопечатающих головок, принципов построения функциональных схем полутонных и цветных видеопринтеров. Эти работы получили развитие в создании автором с сотрудниками первых отечественных полутонных видеопринтеров и разработке эскизного проекта цветного термографического видеопринтера в ходе выполнения ОКР по теме «Цвет», включенной в 1992 году в Государственную программу «Применение перспективных информационных технологий в науке и технике».

Проведен анализ устройства и принципов работы монохромных термографических видеопринтеров (ТВП) с прямой термопечатью на термочувствительную бумагу и цветных термографических видеопринтеров (ЦТВП), использующих метод термопереноса сублимационного красителя (ТПСК). Видеопринтеры регистрируют телевизионные и цифровые компьютерные изображения. Показано, что в высококачественных ТВП и ЦТВП передача полутонов осуществляется ДМ-методом. В монохромных ТВП применяется специальная термохимическая бумага. В ЦТВП для создания цветного изображения применяется красящая пленка с сублимационными красителями составляющих субтрактивных цветов (СМУ или СМУК), которые под действием нагрева нагревательными элементами (НЭ) термопечатающей головки (ТПГ) сублимируются и вследствие диффузии в акцепторный слой приемного листа формируют изображение линии окрашенных точек с управляемой оптической плотностью. Наложение субтрактивных цветов создает полноцветные пиксели с количеством цветов до 16,7 миллионов без потери разрешения.

Разработана и представлена подробная классификация ТПГ по иерархии признаков, включающих способ печати (линейные ТПГ и последовательные ТПГ), способ управления (стандартные, интеллектуальные, полутоновые ТПГ), конструкцию НЭ (толстопленочные, тонкопленочные, с плоской лазерью, с частичной лазерью, с микролазерью, со спаренными электродами, с одиночными электродами, с угловыми электродами), скорость печати (медленная, средняя, высокая). Рассмотрены технические характеристики ТПГ различных классов от ведущих производителей (KYOCERA CORPORATION, ROHM ELECTRONICS).

Разработана теория цветообразования в термохимических бумагах и термосублимационных материалах. Для ТХБ получено уравнение для оптической плотности цветообразования:

$$D_G = (D_S - D_P) \left(1 - e^{-k_s \tau}\right) + D_P \quad (15),$$

в котором D_G - оптическая плотность серого поля, D_P - оптическая плотность бумажной основы, D_S - оптическая плотность насыщения, k_s - норма изменения цвета, связанная для фиксированного времени температурного воздействия τ с параметрами уравнения Аррениуса, следующим соотношением:

$$\ln \frac{D_S - D_G}{D_S - D_P} = -k_s \tau = -A \cdot \tau \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right) \quad (16).$$

Учитывая то, что для термохимических бумаг (ТХБ) точные значения энергии активации E_A , множителя A , температуры активации $T_A = E_A/k$ (k - постоянная Больцмана) неизвестны, в диссертации предложено вычислять эти параметры по двум значениям оптической плотности $D_{min} + 0,1$ и $D_{max} - 0,1$, полученным при температурах T_1 и T_2 и пользоваться экспериментальными зависимостями оптической плотности от управляемого параметра термопечати. Эти зависимости получают в результате сенситометрических испытаний ТХБ.

Процесс цветообразования в термосублимационных материалах включает три стадии: сублимацию красителя под действием локального нагрева от ТПГ с переходом в газообразное состояние; диффузию молекул красителя в воздушной прослойке между материалом - донором и материалом - акцептором; сорбцию красителя в приемный слой материала - акцептора после его прогрева и перехода в полуаморфное состояние.

Третья стадия процесса наиболее длительная и управляемая. Процесс одномерной диффузии описывается первым законом Фика: $j = D \frac{\partial C}{\partial x}$, где j - плотность потока молекул, D - коэффициент диффузии, C - концентрация молекул.

Изменение концентрации молекул во времени при одномерной диффузии определяется вторым законом Фика. При постоянном D уравнение диффузии Фика имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (17).$$

Причем температурная зависимость коэффициента диффузии:

$$D = D_0 e^{-E_A/kT} \quad (18),$$

где D_0 - постоянная величина в пределах температур, при которых происходит диффузия, E_A - энергия активации, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура диффузии по форме совпадает с уравнением Аррениуса (16).

Для расчета оптической плотности одного слоя сублимационного красителя получена формула:

$D_G = (D_S - D_P) \frac{N(t)}{N_S} + D_P$ (19), где $N(t)$ - количество красителя в приемном слое в результате диффузии за время t , N_S - количество красителя при насыщении. Для полноцветной печати в каждом пикселе последовательно наносят три или четыре слоя красителя основных цветов, действующих как наложенные друг на друга светофильтры. Отраженный свет в каждом пикселе может иметь до 16,7 млн. оттенков цвета. Причем, размеры каждого пикселя не превышают 125 x 125 мкм. Это вполне соответствует фотографическому качеству изображения.

Структура материалов для технологии ТПСК содержит до 10 различных слоев, причем детальная информация о теплофизических и химических свойствах термочувствительных материалов не сообщаются фирмами-производителями. Поэтому для разработки термографических монохромных и цветных видеопринтеров необходимо проведение экспериментальных сенситометрических исследований материалов для термографии. Эта научно-техническая задача впервые в России была решена автором.

Предложен ранее неизвестный способ сенситометрических испытаний термочувствительных материалов и получения температурной кривой чувствительности (зависимости оптической плотности от температуры при фиксированном времени воздействия) (ТКЧ) в динамическом режиме и специальный прибор - сенситометр термочувствительных материалов. Этот способ состоит в том, что нагретый до фиксированной температуры штамп прикладывают с заданным давлением к ТХБ, перемещаемой со скоростью V , причем ширина штампа L в направлении, перпендикулярном движению ТХБ, и скорость определяют время температурного воздействия (температурную экспозицию), которое может изменяться в широких пределах (от единиц миллисекунд до нескольких секунд). Сенситометр позволяет исследовать рулонные термосублимационные материалы. Форма ТКЧ показана на рис.11. Для количественной оценки результатов испытаний предложено использовать следующие сенситометрические параметры термочувствительных материалов: D_{max} -

