

2 - 493

На правах рукописи

ЧЕРНОВ Евгений Иванович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ
СИСТЕМ ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ ЧЕРНО-БЕЛЫХ И ЦВЕТНЫХ
ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ
МИКРОДЕНСИТОМЕТРОВ

Специальность: 05.13.06 - автоматизированные системы
переработки информации и управления

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Дубна - 1982

Работа выполнена в ордена Ленина Института физики Земли им. О.Д.Шмидта АН СССР.

Научные руководители: доктор технических наук
ГРИШИН М.П.,
кандидат технических наук
КУРБАНОВ Ш.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
ШГРАНИХ И.В.,
кандидат технических наук
СКРЫЛЬ И.И.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Государственный Оптический институт им. С.И.Вавилова

Автореферат разослан 22 марта 1982 г.

Защита диссертации состоится 22 апреля 1982 г.
в 10.30 часов на заседании Специализированного совета
Д047.01.04

при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ,
г.Дубна, Московской области.

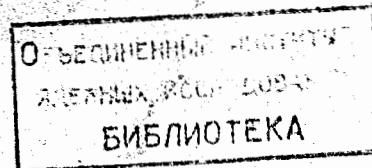
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических
наук

Иван З.М. ИВАНЧЕНКО

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Успешное решение многих задач в народном хозяйстве связано с созданием новых, прогрессивных методов исследования в науке и производстве. В этом отношении особую роль играют фотографические методы (фотометрия, микроскопия, спектроскопия и т.д.). Они находят широкое применение в ядерной физике, физике плазмы, газодинамике, биологии, медицине, астрономии и т.д. Прогресс в развитии науки и техники привел к резкому увеличению потоков информации в виде черно-белых и цветных полутонных фотоизображений. Оперативно и качественно обработать такое количество информации можно только с помощью современных ЭВМ. Для применения ЭВМ необходимо использовать устройства ввода изображений, к которым, в частности, относятся автоматические микроденситометры (АМД), осуществляющие прецизионное и широкодиапазонное измерение оптических параметров фотоизображений (оптические плотности D , коэффициенты пропускания τ). К АМД предъявляют высокие требования в части диапазона измерения D , разрешающей способности, точности и быстродействия. Следует отметить, что современные АМД не полностью удовлетворяют этим требованиям. Так, если современные ЭВМ имеют скорость ввода информации 10^4-10^6 байт/С, то быстродействие современных прецизионных и широкодиапазонных АМД составляет всего лишь $\sim 10^3$ измерений/С. Такое сравнительно низкое быстродействие АМД приводит к большим временным затратам (время на ввод изображения в ЭВМ может превышать 10 часов), а следовательно, и к значительной стоимости работ по обработке изображений на ЭВМ.



АМД в своем составе имеет: систему сканирования, систему сопряжения с БЕМ и систему фотометрирования. В последнее время достигнуты большие успехи в повышении быстродействия системы сканирования. Систему сопряжения всегда можно построить так, что она не будет ограничивать быстродействия АМД. Совсем иначе дело обстоит с системой фотометрирования. На сегодняшний день она главным образом и ограничивает быстродействие АМД. Следует также отметить, что в отечественной практике отсутствуют скоростные прецизионные системы фотометрирования цветных полутонных изображений. Из-за этого большой круг задач, имеющих важное народно-хозяйственное значение, практически не решается.

В результате возникла актуальная задача - разработка и исследование ряда скоростных, прецизионных, а также широкодиапазонных систем фотометрирования черно-белых и цветных полутонных изображений для АМД, обеспечивающих решение широкого круга задач. При этом необходимо, чтобы эти системы фотометрирования удовлетворяли следующим требованиям (в зависимости от их назначения и области применения АМД):

- обеспечение измерения D черно-белых изображений в широком диапазоне (3-4 D);
- обеспечение измерения зональных плотностей цветных изображений в диапазоне 2-2,5 D ;
- обеспечение малой погрешности измерения (среднеквадратическая погрешность не более 1%);
- обеспечение высокой разрешающей способности (50-200 лин/мм);

- обеспечение высокого быстродействия (не менее 10^4 измерений/С).

