

К-93

73 3 23

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Курбанов Шамиль Магомедович

**СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ
ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ ВВОДА В ЭВМ**

05.12.08 - ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА И ПРИБОРЫ

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ДУБНА - 1975

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

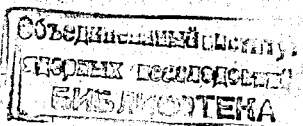
НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Курбанов Шамиль Магомедович

**СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ
ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ ВВОДА В ЭВМ**

05.12.08 - ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА И ПРИБОРЫ

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**



ДУБНА - 1975

Работа выполнена в Ордена Ленина Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР

Научный руководитель: кандидат технических наук
М. П. ГРИШИН

Официальные оппоненты: доктор технических наук
И. В. ШТРАНИХ
доктор физико-математических наук
профессор А. Н. ГОРБУНОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической и экспериментальной физики

Автореферат разослан "3" нояб 1975 г.

Защита диссертации состоится "11" сентяб 1975 г. на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
Канд. физ.-мат. наук -

Т. П. ПУЗЫНИНА

Пузынина

Современное развитие науки и техники характеризуется постоянным поиском новых и усовершенствованием и развитием традиционных экспериментальных методов исследования процессов и явлений. Среди них значительную роль играют методы, конечным результатом которых являются полутонные фотографические изображения. В настоящее время они интенсивно используются в таких областях, как гидро и газодинамика, кристаллография, исследования быстротекущих процессов, астрономия, медицина, спектроскопия, ядерная физика, физика плазмы, биология, космические исследования и многие другие.

Широкое распространение фотографических методов связано во-первых с исключительно высокой информативностью фотографических изображений, а во-вторых с отсутствием искажений, вносимых в исследуемую среду. В то же время преимуществом фотографических методов - их большая информационная емкость - в известной степени является и недостатком, т.к. обуславливает высокую трудоемкость расшифровки экспериментальных данных. В еще большей степени это относится к полутонным изображениям.

При использовании методов ручной обработки фотографических изображений расшифровка экспериментальных данных в требуемом объеме практически невозможна, вследствие чего обычно проводится только частичная или выборочная их обработка.

В связи с этим автоматизация обработки полутонных изображений является весьма актуальной задачей, поэтому в нашей стране и за рубежом проводятся работы в этом направлении. Так к настоящему времени разработан ряд устройств ввода изображений в ЭВМ таких, как устройство ввода ИАЭ СО АН СССР, Photoscan P-1000 (США), Mark-III (Великобритания) и др.

Автоматическая обработка фотографических изображений состоит из двух основных этапов:

1. Считывание информации с изображения и ввод ее в ЭВМ.
2. Математическая обработка на ЭВМ полученной информации.

Если математическая обработка проводится в каждом конкретном случае по специальным программам, определяемым спецификой решаемой задачи, то построение устройств ввода изображений в ЭВМ подчиняется некоторым общим принципам, которые определяются природой фотографического изображения [1-4].

Основными параметрами фотографического изображения являются оптическая плотность D и коэффициент пропускания τ .

В основу построения устройств ввода изображений в ЭВМ положен принцип поэлементного кодирования, в соответствии с которым функции $D(x, y)$ или $r(x, y)$, описывающие фотографическое изображение, подвергаются дискретизации, т.е. заменяются двумерной совокупностью отсчетов, снятых в отдельных точках плоскости изображения.

Устройства ввода изображений включают в себя следующие основные блоки:

1. Блок сканирования;

2. Фотометрическую систему, производящую измерение оптической плотности или коэффициента пропускания элементов изображения с преобразованием этих величин в цифровую форму;

3. Блок управления, в функции которого входит управление устройством ввода и передача информации, считанной с изображения, в оперативное запоминающее устройство ЭВМ или в устройство регистрации на промежуточный носитель.

Основными вопросами при разработке устройств ввода являются вопросы точности и скорости. Эти параметры в основном определяются характеристиками фотометрической системы и блока сканирования. Если сканирующие устройства в настоящее время разработаны и исследованы достаточно глубоко, то анализ и исследования фотометрических систем с целью улучшения их характеристик практически отсутствуют. Разработка автоматических устройств ввода полутоновых изображений в ЭВМ требует высокой точности фотометрирования для повышения объективности результатов обработки и достаточно высокой скорости измерений, удовлетворяющей современным требованиям вычислительной техники.