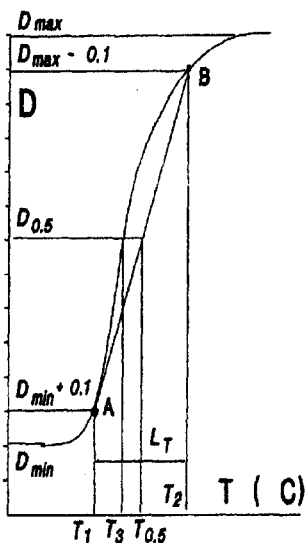


Рис.11. Температурная кривая чувствительности

оптическая плотность насыщения термобумаги, D_{MIN} - оптическая плотность фона (бумажной основы), $D_B = D_{MAX} - \Delta$ - оптическая плотность в верхней точки рабочего участка, $D_A = D_{MIN} + \Delta$, Δ - способность глаза различать оптические плотности (целесообразно принять $\Delta = 0,1$), T_1 - температура, соответствующая значению D_A , T_2 - температура, соответствующая значению D_B , $L_T = T_2 - T_1$ - полезный температурный интервал, $\bar{g} = \frac{D_B - D_A}{L_T}$ - средний градиент оптической плотности, $T_{0,5} = \frac{T_2 + T_1}{2}$ - середина температурного интервала, $D_{0,5} = \frac{D_{MAX} + D_{MIN}}{2}$ - оптическая плотность, соответствующая концентрации красителя, равной половине концен-

трации насыщения, T_3 - температура, соответствующая $D_{0,5}$ по температурной кривой

чувствительности.

Проведены сенситометрические испытания различных типов импортных и отечественных ТХБ, сравнение их сенситометрических параметров. Показано, что предложенная методика испытаний и состав сенситометрических параметров позволяют выполнять количественную оценку различных типов ТХБ, их идентификацию,

контролировать качество при разработке и производстве, определять требования к температурным режимам термопечати. Данные исследования были использованы российскими разработчиками ТХБ и ТПГ, а также автором при проектировании полутоновых видеопринтеров.

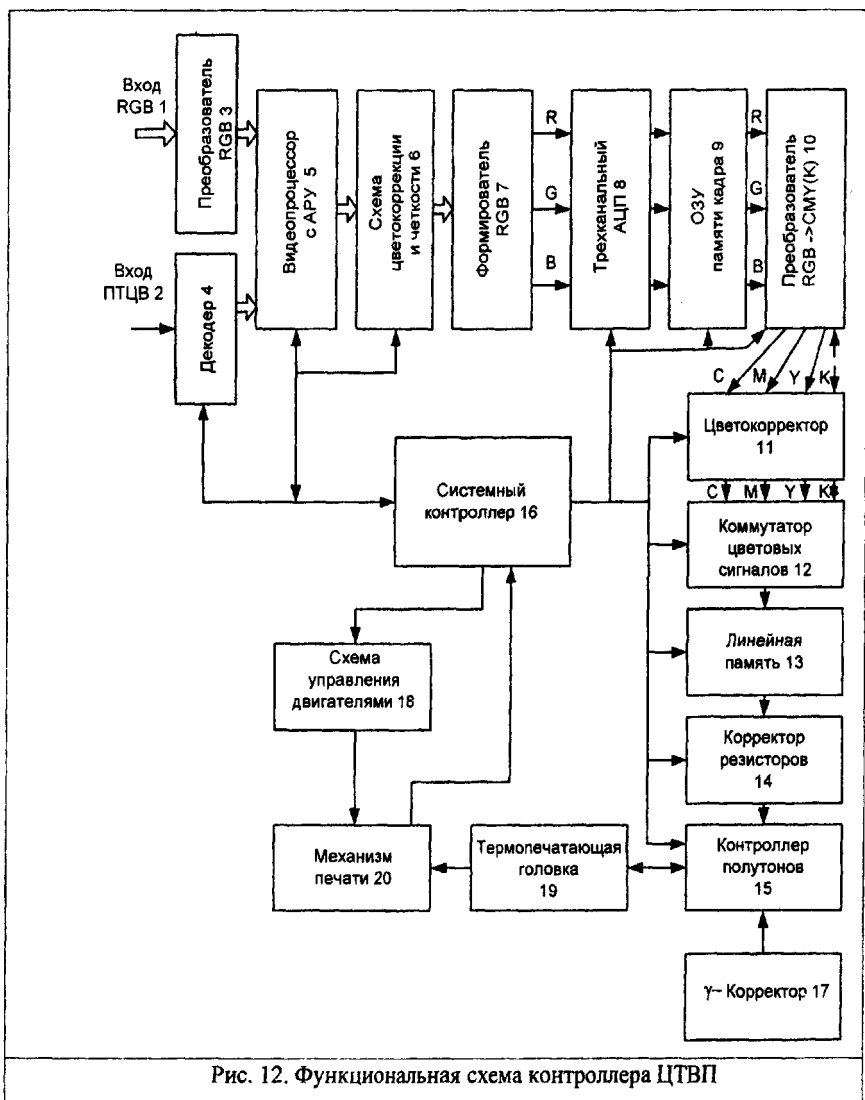
Динамическая чувствительность ТХБ (зависимость оптической плотности от энергии, приложенной к НЭ, для различных длительностей импульса тока) исследовалась разработанным блоком тестирования ТХБ и ТПГ. Испытания проведены для девяти типов ТХБ, отечественных ТПГ «Перкаль», разработанных в НПП «Пульсар», ТПГ KF1504-C1 (ROHM) и KST-107-6MPD1 (KYOCERA). Показано, что наибольшей крутизной характеристики динамической чувствительности обладают импортные термобумаги для факсимильных аппаратов. Полутоновые импортные термобумаги в сочетании с ТПГ для видеопринтеров имеют нелинейные монотонные графики динамической чувствительности в диапазоне энергий импульсов W от 0,20 до 0,35 мДж/точка с изменением оптической плотности D от 0,1 до 1,1 и существенной зависимостью от температуры ТПГ. Это потребовало разработки специальных алгоритмов полутоновой печати с температурной коррекцией. Динамические испытания опытных отечественных ТПГ выявили необходимость снижения сопротивления общих шин питания, разброса остаточных напряжений на кристаллах драйверов, улучшения теплоотвода ТПГ. Рекомендации были учтены в НПП «Пульсар».