Разрабатываемые системы фотометрирования и их элементная база должны быть ориентированы на внедрение в серийное производство на отечественных предприятиях для использования в отечественных АМД различного назначения.

Главным критерием проверки правильности разработанных принципов и систем фотометрирования должно быть практическое их внедрение в разрабатываемые и выпускаемые отечественной промышленностью АМД.

Цель работы. Разработка и исследование ряда скоростных, прецизионных, широкодиапазонных систем фотометрирования черно-белых и цветных полутонных изображений для автоматических микроденситометров, применяемых в разных областях науки и техники.

Высокое пространственное разрешение обеспечивается главным образом оптической частью системы фотометрирования. Так как системы фотометрирования серийно выпускаемых АМД (например, АМД-1) обладают высоким пространственным разрешением (не менее 200 лин/мм), то их оптическая часть может быть использована и в новых разработках.

Обеспечение высокого быстродействия и высокой точности систем фотометрирования в широком диапазоне D определяется выбором необходимого типа источника света, фотоприемника, а также принципами автоматической компенсации возникающих в системах погрешностей. Отсюда возникают следующие задачи:

- разработка и исследование систем фотометрирования,

обеспечивающих точную автоматическую компенсацию погрешностей в измерении $D(\tau)$ полутоновых черно-белых и цветных изображений;

- разработка методики выбора фотоприемников, оптимальных в смысле минимума шумовых погрешностей в системах скоростного фотометрирования;

- разработка и исследование устройств, обеспечивающих эффективную стабилизацию светового потока источников света;

- разработка методики выбора оптимальных характеристик основных элементов систем фотометрирования цветных полутоновых изображений;

- создание на основании выбранных элементов систем фотометрирования черно-белых и цветных полутоновых изображений и их экспериментальное исследование.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и исследовании ряда (четырёх) скоростных, прецизионных и широкодиапазонных систем фотометрирования черно-белых и цветных полутоновых изображений для АМД различного назначения. Разработанные системы отличаются оригинальностью технических решений, используемых при их построении (получено 2 авторских свидетельства и 3 решения о выдаче авторских свидетельств).

Получены математические зависимости, удобные для инженерных расчетов, устанавливающие связь между характеристиками систем фотометрирования, параметрами фотоприемников типа фотодиод-операционный усилитель (ФД-ОУ), лавинный фотодиод-операционный усилитель (ЛФД-ОУ) и погрешностями системы в измерении

D, τ .

Разработан метод выбора оптимальных фотоприемников для систем фотометрирования. Получены выражения и определены значения параметров системы, при которых с точки зрения минимума среднеквадратической погрешности системы целесообразно использовать фотоприемники типа ФДУ, ФД-ОУ и ЛФД-ОУ.

Разработана методика выбора оптимальных характеристик основных элементов системы фотометрирования цветных полутоновых изображений (полосы пропускания электронных трактов системы, полосы пропускания светофильтров, соотношение диапазона выходного сигнала логарифмического усилителя и диапазона входного сигнала аналого-цифрового преобразователя).

Практическая ценность. Разработанные при определении участия автора 4 системы фотометрирования черно-белых и цветных полутоновых изображений позволяют создать АМД для решения широкого круга задач. Две из разработанных систем внедряются в АМД на Приборостроительном заводе им. Ф.Э.Дзержинского (г.Изма). Остальные две системы могут быть рекомендованы для внедрения в АМД повышенного быстродействия (50000+100000 измерений/С).

Применение разработанных принципов построения систем фотометрирования позволяет существенно снизить погрешности в измерении $D(\tau)$, обусловленные температурным дрейфом сигналов в электронных узлах, изменением чувствительности фотоприемников, флуктуацией световых потоков источников света.

Разработанные методики выбора оптимальных фотоприемников и характеристик основных элементов систем фотометрирова-

ния могут быть рекомендованы к применению при проектировании этих систем.

