

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Л-247

P10-88-9

Э.Д.Лапчик, В.А.Сенченко

ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА
СКАНИРУЮЩИХ АВТОМАТОВ НА ЭЛТ

Направлено в журнал "Автометрия"

1988

1. Введение .

При обработке фотоснимков с полутоновой информацией на сканирующих автоматах часто возникает задача согласования динамического диапазона видеотракта автомата с диапазоном оптической плотности (коэффициента пропускания) обрабатываемого снимка. В частности, это относится и к автоматам на ЭЛТ.

Независимо от того, имеет ли видеотракт амплитудную характеристику, близкую к линейной^{/1,2/} или логарифмической^{/3/}, его динамический диапазон может оказаться недостаточным. В этом случае имеется возможность расширить этот диапазон увеличением чувствительности сигнального ФЭУ. При этом каждому значению чувствительности будет соответствовать свой поддиапазон, а их переключение можно производить программным способом.

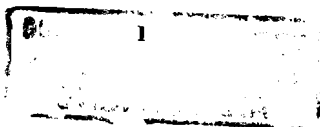
Возможность управления чувствительностью ФЭУ путем изменения напряжения на последнем диоде рассмотрена в^{/4/}, а ее реализация - в^{/1/}.

Практически неизбежное перекрытие поддиапазонов приводит к неоднозначности результатов измерений, что затрудняет их пересчет в значения оптической плотности или коэффициента пропускания фотоснимка. Эта трудность преодолевается предварительной калибровкой автомата по стандартному ступенчатому клину, применяемому в денситометрической аппаратуре.

В настоящей работе приводятся методика и результаты денситометрической калибровки сканирующего автомата АЭЛТ-2/160^{/2/} на линии с ЭВМ МERA - САМАС/SM 4А.

2. Методика калибровки

Особенности оптической схемы автомата АЭЛТ-2/160 и погрешности динамической коррекции формы пятна сканирующей ЭЛТ приводят к зависимости амплитуды видеосигнала от координат точки, в которой идет измерение, т.е. к пространственным амплитудным искажениям. Для последующей коррекции результатов амплитудных измерений эта зависимость строится по точкам, координаты которых имеют постоянный шаг вдоль



обеих осей координат. Измерения идут в отсутствие какого-либо фотоснимка в рабочем окне автомата. В результате получают значения аппликата в узловых точках некоторой поверхности, характеризующей оптические свойства автомата и качество настройки блока динамической коррекции. Узловыми точками служат координаты центров крестов калибровочной решетки, измеренные для калибровочных преобразований нелинейной системы координат автомата в прямоугольную декартову систему^{5/} и скорректированные по динамическим сдвигам^{6/}. Эти координаты вместе со служебной информацией хранятся на диске в файле ежедневной калибровки (условно DF1).

Массив аппликата, нормированный по максимальному значению, также записывается в файл DF1. На этом заканчивается первый этап калибровочных амплитудных измерений, результаты которых характеризуют свойства "прозрачности" измерительной системы автомата для световых импульсов сканирующей ЭЛТ.

На втором этапе измерения ведутся на ступенчатом клине, помещенном в центре рабочего окна автомата. Отметим, что в большинстве задач обработки полутоновых фотоизображений существенна контрастность их информативной части относительно фона (вуали), т.е. разность оптических плотностей (ОП) этих частей фотоизображений. Поэтому для лучшего согласования диапазона контрастности с динамическим диапазоном видеотракта автомат нуждается в предварительной настройке. При калибровке эта настройка проводится по первому полю ступенчатого клина, имеющему наименьшую ОП, подбором напряжения на сигнальном ФЭУ. Его чувствительность при этом устанавливается минимальной. Затем на каждом из 20 полей ступенчатого клина измеряются амплитуды сигналов, после чего чувствительность ФЭУ дискретно увеличивается, цикл измерений повторяется, и так до максимального значения чувствительности.

Поскольку чувствительность ФЭУ регулируется изменением напряжения на последнем диоде через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), в результате измерений получают аппликаты некоторой поверхности в координатах "оптическая плотность поля- код управления ФЭУ".

Полученный массив амплитуд, коды управления ФЭУ и денситометрические параметры ступенчатого клина вместе со служебной информацией записываются в файл ежедневной калибровки DF2. На этом калибровочные амплитудные измерения заканчиваются.