Целью настоящей работы является анализ систем фотометрирования для устройств ввода изображений в ЭВМ, а также разработка и реализация методов повышения их точности и стабильности при одновременном увеличении быстродействия.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, приложения и заключения.

Первая глава посвящена рассмотрению принципов построения и обзору систем фотометрирования с измерением коэффициента пропускания и оптической плотности, применяемых в существующих отечественных и зарубежных устройствах ввода изображений в ЭВМ. Основными параметрами фотометрических систем устройств ввода являются диапазон и скорость измерения, площадь фотометрируемого элемента изображения, погрешность измерения.

Для измерения параметров фотографического изображения обычно используются два метода: метод прямого отсчета и компенсационный метод [5]. В работе рассматриваются одно- и двухлучевые прямоотсчетные системы фотометрирования с измерением коэффициента пропускания и оптической плотности, а также система со стабилизацией анодного тока ФЭУ и проводится их сравнительная оценка. Наряду с прямоотсчетными системами рассмотрены различные варианты построения компенсационных систем и проводится их сравнение. Показано, что большая точность измерения достигается в системе с общим фотоэлектрическим преобразователем (ФЭП) для опорной и измерительной ветвей, в которой фотометрический клин располагается в измерительной ветви.

Вторая глава посвящена анализу прямоотсчетных систем фотометрирования и разработке на основе этого анализа методов повышения их точности и стабильности.

Основными узлами прямоотсчетной системы фотометрирования являются светооптический узел, фотоэлектрический преобразователь, усилитель, преобразователь $r \rightarrow D$ и АЦП.

Характеристиками светооптического узла, оказывающими влияние на точность

фотометрической системы, являются уровень и стабильность освещенности фотометрируемого образца, наличие постороннего и рассеянного света, частотно-пространственная характеристика, распределение освещенности внутри фотометрируемого элемента изображения. Анализ влияния этих факторов на точность измерения коэффициента пропускания и оптической плотности показал, что наибольшую погрешность вносит нестабильность уровня освещенности и ее неравномерность внутри фотометрируемого элемента. Эти погрешности определяются выражениями:

$$\Delta r_{\text{нс}} \approx r \frac{\Delta E_o}{E_o}; \quad \Delta D_{\text{нс}} \approx \frac{\Delta E_o}{E_o} l g e; \quad (1)$$

$$\Delta D_{\text{нр}} = -l g \frac{\int_S \int \frac{E_o(x, y)}{E_o} 10^{-D(x, y)} dx dy}{\int_S \int 10^{-D(x, y)} dx dy} \quad (2)$$

где: $\Delta r_{\text{нс}}$ и $\Delta D_{\text{нс}}$ - погрешности измерения коэффициента пропускания и оптической плотности, вызванные нестабильностью освещенности; E_o и ΔE_o - среднее значение освещенности и ее флуктуация; $D(x, y)$ и $E_o(x, y)$ - распределения оптической плотности и освещенности внутри фотометрируемого элемента изображения; $\Delta D_{\text{нр}}$ - погрешность измерения плотности, вызванная неравномерностью освещенности.

Кроме того показано, что на точность и стабильность прямоотсчетной системы оказывают влияние такие характеристики ФЭП, как нестабильность чувствительности, нелинейность световой характеристики, темновой ток, непостоянство чувствительности по площади фотокатода и проводится анализ и оценка погрешностей измерения, вызванных этими факторами.

Анализ влияния шумов электронного тракта системы на погрешность измерения коэффициента пропускания $\Delta r_{\text{ш}}$ и оптической плотности $\Delta D_{\text{ш}}$ показал, что среднеквадратичные значения этих погрешностей определяются как:

$$\sigma_{r_{\text{ш}}} = \sqrt{\frac{A r c N}{g^x E_o S}}; \quad \sigma_{D_{\text{ш}}} = 10^{D/2} \sqrt{\frac{A c N}{g^x E_o S}}; \quad (3)$$

где: g^x - чувствительность фотокатода ФЭП; S - площадь фотометрируемого элемента изображения; E_o - освещенность поверхности оригинала; $A = 2re$; e - заряд электрона; r - коэффициент избыточности шума; N - скорость измерения; c - коэффициент. Из (3) следует, что точность системы фотометрирования ограничивается ее быстродействием.

Таким образом прямоотсчетному методу измерения присущ ряд существенных

недостатков, заключающихся в зависимости стабильности и точности измерений от перечисленных выше факторов.