Полученные аналитические выражения, устанавливающие связь между параметрами систем фотометрирования, их погрешностями и характеристиками фотоприемников типа фотодиод-операционный усилитель и лавинный фотодиод-операционный усилитель, могут быть рекомендованы для оценки предельных параметров систем, использующих эти типы фотоприемников.

Апробация работы. Основные результаты диссертации изложены и обсуждены: на Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ", г.Новосибирск, 1981 г.; на Всесоюзной конференции "Автоматизированные системы обработки изображений", г.Москва, 1981 г.; на семинарах в Институте Физики Земли АН СССР.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, получено 5 авторских свидетельств и 3 решения о выдаче авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и общие задачи диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор и анализ систем фотометрирования для автоматической обработки на ЭВМ черно-белых и цветных полутоновых изображений.

На основании обзора и анализа некоторых задач по автоматической обработке на ЭВМ черно-белых и цветных полутоновых изображений сформулированы требования к устройству ввода изображений в ЭВМ. Для того, чтобы с их помощью можно было решать широкий круг задач, они должны обеспечивать измерение D черно-белых изображений в диапазонах 0-3Д, 0-4Д, измерение аналоговых плотностей цветных изображений в диапазонах 0-2Д, 0-2,5Д с высокой точностью (среднеквадратическая погрешность не более 1%) и высоким пространственным разрешением (50-200 лин/мм). Их быстродействие должно быть соизмеримо со скоростью ввода информации в современные ЭВМ. Анализ современных устройств ввода изображений в ЭВМ - автоматических микроденситометров - показал, что они не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Так, быстродействие широкодиапазонных автоматических микроденситометров (АМД) (например, Марк-6, АМД-1) составляет всего 10^3 измерений/С (скорость ввода информации в ЭВМ - $10^4 + 10^6$ байт/С).

Как известно, АМД состоит из системы сканирования, системы сопряжения с ЭВМ и системы фотометрирования. Анализ этих систем показал, что параметры АМД главным образом ограничивают систему фотометрирования. Для выяснения возможности существенного повышения скоростных и точностных характеристик систем фотометрирования (СФ), а также для определения структур их построения, наиболее пригодных для решения различных задач по обработке изображений, проведен обзор и анализ известных СФ. Установлено, что при использовании известных технических решений сложно обеспечить одновременно высокое быстродействие и

точность фотометрирования в широком диапазоне D . Также установлено, что в отечественной практике отсутствуют скоростные прецизионные СФ цветных полутонных изображений.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию скоростных, прецизионных и широкодиапазонных систем фотометрирования черно-белых полутонных изображений.

Проведен анализ работы скоростной системы фотометрирования, исследованы ее погрешности и характеристики. Выяснено, что основными погрешностями, ограничивающими точностные характеристики, являются: погрешности измерительного фотоприемника и погрешности логарифмического усилителя.

К фотоприемникам в скоростных прецизионных СФ предъявляют высокие требования в части инерционности (постоянная времени должна быть менее 10^{-5} с), линейности световой характеристики (нелинейность - не хуже 1%) в широком диапазоне входных световых потоков (не менее, чем в 4 порядках), стабильности световой характеристики, величины темного сигнала, а также чувствительности в видимой области спектра (400-700 нм). На основании анализа широкого класса фотоприемников были выбраны фотоприемники, которые могут подойти для скоростного, прецизионного и широкодиапазонного фотометрирования полутонных изображений. Это - фотоприемник на основе фотодиода и операционного усилителя (ФД-ОУ), фотоприемник на основе лавинного фотодиода и операционного усилителя (ЛФД-ОУ) и ФЭУ. Теоретическое и экспериментальное исследование этих фотоприемников показало следующее. Из-за шумового сигнала на выходе измерительного фотоприемника в СФ имеет место погрешности в измере-

нии D (τ), которые связаны с такими параметрами системы как величина D , площадь S и освещенность E растр-элемента на носителе изображения, полоса пропускания Δf электронного тракта системы. Для фотоприемников типа ФД-ОУ и ЛФД-ОУ получены математические зависимости, описывающие связь параметров СФ и характеристик фотоприемников со среднеквадратическим значением погрешности системы в измерении D , τ , обусловленной шумом фотоприемника. Зависимости оказались удобными для инженерных расчетов.