Разработана электрическая и тепловая модель ТПГ для видеопринтеров. Ис-

пользуя градиент оптической плотности $\bar{g} = \frac{\Delta D}{\Delta P_{НЭ}}$ и допустимые отклонения $\left(\frac{\Delta D}{D_{сп}}\right) \approx 1 \pm 2\%$ – оптическая плотность серого поля, примерно равная 0,6), определены требования к ТПГ для видеопринтера: точность изготовления соседних резисторов не хуже 1% от среднего значения сопротивления; стабильности напряжения питания ТПГ $U_{н}$ и остаточных напряжений открытых ключей $U_{ост}$ не хуже 100 мВ. Включение различного количества нагревательных элементов должно учитываться в программе печати с целью коррекции длительности импульса печати для поддержания постоянной требуемой энергии в точке печати.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны функциональные схемы контроллеров ЦТВП (рис. 12) и монохромного ТВП. Дано описание принципов функционирования видеопринтеров. Для регистрации статических телевизионных изображений предложено и запатентовано несколько устройств, в которых реализован принцип преобразования строчной структуры изображения в столбцы записи. Причем цикл формирования столбца составляет не менее 20 мс и соответствует циклу печати стандартных ТПГ для видеопринтеров.

Важным блоком видеопринтеров является контроллер полутон 15, который формирует программу управления ТПГ для получения линейной градиационной характеристики печати полутоновой (или непрерывной при большом числе градаций) шкалы, выполняет температурную коррекцию программы печати, формирует команды для управления двигателями лентопротяжного механизма (ЛПМ). В разрабо-



В качестве термобумаги использовались синтетические ТХБ для видеопринтеров фирмы Mitsubishi SCT-K70S/70S и фирмы SONY - UPP-110S. Был разработан и реализован контроллер полутонов, имеющий 4 версии программ печати для каждой пары сочетаний ТПП-ТХБ. Методика составления алгоритма печати линейной градиционной шкалы основана на использовании динамических характеристик чувстви-

тельности сочетания ТПГ-ТХБ, снятых для нескольких температур нагрева теплоотвода ТПГ, учета реальной схемы и тепловой модели ТПГ, сенситометрических параметров. Разработка алгоритма включает следующие этапы:

1-й этап. *Экспериментальное исследование и анализ динамических характеристик сочетания ТПГ-ТХБ.* На реальном лентопротяжном механизме со штатной ТПГ KF1504-C1 (выбранной для видеопринтера) были проведены измерения динамической чувствительности ТХБ SCT-K70S/70S в диапазоне температур от 23°C до 50°C. ТПГ нагревалась внешним тепловым вентилятором. Температура теплоотвода измерялась контактным цифровым термометром. Графики динамической чувствительности показаны на рис. 13.

2-й этап. *Расчет длительностей импульсов печати градаций.* В каждом цикле печати полутонового столбца требуется предварительный подогрев ТПГ для выхода в точку А рабочего участка (рис.13). По графику $D_{25}(W,N)$ находим, что точке А соответствует энергия печати $W_{25}(A) = 0,19$ мДж/точка. Для ТПГ KF1504-C1 длительность импульса подогрева при температуре подложки ТПГ 25°C составляет 280 мкс. Расчет длительности импульсов печати основан на том, что для каждой градации суммарная энергия всех предшествующих импульсов и импульса печати очередной i -ой градации t_i должна на графике чувствительности $DT^\circ(W)$ для текущей температуры T° термоголовки соответствовать оптической плотности очередной градации на графике рабочего участка АВ. Рассчитанные длительности импульсов подогрева $t_{под}$ и импульсов печати градаций t_{0i} записываются в таблицу программы печати и температурной коррекции. По современной терминологии такая таблица называется LUT (Look-Up-Table) и является составной частью профиля видеопринтера.

3-й этап. *Экспериментальная печать линейной градационной шкалы.* С использованием LUT производится печать линейной градационной шкалы для различных значений внешней температуры. Экспериментальные образцы печати линейной градационной шкалы исследуются денситометром и строятся полученные градационные характеристики печати. Далее проводится уточнение программы печати с целью получения требуемой линейности характеристик и их стабильности при изменении температуры ТПГ.

В результате проведенных работ, была *создана программа печати*, которая обеспечивает хорошую линейность градационной шкалы на рабочем участке (отклонение от рабочего участка АВ не более 10%) и температурную стабильность печати в диапазоне температур 25°C±50°C. В диссертации приведены графики и образцы полутоновой печати линейной градационной шкалы.

Представлено обоснование *выбора способа реализации преобразователя цветов и цветокорректора ЦТВП.* Используя профиль калибровки цветного принтера, показано, что в функциональной схеме контроллера ЦТВП (рис.12) преобразователь RGB→СМУ(К) 10 должен включать в себя профиль калибровки входных сигналов с переходом в аппаратно-независимое промежуточное цветовое пространство CIE-XYZ, линейное матричное преобразование 3×3, одномерные табличные преобразования LUT, связанные с каждым каналом, многомерное LUT преобразование от CIE-XYZ к СМУК.

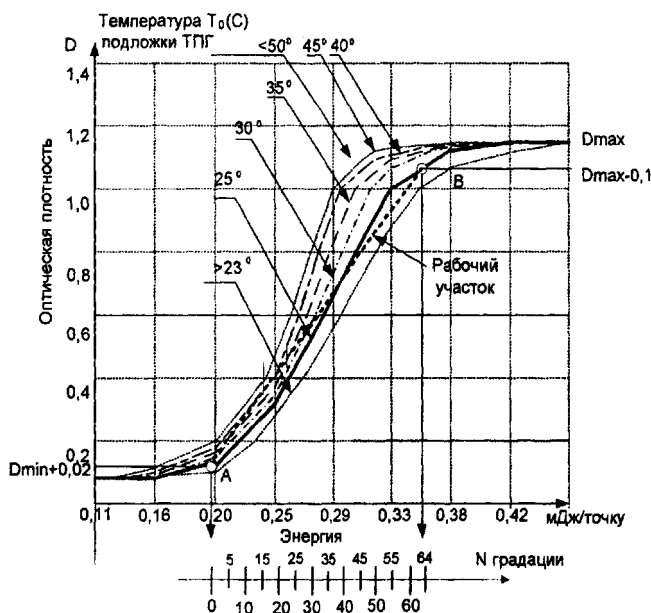


Рис. 13. Графики динамической чувствительности термобумаги SCT-K70S/70S при печати термоголовкой KF1504-C1.