В работе рассматривается разработанный автором метод стабилизации прямоотсчетных систем, заключающийся в использовании двухлучевой схемы измерения с общим ФЭП для опорной и измерительной ветвей и временным разделением опорного и измерительного потоков, что достигается за счет включения в схему измерения оптического коммутатора специальной конструкции, а также электронной схемы, состоящей из дифференциального усилителя и схемы запоминания. При использовании этого метода стабилизации коррекция нестабильности системы производится периодически путем изменения напряжения, поступающего на вход суммирующего усилителя преобразователя $\tau \rightarrow D$ таким образом, чтобы выходной сигнал этого преобразователя при измерении нулевой плотности равнялся нулю. Для реализации такого метода стабилизации требуется логарифмический усилитель с динамическим диапазоном M , большим, чем диапазон измерения фотометрической системы. Требуемая величина M определяется выражением:

$$M \geq D_{\max} - D_{\min} + lg \frac{K_{\max}}{K_{\min}}; \quad (4)$$

где: D_{\max} и D_{\min} - диапазон измерения фотометрической системы; K_{\max} и K_{\min} - максимальное и минимальное значение коэффициента передачи цепи осветитель - ФЭП.

Запоминание сигнала, корректирующего нестабильность, может производиться как в аналоговой, так и в цифровой форме. Коррекция в цифровой форме имеет перед аналоговой то преимущество, что при ее использовании время запоминания может изменяться в любых пределах, тогда как в аналоговых схемах оно невелико и ограничено погрешностью запоминания.

Экспериментальное исследование фотометрической системы с коррекцией в цифровой форме и диапазоном измерения $2,0D$ показало, что введение коррекции снижает ее нестабильность более, чем в 10 раз, т.е. является высокоэффективным средством стабилизации подобных систем.

Дрейф усилителя и темновой ток ФЭП оказывают существенное влияние на точность прямоотсчетной системы фотометрирования, которое особенно велико при измерении больших оптических плотностей. В работе рассматривается предложенный автором метод компенсации этих факторов, состоящий в подаче на вход логарифмического усилителя (ЛУ) преобразователя $\tau \rightarrow D$ компенсирующего тока, величина которого периодически корректируется. Это достигается путем ввода в схему измерения оптического коммутатора, который с определенной частотой перекрывает измерительный световой поток. При этом на вход ЛУ подается опорный ток, а электронный узел системы автоматически устанавливает такую величину компенсирующего тока, при которой ЛУ снимается напряжение, соответствующее опорному току. Величина компенсирующего тока между периодами коррекции запоминается с помощью специальной схемы запоминания.

Экспериментальное исследование фотометрической системы с диапазоном измерения $3,0D$, в которой был использован предложенный метод компенсации дрейфа, показало, что он является достаточно эффективным и позволяет снизить погрешность измерения примерно в 6 раз.

Третья глава посвящена рассмотрению автоматического фотометрирования на основе компенсационного метода.

Проводится анализ следящей фотометрической системы, нашедшей применение в ряде приборов (МД-2, ИФО-451, Mark-III), показавший, что в ней практически исключается влияние на результат измерения оптической плотности таких факторов, как нестабильность светового потока осветителя, нестабильность чувствительности ФЭП, нелинейность световой характеристики и темновой ток ФЭП, нелинейность и дрейф усилителя. Это является существенным преимуществом компенсационных фотометрических систем по сравнению с прямоотсчетными.

Оценка погрешности измерения, а также анализ устойчивости и быстродействия следящей системы показали, что такие системы обладают принципиально низкими быстродействиями, не превышающим 2-3 изм/сек, что явно недостаточно для современных устройств ввода изображений в ЭВМ.

Значительное повышение быстродействия компенсационных фотометрических систем (более чем на два порядка) обеспечивает предложенный автором метод динамической компенсации [7, 6]. Этот метод заключается в периодическом сравнении измеряемой оптической плотности с эталонной плотностью, меняющейся по пилообразному закону, что достигается непрерывным вращением фотометрического клина. Фотометрическая система с динамической компенсацией строится по двухлучевой схеме. Момент компенсации, т.е. равенства сигналов опорной и измерительной ветвей, фиксируется нуль-органом. Угол поворота клина в момент компенсации пропорционален измеряемой оптической плотности, а преобразование результата измерения в цифровую форму производится датчиком углокод.