При использовании в системе фотометрирования фотоприемника типа ФД-ОУ среднеквадратическое значение шумовой погрешности равно:

$$\Delta D_{шФД} = (E_0 e) \cdot 10^{\frac{D}{2}} \left\{ \frac{2 \cdot q \cdot \Delta f}{E \cdot S \cdot g_{ФД}} \left[1 + \frac{2 \cdot 10^D}{q \cdot E \cdot S \cdot g_{ФД}} \left(1 + \frac{R_{oc}}{R_{п}} \right) \left[\frac{K \cdot T}{R_{oc}} + 4,93 \cdot \left(1 + \frac{R_{oc}}{R_{п}} \right) \cdot C_{пФД}^2 \cdot E(0) \cdot \Delta f \left(1 + 0,67 \frac{E_0}{E(0)} \Delta f + 1,6 \frac{E_0}{E(0)} \Delta f^{1/2} \right) \right] \right] \right\}^{1/2}$$

где q - заряд электрона, $g_{ФД}$ - интегральная чувствительность фотодиода, $C_{пФД}$ - значение емкости, приведенной ко входу ОУ, K - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, R_{oc} - сопротивление обратной связи фотоприемника, $R_{п}$ - параллельное соединение динамического сопротивления фотодиода и входного сопротивления ОУ, $E(0)$, E_0 - параметры, характеризующие спектральную плотность собственного приведенного ко входу операционного усилителя шумового напряжения.

На основании полученных зависимостей разработан метод

выбора оптимальных фотоприемников с точки зрения обеспечения минимума шумовой погрешности в СФ. Метод основан на сравнении среднеквадратических значений шумовых погрешностей систем, использующих разные типы фотоприемников. Получены выражения и определены значения параметров ($D_{max}, Af, E \cdot S$), при которых целесообразно использовать фотоприемники типа ФД-0У, ЛФД-0У и ФЭУ. Так, при использовании в СФ в качестве источника света ксеноновой лампы (ДКСШ-150), формирующей на растр-элементе ($S = 100 \text{ мм}^2$) световой поток порядка 10^{-3} Лм , и диапазоне измеряемой оптической плотности 0+4Д для Af не более 22,4 мГц оптимальным фотоприемником является ФД-0У, а свыше - ЛФД-0У.

Для СФ с ФД-0У характерны также погрешности, обусловленные дрейфом напряжения смещения 0У, для СФ с ЛФД-0У - погрешности из-за температурного дрейфа в фотоприемнике, из-за изменения коэффициента лавинного умножения ЛФД. Получены математические выражения, удобные для инженерных расчетов, устанавливающие связь между значениями названных погрешностей, параметрами системы и характеристиками фотоприемников типа ФД-0У и ЛФД-0У. Для СФ с ФЭУ характерны погрешности из-за обратимого изменения чувствительности фотоприемника. Все рассмотренные погрешности могут достигать больших величин (более 2,5%), что явно не удовлетворяет требованиям прецизионного фотометрирования.

На основании проведенного анализа систем фотометрирования разработана СФ с фотоприемниками типа ФД-0У. В этой СФ с высокой точностью устраняются погрешности, обусловленные температурным дрейфом напряжения смещения операционного усилителя

фотоприемника типа ФД-0У. Это обеспечивается за счет применения вспомогательного оптического канала с калиброванным оптическим ослабителем, дополнительного фотоэлектронного узла и узла компенсации дрейфа (получено решение о выдаче авторского свидетельства). Система фотометрирования внедряется в автоматических микроанситометрах на Приборостроительном заводе им. Ф.Э.Дзержинского (г.Изм) (параметры СФ приведены на стр.17).