Цветокорректор 11 ЦТВП должен включать в себя оконечные одномерные LUT, связанные с каждым выходным каналом и зависящие от динамической чувствительности сочетания термоголовки и термосублимационных материалов (пленки и основы). Причем, оконечные LUT могут меняться при смене материала.

Разработан и реализован лентопротяжный механизм для монохромных видеопринтеров. Проведен анализ конструкций механизмов ЦТВП.

В пятой главе: приведены наиболее важные результаты разработки, изготовления, исследования и испытаний экспериментальных макетов и опытных образцов устройств регистрации и отображения с линейной записью информации: рельефографических линейных проекторов и принтеров, электрографического модуля с жидкокристаллическим модулятором света, термографических видеопринтеров «ЭЛУР-ТВП-3» и «ЭЛУР-ТВП-4». Разработки проводились в ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также инициативных исследований и защищены многими авторскими свидетельствами СССР и патента-

ми РФ. Вклад автора диссертации состоит в изобретении новых устройств (в соавторстве и единолично), разработке теории проектирования, методов расчета, методик экспериментальных исследований, разработке принципиальных схем и эскизов конструкций экспериментальных установок и опытных образцов устройств, в руководстве их изготовлением, а также в составлении программ испытаний, экспериментальных исследований и анализе результатов.

На основе теоретических и экспериментальных исследований автором были разработаны и запатентованы более 20 наиболее важных рельефографических устройств регистрации и отображения с линейной записью информации, изготовлены более 10 действующих макетов и образцов рельефографических устройств отображения и регистрации информации, многие из которых демонстрировались на ВДНХ, автор награжден двумя серебряными медалями. Испытания макетов подтвердили разработанную теорию проектирования линейных рельефографических проекторов и принтеров.

Изготовлен и испытан экспериментальный макет ЖК - принтера, включающий ЖКМС, электрографический модуль, проекционную и осветительную систему, контроллер управления. Макет обеспечивал печать тестов с разрешением 5 точек/мм в соответствии с разрешением примененных образцов ЖК - линеек, скорость печати 6-7 страниц в минуту и контраст отпечатков не хуже 10. Испытания подтвердили теоретические принципы проектирования и реальную возможность создания действующего образца ЖК - принтера. Применение более быстродействующих жидкокристаллических материалов, исследованных в главе 3, и запатентованного автором ЖК - устройства с мультиплексным управлением позволит увеличить разрешение печати до 12 точек/мм.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных работ выполнена опытно-конструкторская разработка нескольких моделей монохромных полутонных термографических видеопринтеров «ЭЛУР-ТВП-2», «ЭЛУР-ТВП-3», «ЭЛУР-ТВП-4». Впервые в России видеопринтеры «ЭЛУР-ТВП-3» и «ЭЛУР-ТВП-4» выполняли термопечать 64 градаций линейной градационной шкалы с разрешением 600 x 800 пикселей и форматом печати 108 x 144 мм, имели хорошее качество печати статических телевизионных изображений. Видеопринтер «ЭЛУР-ТВП-4» получил несколько положительных заключений от ведущих медицинских центров России и был рекомендован к серийному производству.

Автор, являясь руководителем опытно-конструкторских работ по монохромному и цветному видеопринтеру, организовал производство опытной партии монохромных видеопринтеров (50 изделий) и разработал эскизный проект цветного видеопринтера. Проведены испытания цветной термосублимационной печати, подтвердившие теоретические положения по выбору режимов управления видеопринтером.

При разработке методов проектирования, экспериментальных макетов и опытных образцов устройств регистрации и отображения с линейной записью информации автор взаимодействовал со многими головными предприятиями и организациями страны и оказывал научно-техническое содействие в решении задач созда-

ния отечественных проекторов, принтеров, факсимильной аппаратуры гражданского и военного назначения.

В заключении рассмотрено современное состояние мирового производства устройств регистрации и отображения информации, дана оценка российского рынка и изложены основные результаты и выводы по работе в целом.

В приложениях к диссертации приведены технические характеристики оптических и термографических устройств регистрации, выводы некоторых формул и методики расчетов, документы о внедрении и наградах экспериментальных образцов, технические задания на ОКР «Кристалл» и «Цвет», заключения об испытаниях видеопринтера «ЭЛУР-ТВП-4», заключение об освоении Минздрава РФ и другие документы.

Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

По общим принципам функционирования УРОЛЗ:

1. Разработана классификация устройств регистрации и отображения с линейной записью информации и показано, что оптические и термографические УРОЛЗ относятся к современным наукоемким, высокотехнологическим изделиям, работающим в качестве периферийных устройств в вычислительных системах и комплексах, персональных компьютеров, мультимедийных средств отображения информации, высокоинформативных дисплеев и проекторов телевидения высокой четкости (HDTV), и включают в себя линейные принтеры (оптические рельефографические и ЖК - принтеры, термографические принтеры) и линейные проекторы (рельфографические проекторы с фазовыми модуляторами света (например, эластомерными и GLV-модуляторами света). Приведены технические характеристики различных классов УРОЛЗ и дано их сравнение.

2. Показано, что рельефографические устройства отображения и регистрации информации, использующие оптикоэлектромеханические модуляторы света на основе технологий GLV и GEMS, которые в настоящее время активно развиваются за рубежом, аналогичны по оптическому действию и методам управления рельефографическим устройствам, исследованным автором, а некоторые современные патенты США по GLV и GEMS устройствам являются аналогами более ранних изобретений автора.

3. Разработана классификация методов полутоновой печати в УРОЛЗ, проведено сравнение показателей качества этих методов и определена возможность и целесообразность их применение в различных классах УРОЛЗ.

4. Разработаны принципы формирования цветных изображений в УРОЛЗ и предложено несколько оригинальных цветных устройств регистрации и отображения с линейной записью информации, по которым получены авторские свидетельства.

По рельефографическим УРОЛЗ:

5. Разработана теория преобразования сигналов в рельефографических оптикоэлектромеханических системах (РОЭМС) с электродным управлением, выполнен сквозной расчет прохождения сигналов в РОЭМС с учетом пространственной дискретизации сигнала, нелинейных звеньев, шумов и искажений сигналов.