Одним из основных вопросов при разработке системы с динамической компенсацией является выбор соотношения между скоростью вращения фотометрического клина и частотой модуляции опорного и измерительного световых потоков f_M , которая определяется исходя из передаточной функции электронного тракта системы и допустимой величины пульсаций на выходе синхронного детектора. С фотоэлектрического преобразователя системы снимается экспоненциальный сигнал, при прохождении которого через электронный тракт происходит искажение его формы. Это может привести к погрешности измерения оптической плотности. Анализ этой погрешности для передаточной функции вида $W(s) = \frac{k}{Ts} + 1$ показал, что для того, чтобы указанная погрешность в диапазоне измерения $3,7D$ при использовании фотометрического клина с перепадом плотностей $4D$ не превышала $0,03D$ необходимо, чтобы выполнялось следующее соотношение между постоянной времени T и скоростью вращения фотометрического клина n : $T = 1/30n$. При этом для $n = 100$ об/сек частота модуляции должна быть равна приблизительно $6,5 \cdot 10^5$ гц. При таких частотах модуляции погрешность измерения оптической плотности, вызванная неточностью изготовления оптического модулятора, достигает значительных величин. Для исключения этой погрешности автором разработана схема измерения, при использовании которой частота прерывания световых потоков существенно снижена за счет того, что опорный поток поступает на ФЭП не постоянно, а один раз за оборот клина, а на остальную часть оборота запоминается с помощью аналоговой схемы запоминания и сравнивается с сигналом измерительной ветви.

Фотометрическая система с динамической компенсацией содержит ряд новых элементов: круговой фотометрический клин, датчик угла поворота, схему запоминания, нуль-орган, схему вычитания. Изготовление кругового фотометрического клина из нейтрального стекла с линейной зависимостью оптической плотности

от угла поворота связано с серьезными технологическими трудностями. Поэтому была разработана технология, при которой изготавливается клин с известной характеристикой нелинейности, а ее коррекция осуществляется датчиком угла поворота с обратной нелинейностью. Зависимость оптической плотности такого клина от угла поворота α определяется выражением:

$$D(\alpha) = k \operatorname{tg} \phi (R_0 - R_1 \cos \alpha) - 0,1 k^2 \operatorname{tg}^2 \phi [d^2 + \cos^2 \alpha (R^2 - d^2)] \quad (5)$$

где: k - коэффициент пропорциональности между толщиной клина и его плотностью; ϕ - угол наклона клина; l и d - размеры сечения светового пучка на поверхности клина; R - радиус клина; R_1 - радиус центра светового пучка. Из (5) видно, что $D(\alpha)$ включает в себя член, зависящий от размера светового пучка, что может привести к погрешности измерения ΔD , возникающей при изменении размеров фотометрируемого элемента изображения. Показано, что при $l, d \leq 12$ мм для клина с $R^2 = 100$ мм, $k \operatorname{tg} \phi = 2 \cdot 10^{-2}$, $R_1 = 75$ мм величина ΔD не превышает $5 \cdot 10^{-3}$.

В работе рассматривается датчик угла поворота и вырабатываются требования точности его изготовления, а также проводится анализ влияния погрешности схемы запоминания, схемы вычитания и нуля-органа на точность измерения оптической плотности, на основе которого вырабатываются требования к величинам этих погрешностей. Рассматривается разработанная автором аналоговая схема запоминания с обратной связью, построенная с использованием интегрального операционного усилителя и МОП - транзисторов, которая в режиме запоминания выполняет функцию схемы вычитания, что позволило существенно снизить погрешность измерения оптической плотности и требования к стабильности порога срабатывания нуля-органа.

В четвертой главе рассматриваются разработанные с участием автора устройства ввода изображений в ЭВМ "М-222" и "Минск-22", построенные на базе прямоотсчетной фотометрической системы [8, 9] и прецизионный автоматический микроденситометр с динамической компенсацией, управляемый от малой ЭВМ ("Электроника-100" или "М-400") [7].

Устройство ввода изображений представляет собой комплекс аппаратуры, предназначенный для автоматического ввода в ЭВМ информации с фотопленки 35 мм и фотобумаги (размеры изображения до 200 x 300 мм) и вывода результатов обработки изображений из ЭВМ на фотопленку, фотобумагу и электрохимическую бумагу (ЭХБ). Оно состоит из блока считывания с бумаги, блока считывания с фотопленки, блока воспроизведения на фотопленку и фотобумагу, блока воспроизведения на ЭХБ, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей.