Для решения проблемы скоростного ввода черно-белых полутоновых изображений в ЭВМ разработана импульсная СФ, в которой за счет применения дополнительного источника света, коммутаторов, интеграторов и схем сравнения с высокой точностью устраняются погрешности из-за изменения чувствительности фотоприемников (получено авторское свидетельство и решение о выдаче авторского свидетельства). Для обеспечения возможности работы СФ с источниками света в виде лазера (с целью повышения отношения сигнал/шум) разработаны два устройства стабилизации светового потока лазера (получено авторское свидетельство и решение о выдаче авторского свидетельства). СФ имеет следующие параметры: диапазон измерения оптической плотности 0+3Д, среднеквадратическая погрешность не более 1%, скорость фотометрирования 10^5 измерений/с, разрешающая способность не хуже 50 лин/мм. Эта СФ может быть рекомендована для использования в скоростных АМД, предназначенных для расшифровки полутоновых изображений в геологии, медицине и т.д..

Для устранения погрешности в СФ за счет обратимого изменения чувствительности ФЭУ при использовании непрерывного источника света разработана схема включения ФЭУ, которая исполь-

зована в разработанной нами СФ, выполненной с источником света в виде галогенной лампы накаливания. Эта СФ внедряется в АМД на Изюмском приборостроительном заводе в серийном производстве. Параметры СФ приведены на стр. 16.

Для СФ, использующих в измерительном канале фотоприемник типа ЛФД-0У разработано устройство стабилизации коэффициента умножения ЛФД. Оно обеспечило точность стабилизации коэффициента умножения ЛФД 0,5%, что вполне достаточно для прецизионных СФ. Это устройство использовано в разработанной нами СФ. Она обеспечила следующие параметры: диапазон измерения оптической плотности 0-4Д, среднеквадратическая погрешность не более 1%, скорость фотометрирования 50000 измерений/С. Эта СФ менее быстродействующая, чем разработанная нами импульсная СФ, но она проще по построению. Она может быть рекомендована для внедрения в скоростные АМД различного назначения.

Третья глава посвящена разработке и исследованию скоростных прецизионных систем фотометрирования цветных полутонных изображений.

Проведен анализ особенностей фотометрирования цветных полутонных изображений, зарегистрированных на прозрачных носителях. Цветные фотоматериалы обладают большой спектральной избирательностью, из-за чего при их фотометрировании требуется согласование спектрально-избирательных фотоприемников со спектральными характеристиками красителей и источников света. В отличие от фотометрирования черно-белых изображений при фотометрировании цветных изображений измеряется не один оптический параметр, а сразу три. Определена группа параметров, кото-

рые можно одновременно определять с высокой точностью и быстродействием. Это - зональные оптические плотности (зональные коэффициенты пропускания), измеряемые соответственно за синим, зеленым и красным светофильтрами, максимумы пропускания которых совпадают с максимумами поглощения красителей фотоматериала. Через эти параметры расчетным путем можно определять и другие параметры, характеризующие цветные изображения (координаты цвета, координаты цветности, поверхностные концентрации красителей и т.д.).

В главе рассматривается структура построения скоростной системы фотометрирования цветных полутонных изображений, анализируются погрешности фотометрирования цветных изображений. Показано, что при определении поверхностных концентраций красителей основными погрешностями СФ являются погрешности фотоприемников и погрешности из-за спектральной избирательности красителей. Получены математические зависимости, определяющие связь среднеквадратического значения шумовой погрешности системы с ее параметрами (величина зональной плотности, полоса пропускания электронных трактов, площадь и освещенность растр-элемента), параметрами светофильтра (полоса пропускания, пропускание на основной длине волны) и характеристиками фотоприемников типа фотодиод-операционный усилитель, лавинный фотодиод-операционный усилитель и ФУ. Получено выражение, позволяющее оценить погрешности системы, обусловленные спектральной избирательностью красителей. На основании полученных зависимостей разработана методика определения оптимальных характеристик основных элементов СФ (соотношение диапазона выходного

сигнала логарифмического усилителя и диапазона входного сигнала аналого-цифрового преобразователя, полоса пропускания светофильтров, полоса пропускания электронных трактов СФ). Эта методика позволяет также определить для системы фотоприемника, оптимальные в смысле обеспечения минимума среднеквадратической шумовой погрешности.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям двух из четырех разработанных при непосредственном участии автора СФ. Первая СФ черно-белых и цветных полутонных изображений выполнена с источником света в виде галогенной лампы, а вторая - с источником света в виде ксеноновой лампы. Фотоприемники и параметры систем выбраны на основании методик, разработанных во второй и третьей главах.