6. Создана математическая модель и программа для численного моделирования, позволившая вычислить параметры и форму рельефов, распределение интенсивности света в изображении, пространственно-частотные характеристики рельефа и светоотдачи, контраст и другие важные параметры РОЭМС, а также их зависимости от электромеханических характеристик носителя записи, конструктивных параметров модулятора света и оптической системы воспроизведения фазовой записи.

7. Разработана теория цилиндрического шлирен-проектора с тепловым источником света, предназначенного специально для воспроизведения рельефной записи в одномерных многоканальных РОЭМС. Проведена оптимизация оптической схемы проектора, определены конструктивные параметры основных элементов РОЭМС.

8. Проведен анализ потенциальных светоэнергетических характеристик ЦШП и определены пути увеличения выходного светового потока.

9. Разработаны и запатентованы несколько вариантов построения принципиальных схем цветных рельефографических проекторов с линейными РМС.

10. На основе изобретений автора разработан цилиндрический шлирен-проектор с лазерным источником света и проведен габаритный расчет в плоскости сжатия и визуализации.

11. Разработана принципиальная схема цветного рельефографического проектора с лазерными источниками света. Проведены габаритный и светоэнергетический расчет, определены параметры оптических элементов и оптической схемы для каждого цветного канала. Предложена оптическая схема сложения цветов и компоновка проектора с лазерными источниками.

12. На основе теоретических исследований разработаны и запатентованы более 20 наиболее важных рельефографических устройств регистрации и отображения с линейной записью информации. Общее количество изобретений автора по рельефографическим устройствам превышает 40.

13. Разработана измерительная установка и проведены экспериментальные исследования РМС. Определены основные характеристики и оптимальный набор параметров. Экспериментальные результаты исследования светоотдачи с точностью 10-20% совпадают с результатами численного моделирования.

14. На основе теоретических и экспериментальных исследований с использованием изобретений автора разработаны и изготовлены более 10 действующих макетов и образцов рельефографических устройств отображения и регистрации информации, многие из которых демонстрировались на ВДНХ, а два образца имеют награды.

Жидкокристаллическим принтерам:

15. Разработаны теоретические основы проектирования нового класса оптических линейных принтеров с многоканальными жидкокристаллическими модуляторами света (ЖК - принтеров).

16. Разработана конструкция оптоэлектронного модуля с платами управления, создана измерительная установка, проведены экспериментальные исследования нескольких ЖК - линеек, подтвердившие возможность их применения в принтере с электрографическим модулем.

17. Разработана методика светоэнергетических расчетов проекционных и осветительных систем ЖК - принтеров, выполнен расчет трех вариантов выполнения оптических систем, определены требования к экспериментальному макету ЖК - принтера, проведены испытания, подтвердившие теоретические принципы проектирования и реальную возможность создания действующего образца ЖК - принтера с разрешением 12 точек/мм и скоростью печати 6-7 страниц в минуту.

18. Разработано, запатентовано и исследовано жидкокристаллическое устройство регистрации информации с мультиплексным управлением. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие возможность реализации разработанного ЖК - устройства и алгоритма мультиплексного управления в опытных образцах ЖК - принтеров.

Потермографическим видеопринтерам:

19. Разработана теория проектирования термографических монохромных и цветных видеопринтеров, включающая в себя:

- классификацию термопечатающих головок и обоснование выбора ТПП для видеопринтеров;
- теорию цветообразования в прямой и термосублимационной термопечати;
- новый метод сенситометрических испытаний термочувствительных материалов;
- новый набор сенситометрических параметров для оценки качества термочувствительных материалов;
- электрическую и тепловую модель термопечатающей головки видеопринтера, позволяющие оценить требования к параметрам и качеству ТПП для видеопринтеров;
- теоретическое обоснование метода создания и реализации алгоритма печати линейной градационной шкалы.

20. Разработан и изготовлен новый прибор - сенситометр для исследования температурной чувствительности регистрирующих материалов. Проведены сенситометрические испытания различных типов ТХБ, проведено сравнение их сенситометрических параметров.

21. Проведены динамические испытания термопечатающих головок и сочетаний ТПП-ТХБ, предназначенных для применения в видеопринтерах. Выработаны рекомендации для разработчиков ТПП.

22. На основе разработанной теории проектирования видеопринтеров и проведенных сенситометрических и динамических испытаний разработаны и реализованы в видеопринтерах алгоритмы термопечати линейной градационной шкалы с температурной коррекцией.

23. Разработаны обоснования построения функциональных схем контроллеров монохромных и цветных видеопринтеров, контроллера полутонов, блоков преобразования цветов и цветокоррекции.

24. На основе проведенных теоретических и экспериментальных работ выполнена опытно-конструкторская разработка нескольких моделей монохромных полутоновых видеопринтеров «ЭЛУР-ТВП-2», «ЭЛУР-ТВП-3», «ЭЛУР-ТВП-4». Впервые в России видеопринтеры «ЭЛУР-ТВП-3» и «ЭЛУР-ТВП-4» выполняют термо-

печатать 64 градаций линейной градационной шкалы, имеют разрешение 600 x 800 точек, формат кадра 108 x 144 мм, хорошее качество печати статических телевизионных изображений. Видеопринтер «ЭЛУР-ТВП-4» получил несколько положительных заключений от ведущих медицинских центров России и был рекомендован к серийному производству.

25. Автор, являясь руководителем опытно-конструкторских работ по монохромному и цветному видеопринтеру, организовал производство опытной партии монохромных видеопринтеров (50 изделий) и разработал эскизный проект цветного видеопринтера.

Выполненные теоретические, экспериментальные и опытно-конструкторские работы по рельефографическим, жидкокристаллическим и термографическим устройствам регистрации и отображения с линейной записью информации дают новые научно-обоснованные технические решения, внедрение которых позволит разрабатывать и производить в России современные периферийные устройства компьютерной и телекоммуникационной техники, в частности, информационные широкоформатные дисплеи, проекторы телевизионных и мультимедийных изображений на большие экраны, электрографические принтеры монохромных и цветных изображений, цифровые фотопринтеры цветных изображений с оптическим выводом информации на фоточувствительные материалы, термографические монохромные и цветные видеопринтеры и фотопринтеры. В этом состоит вклад диссертационной работы в развитие экономики и повышение обороноспособности страны.