Устройство построено на базе однолучевой прямоотсчетной фотометрической системы с измерением коэффициента пропускания и оптической плотности. Экспериментальная проверка этой системы показала, что она имеет следующие параметры: диапазон измерения - $0-2D$, линейность характеристики вход-выход - не хуже 3%, шумовую составляющую ошибку измерения - $0,02D$, скорость измерения - 2400 изм/сек, размеры элемента изображения - $0,2 \times 0,18$ мм (при вводе с бумаги) и 25×30 мкм (при вводе с фотопленки). Устройство обеспечивает ввод и вывод из ЭВМ изображений большого формата (до 10^6 элементов). Для записи введенной информации используется НМЛ ЭВМ.

Для прецизионной обработки фотографических изображений в виде фотопластинок и фотопленок был разработан автоматический микроденситометр с динамической компенсацией (АМД), управляемый от малой ЭВМ, который может найти широкое применение в астрономии, гидро-газодинамике, физике плазмы и других областях науки и техники.

АМД состоит из фотометрической системы, блока управления; блока сканирования, включающего в себя 2-х координатный стол-препаратоводитель, два шаговых привода по осям x и y , два датчика положения стола, и интерфейсного блока, с помощью которого осуществляется сопряжение микроденситометра с малой ЭВМ.

АМД построен на базе фотометрической системы с динамической компенсацией, обеспечивающей измерение оптической плотности в диапазоне $0-3,7D$ при минимальной площади фотометрируемого элемента изображения, равной 100 мкм^2 , и погрешности измерений 1% со скоростью 150 изм/сек. В работе рассматривается реализация этой системы и ее экспериментальное исследование, которое включало в себя проверку стабильности, определение погрешности измерения, вызванной шумами (повторяемости), оценку линейности характеристики вход-выход.

Сканирование изображений в АМД осуществляется с помощью шаговой следящей системы позиционирования с точностью не хуже ± 5 мкм при размере изображения до 180×250 мм. Для устранения автоколебаний в следящей системе используется двухскоростная диаграмма работы шаговых приводов стола - препаратоводителя. Максимальная скорость сканирования равна 4 мм/сек, а минимальная 0,3 мм/сек при шаге 1 мкм.

В приложении рассматриваются результаты проведенных с участием автора работ по автоматизации обработки на ЭВМ с помощью устройств ввода изображений экспериментальной полутоновой пленочной информации в виде электронных и интерферограмм, которые имеют самостоятельное значение [10-14]. Рассматриваются алгоритмы и программы расшифровки на ЭВМ подобной информации, показавшие высокую эффективность. Приводятся результаты обработки на ЭВМ реальных изображений, полученных на экспериментальных физических установках.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проведен анализ фотометрических систем устройств ввода изображений в ЭВМ, построенных по методу прямого отсчета. Рассмотрено влияние отдельных узлов системы на ее точность. Показано, что основными источниками погрешности измерения являются нестабильность светового потока источника света и чувствительности фотозлектрического преобразователя, дрейф усилителя, темновой ток ФЭП, утомление ФЭП.

2. На основе проведенного анализа предложен метод коррекции нестабильности светового потока источника света и чувствительности ФЭП с использованием временного разделения опорного и измерительного потоков и запоминанием уровня опорного сигнала на время рабочей стадии системы.

3. Предложен метод автоматической компенсации дрейфа усилителя и темнового тока ФЭП, заключающийся в подаче на вход системы компенсирующего тока, величина которого периодически корректируется.

Л И Т Е Р А Т У Р А

4. Проведено экспериментальное исследование прямоотсчетных фотометрических систем, в которых были использованы эти методы, показавшее, что их применение позволяет снизить нестабильность измерений оптической плотности приблизительно в 10 раз, а ее дрейф примерно в 6 раз.

5. Проведенный анализ компенсационных следящих фотометрических систем показал, что подобные системы имеют высокую стабильность и точность измерений, но обладают принципиально низким быстродействием (не превышающим нескольких измерений в секунду).

6. Исходя из проведенного анализа компенсационных систем, предложен метод динамической компенсации, позволяющий более чем на два порядка повысить быстродействие компенсационных фотометрических систем при сохранении высокого разрешения и точности измерения оптической плотности.