В СФ с галогенной лампой (НГМ-9-75) при работе с черно-белыми изображениями оптимальным фотоприемником измерительного канала является ФСУ. При работе с цветными изображениями в параллельном принципе цветоделения оптимальными фотоприемниками являются: ФДУ - в канале с синим светофильтром, ФД-ОУ - в каналах с зеленым и красным светофильтрами. Для снижения в СФ погрешностей из-за обратимого изменения чувствительности ФСУ применена разработанная нами схема включения этого фотоприемника. СФ обеспечила следующие параметры: диапазон измерения оптической плотности черно-белых изображений 0,4Д, среднеквадратическая погрешность не более 1%, погрешность из-за обратимого изменения чувствительности ФСУ не более 0,5%, скорость фотометрирования - 10^4 измерений/С, пространственное разрешение - не хуже 200 лин/мм, диапазон измерения зональных плот-

ностей цветных изображений - 0,2,5Д, скорость фотометрирования цветных изображений - 1400 измерений/С.

В СФ с ксеноновой лампой (ДКСШ-150) в качестве измерительного фотоприемника при работе с черно-белыми изображениями используется ФД-ОУ (оптимальный фотоприемник по шумовой погрешности), при работе с цветными изображениями в канале с синим светофильтром - ФДУ, а в каналах с зеленым и красным светофильтрами - ФД-ОУ. Для снижения в СФ погрешностей из-за температурного дрейфа выходного сигнала измерительного фотоприемника применен разработанный нами принцип автоматической компенсации этих погрешностей, для чего в СФ дополнительно введен вспомогательный оптический канал с калиброванным ослабителем, фотоэлектронный узел и узел компенсации дрейфа. Система обеспечила следующие параметры при фотометрировании черно-белых изображений: диапазон измерения оптической плотности - 0,4Д, скорость фотометрирования - 20000 измерений/С (это в 20 раз выше скорости фотометрирования серийно выпускаемых микроденситометров АМД-1, СССР и Мари-6, Англия), среднеквадратическая погрешность - не более 1%, температурная погрешность - менее 0,25%. При фотометрировании цветных изображений диапазон измерения зональных плотностей составляет - 0,2,5Д, скорость фотометрирования - 3000 измерений/С. Разрешающая способность - не хуже 200 лин/мм.

Рассмотренные СФ внедряются на Приборостроительном заводе им. С.Э.Дзержинского (г.Ижм) в АМД.

В главе рассмотрены также перспективы развития СФ. Отмечено, что при дальнейшем увеличении быстродействия АМД целе-

сообразно использовать разработанную нами импульсную СФ, а также СФ с фотоприёмником типа ЛФД-0У.

Основные результаты, полученные в диссертации

1. Решена актуальная задача создания ряда (4) скоростных, прецизионных и широкодиапазонных систем фотометрирования черно-белых и цветных полутоновых изображений для АМД. Две системы внедряются в АМД на Приборостроительном заводе им. Ф.Э. Дзержинского (г.Изм). Внедрение разработанных СФ позволяет резко ускорить обработку экспериментальной черно-белой и цветной полутоновой информации в различных областях науки и техники (геодезия, спектроскопия, биология, медицина, астрономия и т.д.).