Основные публикации по теме диссертации

1. *Алехин В.А., Гуцо Ю.Л.* Расчет величины светоотдачи при воспроизведении рельефной записи шлирен-оптикой с круглыми диафрагмами//Оптика и спектроскопия, Т.43, N5, 1977, с.978-983.
2. *Алехин В.А., Гуцо Ю.Л.* Оптические характеристики систем фазовой рельефографии с регистрацией сигналов со стороны подложки //Оптика и спектроскопия, Т.52, N1.-1982.-С.103-107.
3. *V.A. Alekhin V., lu.P. Gooscho.* Theory of Cylindrical Schlieren-Projector Optimization//J.Signalaufz-Mater., 11.-1983.-2. p. 163-165.
4. *Алехин В.А., Гуцо Ю.Л.* Пространственно-частотная характеристика рельефографического процесса с учетом оптического воспроизведения//Журнал научн. и прикл.фотографии и кинематографии.- т.22, N4,1977.-С.286-289.
5. *Алехин В.А., Гуцо Ю.Л. и др.* Сенситометрические и частотные характеристики процесса записи сигналов на телеобразных деформируемых слоях и способы их измерения//Журнал научн.и прикл.фотографии и кинематографии.- т.26, N5.-1981.-с.360-361.
6. *Алехин В.А., Гуцо Ю.Л.* Расчет оптических параметров цилиндрического шлирен-проектора//Журнал "Оптико-механическая промышленность".-N7.-1985.-с.26-28.
7. *Алехин В.А.* Расчет характеристик многоканальных фазовых рельефографических модуляторов света// Автометрия.- N1.-1990.- с.38-43.
8. *Гуцо Ю.Л., Алехин В.А., Левицкая Е.А.* Рельфографическое проекционное устройство воспроизведения ТВ сигналов//Техника кино и телевидения, N11 1983.-с.41-45.

8. *Гуцо Ю.П., Алехин В.А., Левицкая Е.А.* Рельефографическое проекционное устройство воспроизведения ТВ сигналов/ЛГехника кино и телевидения, N11 1983.-с.41-45.
9. *Алехин В.А., Парамонов В.Д., Соколов ВТ.* Термографический видеопринтер// Приборы и системы управления, N7,1990, с.29-30.
10. *Алехин В.А., Парамонов В.Д.* Термографические видеопринтеры/УПриборы и системы управления, N8,1991, с.30-33.
11. *Алехин В.А., Кузнецов В.В., Парамонов В.Д.* Полутоновой термографический видеопринтер// Приборы и системы управления, N8,1992, с.38-39.
12. *Алехин В.А., Парамонов В.Д., Поликанов Ю.В.* Сенситометрические испытания термографических бумаг// Приборы и системы управления, N3,1992, с.41-44.
13. *Алехин В.А., Алеев О.Б., Левицкая Е.А., Пожидаев Е.Л., Сергеев А.А.* Состояние и перспективы разработки электрофотографических принтеров с жидкокристаллическими модуляторами света//ЖНИПФик. - 1992.-N5.
14. *Алехин В.А., Кузнецов В.В., Парамонов В.Д., Обыграйкин В.И.* Исследование жидкокристаллического модулятора света для электрофотографического принтера//ЖНИПФик.-1992.-N5.
15. *Алехин В.А. Алеев О.Б., Левицкая Е.А., Сергеев А.А.* Новые регистрирующие устройства с жидкокристаллическими модуляторами света//Вопросы кибернетики. Сборник научных трудов.-М: МИРЭА.-1991.-С.103-109.
16. *Алехин В.А., Алеев О.Б., Левицкая Е.А., Пожидаев Е.П., Сергеев А.А.* Состояние и перспективы развития электрофотографических принтеров с жидкокристаллическими модуляторами света// Тезисы доклада Международной конференции "Электрофотография 91".-М.: 1991.-С.168-174.
17. *Алехин В.А. Алеев О.Б., Сергеев А.А.* Оптоэлектронный модуль с ЖК-линейкой для электрофотографического принтера// Тезисы доклада Международной конференции "Электрофотография 9Г.-М.: 1991.- с.179-181.
18. *Алехин В.А., Кузнецов В.В., Парамонов В.Д., Обыграйкин В.И.* Исследование модулятора света на основе ЖК-линейки для электрофотографического принтера// Тезисы доклада Международной конференции "Электрофотография 9Г.-М.: 1991.- с. 182-184.
19. Патент на изобретение 2029329 РФ МКИ 6 G 02 F 1/13 Жидкокристаллическое устройство регистрации информации /*Алехин В.А.-№.* 5058700/25. Заявл. 10.08.92. Оpubл. 20.02.95.- Бюл. N5.-10 с.
20. Патент на изобретение 2054818 РФ МКИ 6 H 04 N 1/413 Устройство регистрации статических телевизионных изображений / *Алехин В.А., Кузнецов В.В., Парамонов В.Д.-№* 5057419/09. Заявл. 31.07.92. Оpubл. 20.02.96.-Бюл. N5.-18с.
21. А.с. 894792 СССР МКИ G 11 С 11/00, G 11 В 11/00. Матричный носитель информации / *Алехин В.А.-N** 2921564/18-24. Заявл.28.04.80. Оpubл. 30.12.81, Бюл. N48.-С.3.
22. А.с. 980150 СССР МКИ G 11 В 11/00. Матричное рельефографическое устройство для отображения информации /*Алехин В.А.-№* 3298884/18-10. Заявл. 01.04.81. Оpubл. 07.12.82, Бюл. N45.-С.2.
23. А.с. 894791 СССР МКИ G 11 С 11/00, G 11 В 11/18.Запоминающее устройство /*Алехин В.А.-№* 2919508/18-24. Заявл. 28.04.80. Оpubл. 30.12.81, Бюл. N48.-С.4.
24. А.с. 1688455 СССР МКИ Н 04 N 5/87. Устройство для записи информации на светочувствительный носитель / *Алехин В.А.-№* 4656398/09. Заявл. 27.02.89. Оpubл. 30.10.91, Бюл. N40.-С.4.
25. А.с. 1008696 СССР МКИ G 03 G 16/00. Устройство для рельефографического воспроизведения оптических изображений / *Алехин В.А.-№* 3270074/28-12. Заявл. 01.04.81. Оpubл. 30.03.83, Бюл. N12.-С.3.