7. Проведено теоретическое исследование погрешности измерения и быстродействия фотометрической системы с динамической компенсацией, на основе которого, исходя из требуемой точности и скорости измерений, сформулированы требования к точности схемы запоминания, схемы вычитания и нуля-органа, к полосе частот электронного тракта системы. Разработана технология изготовления фотометрического клина из нейтрального стекла.

8. Разработана и реализована фотометрическая система с динамической компенсацией, а также проведена ее экспериментальная проверка, подтвердившая правильность проведенных расчетов.

9. На основе фотометрической системы с динамической компенсацией разработан прецизионный автоматический микроденситометр с управлением от малой ЭВМ ("Электроника-100" и "М-400"), который внедряется в производство.

10. Разработана прямоотсчетная фотометрическая система, на базе которой созданы и внедрены в ИАЭ АН СССР и ИППИ АН СССР устройства ввода изображений в ЭВМ "М-222" и "Минск-22".

11. Разработаны и реализованы алгоритмы автоматической обработки полутоновой пленочной информации в виде электронограмм и интерферограмм с помощью устройств ввода изображений в ЭВМ. Обработка на ЭВМ реальных изображений, полученных на экспериментальных физических установках, показала высокую эффективность разработанных алгоритмов и программ. В частности их использование в ИАЭ АН СССР позволило повысить производительность расшифровки интерференционных картин примерно на два порядка.

Основные результаты диссертации опубликованы в [2-4, 6-14] и докладывались на научной конференции МИФИ, на Всесоюзном совещании по диагностике высокотемпературной плазмы (Сухуми, 1970), на семинарах "Иконика" Института проблем передачи информации АН СССР, на Всесоюзном семинаре "Исследование прозрачных неоднородностей" (Москва ДНТП им. Ф. И. Дзержинского, 1972), на конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ" (Новосибирск, 1970, 1972, 1974).

1. Л. П. Ярославский. Устройства ввода-вывода изображений для цифровых вычислительных машин. М., "Энергия", 1968 г.
2. Ш. М. Курбанов и др. Автоматическая обработка оптической информации с применением ЭЦВМ. "Измерительная техника", 1970, № 10.
3. Ш. М. Курбанов и др. Автоматическая обработка графической информации с применением универсальных ЭВМ. М., "ЦНИИТТЭИПриборостроения", 1971.
4. Ш. М. Курбанов и др. Принципы построения устройств ввода изображений в ЭВМ. Тезисы докладов Всесоюзного семинара "Исследование прозрачных неоднородностей". Москва, ДНТП им. Дзержинского, 1975.
5. Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг. Общая сенситометрия. М., "Искусство", 1963.
6. М. П. Гришин, Ш. М. Курбанов и др. Быстродействующее устройство цифрового измерения оптической плотности для систем автоматического ввода изображений в ЭВМ. Материалы конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ", г. Новосибирск, 1974 г.
7. Ш. М. Курбанов и др. Автоматический цифровой микроденситометр. Решение о выдаче авторского свидетельства № 1931552, 1974 г.
8. Ш. М. Курбанов. Комплекс аппаратуры для автоматического ввода-вывода экспериментальной полутоновой информации в ЭВМ "Минск-22". "Автометрия", 1971, № 4.
9. Ш. М. Курбанов и др. Система воспроизведения изображений для ЦВМ "Минск-22". Материалы симпозиума "Разработка и использование дисплеев в научных исследованиях". г. Северодонецк, 1972.
10. М. П. Гришин, Ю. С. Ежов, Ш. М. Курбанов и др. Автоматическая обработка фотографических изображений дифракционных картин рассеяния электронов молекулами. Материалы конференций "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ", г. Новосибирск, 1974.
11. М. П. Гришин, Ш. М. Курбанов и др. Автоматическая обработка интерферограмм с помощью ЭВМ. Тезисы докладов III Всесоюзного совещания по диагностике высокотемпературной плазмы. г. Сухуми, 1970.
12. Ш. М. Курбанов и др. Автоматическая обработка интерферограмм на ЭВМ. "Автометрия", 1971, № 4.
13. Ш. М. Курбанов и др. Автоматическая обработка интерферограмм. Труды конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ". г. Новосибирск, 1972.
14. Ш. М. Курбанов и др. Некоторые вопросы расшифровки интерференционных картин с применением ЦВМ. "Журнал прикладной спектроскопии", 1974, т. 20, № 4.