Согласно принятой математической модели денситометрической калибровки поверхность "прозрачности" $a(X, Y)$ аппроксимируется полиномом степени $N1$:

$$a(X, Y) = \sum_{k=0}^{N1} \sum_{i=0}^k c_l \cdot X^{k-i} \cdot Y^i, \quad (1)$$

где $l = 1 + \frac{k(k+1)}{2}$. Амплитуды $A_n(X_n, Y_n, D_n, C_m)$, измеренные на n -м поле ступенчатого клина ($n = 1, \dots, 20$), зависят от четырех переменных:

- координат точек поля X_n, Y_n ,
- оптической плотности поля D_n ,
- текущего значения кода управления ФЭУ C_m .

Для устранения зависимости от X_n, Y_n эти амплитуды корректируются:

$$A_n(D_n, C_m) = \frac{A_n(X_n, Y_n, D_n, C_m)}{a(X_n, Y_n)}, \quad (2)$$

после чего обновляются данные файла DF2. Считая скорректированные амплитуды и коды управления ФЭУ независимыми переменными, получим поверхность оптической плотности $d(A, C)$, заданную в узловых точках A_n, C_m аппликатами D_n . Назовем ее D -поверхностью. Она аппроксимируется полиномом степени $N2$:

$$d(A, C) = \sum_{k=0}^{N2} \sum_{i=0}^k b_l \cdot A^{k-i} \cdot C^i, \quad (3)$$

где $l = 1 + \frac{k(k+1)}{2}$.

Калибровочные коэффициенты c_l, b_l из (1), (3) рассчитываются по данным файлов DF1, DF2 с использованием быстрого алгоритма построения ортонормированных полиномов, разработанного в^{7/}. Результаты записываются в файлы CF1, CF2 соответственно.

Таким образом, при обработке снимков с полутоновой информацией результаты измерений амплитуд корректируются по (2) и затем пересчитываются в значения оптической плотности по (3) при данном значении кода управления чувствительностью ФЭУ. В случае, когда диапазон оптической плотности снимка укладывается в динамический диапазон видеотракта и не требуется пересчет результатов измерений в оптическую плотность, достаточно провести коррекцию по (2).

Калибровочные коэффициенты преобразования нелинейной системы координат автомата в прямоугольную декартову систему рассчитываются по данным файла DF1 и записываются в файл CF3. При этом в отличие от стандартной калибровки^{5/} расчет ведется по координатам, скорректированным на величину динамического сдвига^{6/}, поскольку при измерении амплитуды в точке этот сдвиг отсутствует.

Полученные коэффициенты не имеют прямого отношения к денситометрической калибровке, однако они необходимы для пересчета результатов обработки в идеальную систему координат.

3. Результаты калибровки

Перед калибровочными измерениями необходимо добиться максимального диапазона регулировки чувствительности ФЭУ и определить величину этого диапазона. Для этого управляющее напряжение ФЭУ-97, применяемого в АЭЛТ-2/160, подбиралось по диодным характеристикам, полученным при различных напряжениях питания и постоянном световом потоке.

В качестве примера на рис.1 приведены диодные характеристики для трех значений напряжения питания ФЭУ-97: 780, 740 и 700 В (графики 1,2,3 соответственно). По осям координат отложены код управления C_p и код амплитуды C_a (ЦАП управления ФЭУ и АЦП измерительного канала восьмиразрядные).

Диапазон регулировки, измеренный по кодам амплитуд, составил 25,2, 27,1 и 30,9 дБ для графиков 1,2,3 соответственно. Напряжение на последнем диоде ФЭУ-97 изменялось от 7,5 В ($C_p=0$) до -2,5 В ($C_p=255$), что соответствует минимальной и максимальной чувствительности ФЭУ. В дальнейшем измерения велись при напряжении 780 В.

Для практического применения диодные характеристики аппроксимируются параболой. При этом остаточная среднеквадратичная ошибка (с.к.о.) не превышает двух единиц кода амплитуды.

Необходимо было также проверить качество ступенчатого клина как эталона оптической плотности, измеряемой при малых апертурах (диаметр пятна сканирующей ЭЛТ около 20 мкм). Для этого сначала была получена оценка средних значений и дисперсий измерения амплитуд на АЭЛТ-2/160 во всем диапазоне изменения чувствительности ФЭУ. Оценка проводилась в сериях из 256 измерений по той же программе, что и измерения на ступенчатом клине, но без него. Результаты представлены на рис.2, где по осям координат отложены код амплитуд C_a и отношение S/N (в децибелах) среднего значения измеренных амплитуд к их с.к.о. Графики 1,2 показывают изменение верхней и нижней границ этого отношения соответственно.