26. А.с. 678519 СССР МКИ G 11 В 7/00. Устройство для оптической записи и воспроизведения / *Алехин В.А., Гуцко Ю.Л.* -№ 2511763/18-10. Заявл. 25.07.77. Оpubл. 05.08.79, Бюл. N29.-С.2.
27. А.с. 940220 СССР МКИ G 11 В 7/00. Устройство для рельефографического отображения информации/ *Алехин В.А.-Ш* 3221340/18-10. Заявл. 12.12.80. Оpubл. 30.06.82. Бюл. N24.-С.3.
28. А.с. 959031 СССР МКИ G 03 G 17/00, G 11 В 11/00. Рельфографическое устройство для записи информации на светочувствительном оконечном носителе/ *Алехин В.А., Гуцко Ю.П.* -№ 3209988/28-12. Заявл. 23.02.81. Оpubл. 15.09.82. Бюл. N34.-с.3.
29. А.с. 1075306 СССР МКИ G 11 В 7/06. Устройство для отображения информации / *Алехин В.А., Гуцко Ю.П., Соловьев П.Н.* -№ 3305707/18-24. Заявл. 17.06.81. Оpubл. 23.02.84, Бюл. N7.-С.3.
30. А.с. 1365120 СССР МКИ G 11 В 7/00. Устройство для отображения информации/ *Алехин В.А.* -№ 3926409/24-10. Заявл. 11.07.85. Оpubл. 07.01.88, Бюл. Ш-с.5.
31. А.с. 1277194 СССР МКИ G 03 G 11 В 7/00. Устройство для отображения информации / *Алехин В.А., Соловьев П.Н.* -№ 3926412/24-10. Заявл. 11.07.85. Оpubл. 15.12.86, Бюл. N46.-С.4.
32. А.с. 1080203 СССР МКИ G 11 В 7/00. Устройство для цветного отображения информации / *Алехин В.А., Гуцко Ю.Л., Зубков Н.Л.* -№ 3425584/28-12. Заявл. 13.04.82. Оpubл. 15.03.84, Бюл. N10.-С.5.
33. А.с. 1185386 СССР МКИ G 11 В 7/00. Устройство для цветного отображения информации/ *Алехин В.А.* -№ 3754644/24-10. Заявл. 13.06.84. Оpubл. 15.10.85. Бюл. N38.-С.4.
34. А.с. 1170499 СССР МКИ G 11 В 7/00. Многоцветное устройство для оптической записи и воспроизведения./ *Алехин В.А., Зубков Н.Л.* -№ 3694795/24-10 Заявл. 26.01.84. Оpubл. 30.07.85, Бюл. N28.-С.5.
35. А.с. 1575215 СССР МКИ G 06 К 15/00. Устройство для записи информации на светочувствительном носителе / *Алехин В.А.* -№ 4385186/24-24. Заявл. 29.02.88. Оpubл. 30.06.90, Бюл. N24.-С.4.
36. А.с. 1195386 СССР МКИ G 03 G 11 В 7/00. Устройство для цветного отображения информации./ *Алехин В.А.-У&* 3768608/24-10. Заявл. 10.07.84. Оpubл. 30.11.85, Бюл. N44.-С.3.
37. А.с. 1443014 СССР МКИ G 06 К 15/00. Устройство для записи информации на светочувствительный носитель / *Алехин В.А.* -№ 4239493/24-24. Заявл. 04.05.87. Оpubл. 07.12.88, Бюл. N45.-С.6.
38. А.с. 1146702 СССР МКИ G 06 К 9/24. Устройство для развертки оптического изображения / *Алехин В.А., Зубков Н.Л.* -№ 3442869/24-24. Заявл. 28.05.82. Оpubл. 23.93.85, Бюл. N11.-С.4.
39. А.с. 996988 СССР МКИ G 03 G 16/00. Устройство для записи и воспроизведения информации / *Алехин В.А.* -№ 3252800/28-12. Заявл. 13.02.81. Оpubл. 15.02.83, Бюл. N6.-С.3.
40. А.с. 1464128 СССР МКИ G 03 В 15/00. Способ записи информации на рельефографическом носителе / *Алехин В.А., Зубков Н.Л.* -№ 4183822/31-12. Заявл. 19.01.87. Оpubл. 07.03.89, Бюл. N9.-С.2.
41. А.с. 1205149 СССР МКИ G 06 F 13/00. Устройство для вывода информации / *Алехин В.А.* -№ 3754031/24/24. Заявл. 13.06.84. Оpubл. 15.01.86, Бюл. N2.-С.7.
42. А.с. 1520476 СССР МКИ G 03 G 17/00. Устройство для оптической записи информации / *Алехин В.А., Зубков Н.Л.* -№ 4402872/24-24. Заявл. 04.04.88. Оpubл. 07.11.89, ВКWI. N41.-С.4.