2. Разработана СФ, использующая фотоприемники типа ФД-0У. Эта система выгодно отличается от известных СФ высокой точностью измерения D (практически полностью устраняется погрешности за счет температурного дрейфа в электронном тракте СФ), что обеспечивается за счет применения вспомогательного оптического канала с калиброванным ослабителем, дополнительного фотоэлектронного узла и узла компенсации дрейфа (получено решение о выдаче авторского свидетельства). При использовании в СФ ксеноновой лампы типа ДКСШ-150 она обеспечила следующие параметры: диапазон измерения оптической плотности черно-белых изображений - $0,4Д$, диапазон измерения зональных плотностей цветных изображений - $0,2,5Д$, среднеквадратическая погрешность не более 1%, скорость фотометрирования черно-белых изображений - 20000 измерений/С, скорость фотометрирования цветных изображений - 30000 измерений/С, разрешающая способность - не ху-

же 200 лин/мм. Система внедряется в АМД на Приборостроительном заводе им. Ф.Э.Дзержинского (г.Изм).

3. Для решения проблемы скоростного ввода черно-белых изображений в ЭВМ разработана импульсная СФ, в которой за счет применения дополнительного источника света, коммутаторов, интеграторов и схем сравнений с высокой точностью устраняются погрешности за счет изменения чувствительности фотоприемников (получено авторское свидетельство и решение о выдаче авторского свидетельства). Для обеспечения возможности работы системы с источником света в виде лазера (с целью повышения отношения сигнал/шум в СФ) разработаны и исследованы два устройства стабилизации лазерного излучения (получено авторское свидетельство и решение о выдаче авторского свидетельства). СФ при этом обеспечила следующие параметры: диапазон измерения оптической плотности - $0,3Д$, среднеквадратическая погрешность не более 1%, скорость фотометрирования 10^5 измерений/С, разрешающая способность не хуже 50 лин/мм. Эта СФ может быть рекомендована для использования в скоростных АМД, предназначенных для автоматической расшифровки черно-белых полутоновых изображений в геологии, медицине и т.д.

4. Для СФ, использующих в измерительном канале фотоприемник типа ЛФД-0У, разработано устройство стабилизации коэффициента лавинного умножения ЛФД. Оно обеспечило точность стабилизации коэффициента умножения ЛФД 0,5%. Была разработана СФ с фотоприемником типа ЛФД-0У, в которой использовано устройство стабилизации ЛФД. Система обеспечила следующие параметры: диапазон измерения оптической плотности - $0,4Д$, среднеквадра-

тическая погрешность не более 1%, скорость фотометрирования 50000 измерений/С. Эта СФ может быть рекомендована для внедрения в скоростные АМД широкого назначения.

5. Для устранения погрешности в СФ за счет обратимого изменения чувствительности ФЭУ при использовании непрерывного источника света разработан принцип включения ФЭУ, который был использован в разработанной нами СФ, выполненной с источником света в виде галогенной лампы накаливания. СФ обеспечила: диапазон измерения оптической плотности черно-белых изображений - 0,4Д, диапазон измерения зональных оптических плотностей цветных изображений - 0,2,5Д, среднеквадратическая погрешность не более 1%, скорость фотометрирования черно-белых изображений - 10000 измерений/С, скорость фотометрирования цветных изображений - 1400 измерений/С, разрешающая способность - не хуже 200 лин/мм. По структуре эта система проще разработанной нами СФ с фотоприемниками типа ФД-0У. Она также внедряется в АМД на Приборостроительном заводе им. Ф.Э.Дзержинского (г.Изма).

6. Получены математические зависимости, удобные для инженерных расчетов, устанавливающие связь между погрешностями измерения D и τ в СФ (погрешности за счет шумового сигнала на выходе фотоприемников типа ФД-0У и ЛФД-0У, температурного дрейфа, изменения коэффициента лавинного умножения в фотоприемнике типа ЛФД-0У) с параметрами системы (D , полоса пропускания электронного тракта, площадь растр-элемента).