43. А.с. 1520474 СССР МКИ G 03 G 17/00. Устройство для записи информации на окончательном носителе / *Алехин В.А.*-№ 4239367/31-12. Заявл. 04.05.87. Оpubл. 07.11.89, Бюл. N41.-6с.
44. А.с. 1706059 СССР МКИ G 03 G 17/00. Устройство для записи телевизионного изображения / *Алехин В.А., Парамонов В.Д., Соколов ВТ.* -№ 4728664/09. Заявл. 07.08.89. Оpubл. 15.01.92, Бюл. N2.-С.3.
45. А.с. 1720168 СССР МКИ H 04 N 5/76, 5/84. Устройство для регистрации телевизионного изображения /*Алехин В.А., Евтихиев Н.Н., Парамонов В.Д.*-№ 4793805/09. Заявл. 14.12.89. Оpubл. 15.03.92, Бюл. N10.-С.5.
46. А.с. 1623877 СССР МКИ В 41 М 5/26. Термографический материал / *Алехин В.А.*-№ 4618920/12. Заявл. 21.11.88. Оpubл. 30.01.91, Бюл. N4.-С.2.
47. А.с. 1728981 СССР МКИ H 04 N 5/87. Устройство для регистрации телевизионных изображений/*Алехин В.А., Парамонов В.Д., Соколов ВТ.* -№ 4697377/09. Заявл. 28.05.89. Оpubл. 23.04.92, Бюл. N15.-С.3.
- 48. Алехин В.А., Парамонов В.Д., Поликанов Ю.В. Сенситометрические параметры термографических бумаг/ЛТезисы доклада III Всесоюзной НТК по гибридным технологиям.**-Ярославль, 1991.-с.87-88.
49. *Алехин В.А., Парамонов В.Д.* Термографический видеопринтер для медицинских приборов// Тезисы доклада III Всесоюзной конференции по диагностике сердечных заболеваний.-Львов, 1990.-с.3-4.
50. *Алехин В.А., Алехин Л.Г.* Механизмы цветных термографических видеопринтеров //Расчет механических узлов приборных устройств. Межвузовский сборник научных трудов, М.:МИРЭА, 1996, с.23-31.
51. *Алехин В.А.* Современные термопринтеры для скоростной печати//51 научно-техническая конференция МИРЭА, сборник трудов.-Москва,- 2002.- с.144-149.
- 52. Алехин В.А. Гуцко Ю.П. Зубков НЛ. Соловьев П.Н. Рельефографическое устройство оптической регистрации информации из ЭВМ// Тезисы доклада IV Всесоюзной конференции "Бессеребряные и необычные фотографические процессы".**- Суздаль-Черноголовка.-1984.-с.143-144.
53. *Алехин В.А. Гуцко Ю.П. Зубков НЛ.* Применение гелеобразных модуляторов света для ТВ проекции// Тезисы доклада IV Всесоюзной конференции "Бессеребряные и необычные фотографические процессы".- Суздаль-Черноголовка, 1984, Тезисы доклада, с. с. 145-147.
- 54. Гуцко Ю.Л., Алехин В.А., Гаврилов В.Н., Гусев ВВ., Мягков А.А. Экспериментальное исследование усиления яркости изображения в РЭОП с гелеобразным промежуточным носителем//Тезисы доклада Всесоюзной конференции «Процессы усиления в фотографических системах регистрации информации».**-Минск.-1981.-с.69-71.
55. *Алехин В.А. Гуцко Ю.П.* Новый способ создания оптических изображений в цилиндрическом шпирен-проекторе// Тезисы доклада Всесоюзной конференции "Оптическое изображение и регистрирующие среды". - Ленинград.-1982.- с.77.
56. *Алехин В.А.* Расчет и оптимизация светознергетических характеристик рельефографического проектора с тепловым источником света// Тезисы доклада I Всесоюзной конференции "Современное состояние и перспективы развития устройств ввода-вывода информации в САПР, АСУ...".- Орел.-1985.- с.134-135.
57. *Алехин В.А., Гуцко Ю.П. и др.* Цветное когерентное устройство вывода информации из ЭВМ на промежуточный носитель// Тезисы доклада II Всесоюзной конференции "Формирование оптического изображения и методы его обработки". - Кишинев.-1985.-с. 88.
- 58. Алехин В.А. Гуцко Ю.П., Зубков НЛ., Обьедков СИ. Рельефографический модулятор света с 128,256 и 512 параллельными входами// Тезисы доклада II Всесоюзной**

- конференции "Формирование оптического изображения и методы его обработки". - Кишинев.-1985.-с. с.91.
59. *Алехин В.А.* Шумы дискретизации в рельефографических модуляторах света// Тезисы доклада II Всесоюзной конференции "Формирование оптического изображения и методы его обработки".-Кишинев.-1985.- с. 95.
60. *Алехин В.А., Бернштейн В.М., Гуцо Ю.Л. и др.* Цветной лазерный рельефографический проектор//Тезисы доклада I Всесоюзнойконференции "Современное состояние и перспективы развития устройств ввода-вывода информации в САПР, АСУ...".- Орел, 1985.
61. *Алехин В.А.* Расчет и оптимизация светоэнергетических характеристик рельефографического проектора с тепловым источником света// Тезисы доклада I Всесоюзной конференции "Современное состояние и перспективы развития устройств ввода-вывода информации в САПР, АСУ...". Орел, 1985.
62. *Алехин В.А., Кузнецов ВВ., Парамонов В.Д.* Схемотехника термографических видеопринтеров//Научно-техническая конференция МИРЭА, сборник трудов, Москва, 1993г.
63. *Алехин В.А.* Термопечатающие головки для устройств регистрации информации//Приборы и системы управления.- №6.-1999.- с.55-59.
64. *Алехин В.А.* Термопечатающие модули для измерительных и медицинских приборов//Приборы.- №3.-1999.- с.52-53.
65. *Алехин В.А.* Термопечать приносит деньги российской электронике//Электронные компоненты.- №1.-2000.-С.46-50.
66. *Алехин В.А.* Применение термопечатающих устройств в информационных системах//Научно-практическая конференция "Современные информационные технологии в управлении и образовании", сборник трудов- Москва.-2001. - с.66-68.
67. *Алехин В.А., Антипов О.А., Вертинская О.Ю.* Формирование изображения в цветных термосублимационных принтерах//52 научно-техническая конференция МИРЭА, сборник трудов.- Москва.- 2003 г.- с.87-92.
68. *Алехин В.А.* Одномерные микрооптикоэлектромеханические системы и их применение в устройствах отображения и регистрации информации//Микросистемная техника, №11.- 2004.-с.2-7.
69. *Алехин В.А.* Современные микрооптические электромеханические системы с фазовой модуляцией света и их применение в телекоммуникационных и информационных системах //Материалы Международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» - INTER-MATC-2004.- М.: 2004.- с.109-112.
70. *Алехин В.А.* Микрооптикоэлектромеханические системы - новый этап развития рельефографии// 53-я Научно-техническая конференция МИРЭА, Сборник трудов, Москва, 2004 г.
71. *Алехин В.А.* Анализ состояния элементной базы и перспективных технологий электронных термопечатающих устройств//50 научно-техническая конференция МИРЭА, сборник трудов. -Москва.-2001.- с. 105-111.
72. *Алехин В.А., Антипов О.А., Вертинская О.Ю.* Механизмы печати цветных термосублимационных принтеров //52-я Научно-техническая конференция МИРЭА, Сборник трудов, Москва, 2003 г., с. 23-27.

Подписано в печать 12.01.2005! Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л.2,32. Усл. кр.-отт. 9,28. Уч.-изд. л. 2,5.
Тираж 100 экз. Заказ 14

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Московский государственный институт радиотехники,
электроники и автоматики (технический университет)"
119454, Москва, пр. Вернадского, 78

05.12 - 05.13

16 ФЕВ 2005