7. Получены выражения и построены номограммы, позволяющие при заданных параметрах СФ (максимальная измеряемая оптическая плотность, полоса пропускания электронного тракта, ос-

вещность и площадь растр-элемента) определить оптимальный тип фотоприемника (из фотоприемников типа ФЭУ, ФД-0У и ЛФД-0У), обеспечивающего минимальное значение шумовой погрешности в системе, а также при уже выбранном фотоприемнике оценить предельные параметры СФ при заданном уровне шумовой погрешности.

8. Разработан метод выбора оптимальных характеристик основных элементов СФ цветных полутоновых изображений (полоса пропускания светофильтров, полоса пропускания электронных каналов, соотношение диапазона выходного сигнала логарифмического усилителя и диапазона входного сигнала аналого-цифрового преобразователя). Этот метод позволяет также определить оптимальные типы фотоприемников для СФ цветных изображений. Для СФ с параллельным принципом цветоделения и использовании источников света в виде галогенной и ксеноновой ламп оптимальными фотоприемниками оказались: для канала с синим светофильтром - ФЭУ, для каналов с зеленым и красным светофильтрами - ФД-0У.

Работы, положенные в основу диссертации

1. Чернов Е.И. Устройство для измерения коэффициента пропускания исследуемого объекта. Авторское свидетельство № 762015.
2. Чернов Е.И. Устройство для измерения коэффициента пропускания исследуемого объекта. Решение о выдаче авторского свидетельства от 15.10.1979г. по заявке № 2746882/18-24.
3. Гришин М.П., Курбанов Ш.М., Чернов Е.И. и др. Микроденситометр. Решение о выдаче авторского свидетельства от 18.8.1981г. по заявке № 3230319/25.
4. Чернов Е.И. Регулятор светового потока. Авторское свидетельство-

ство № 664311.

5. Чернов Е.И. Устройство для регулирования светового потока осветителя. Решение о выдаче авторского свидетельства от 12.04.1979г. по заявке № 2684178/18-24.
6. Гришин М.П., Курбанов Ш.М., Чернов Е.И. Устройство для измерения коэффициента пропускания. Авторское свидетельство № 868792.
7. Чернов Е.И., Камышев С.И. Устройство цифровой развертки для ЭЛТ. Авторское свидетельство СССР № 738191.
8. Чернов Е.И. Устройство для измерения оптической плотности изображения. Авторское свидетельство № 739578.
9. Гришин М.П., Чернов Е.И., Курбанов Ш.М., Афанасьева Т.А. Канал фотометрирования скоростного микроденситометра. - В кн.: Автоматизированные системы обработки изображений (АССМЗ-81): Тез. докл. Всесоюзной конф. М.: Наука; 1981г. - 123 с.
10. Чернов Е.И., Гришин М.П., Курбанов Ш.М. Метод сравнительного анализа фотоприемников для скоростного прецизионного фотометрирования полутоновых изображений. - М.: депонир. рукопись № 1954-81 ВИНТИ, 1981.
11. Гришин М.П., Курбанов Ш.М., Чернов Е.И., Афанасьева Т.А. Скоростная прецизионная система для фотометрирования черно-белых и цветных полутоновых изображений. - В кн.: Автоматизированные системы обработки изображений (АССМЗ-81): Тез. докл. Всесоюзной конф. М.: Наука, 1981. - 124 с.
12. Гришин М.П., Курбанов Ш.М., Чернов Е.И., Афанасьева Т.А. Скоростная прецизионная система фотометрирования для вво-

да полутоновых изображений в ЭВМ. - В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. :Тез. докл. Всесоюзной конф. Новосибирск, 1981. - 135 с.

13. Чернов Е.И., Гришин М.П., Курбанов Ш.М. Метод выбора оптимальной полосы пропускания светофильтров для систем скоростного и прецизионного фотометрирования. - В кн.: Автоматизированные системы обработки изображений (АССМЗ-81): Тез. докл. Всесоюзной конф. М.: Наука, 1981. - 149 с.
14. Гришин М.П., Чернов Е.И., Курбанов Ш.М. Исследование фотоприемного устройства на основе фотодиода и операционного усилителя для скоростного фотометрирования полутоновых изображений. - Оптико-механическая промышленность, № 1, 1982.