Затем ступенчатый клин помещался в рабочее окно автомата, и измерения повторялись. При анализе результатов заметного уменьшения величины S/N обнаружено не было, что свидетельствует о возможности применения стандартного ступенчатого клина для денситометрической калибровки автоматов типа АЭЛТ-2/160.

Первый этап калибровочных измерений проводился на рабочем поле $72 \times 114 \text{ мм}^2$ в $13 \times 20 = 260$ узловых точках, расположенных равномерно с шагом 6 мм по обеим осям координат. В каждой точке вычислялось среднее по 64 измерениям амплитуды, и затем нормированием по максимальному значению были найдены аппликаты поверхности "прозрачности" в этих точках.

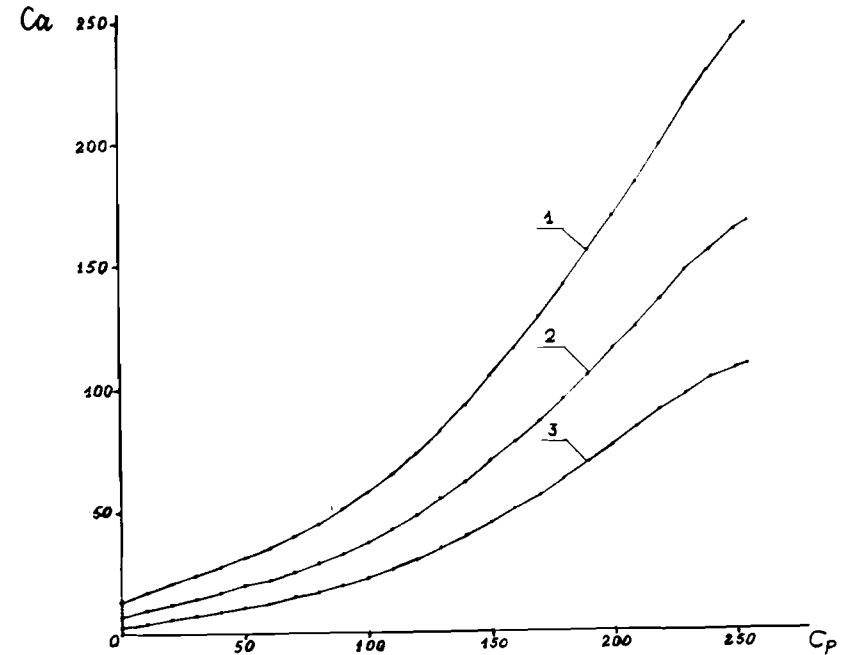


Рис.1. Диодные характеристики ФЭУ-97

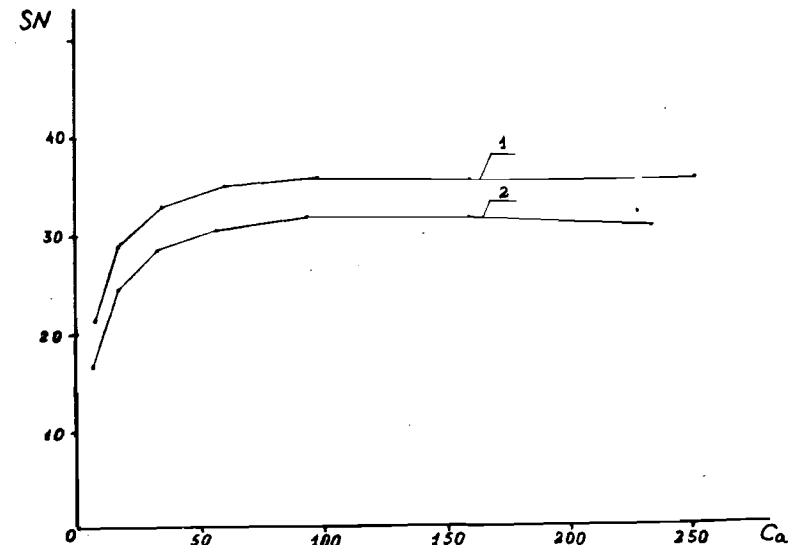


Рис.2. Погрешности измерения амплитуды

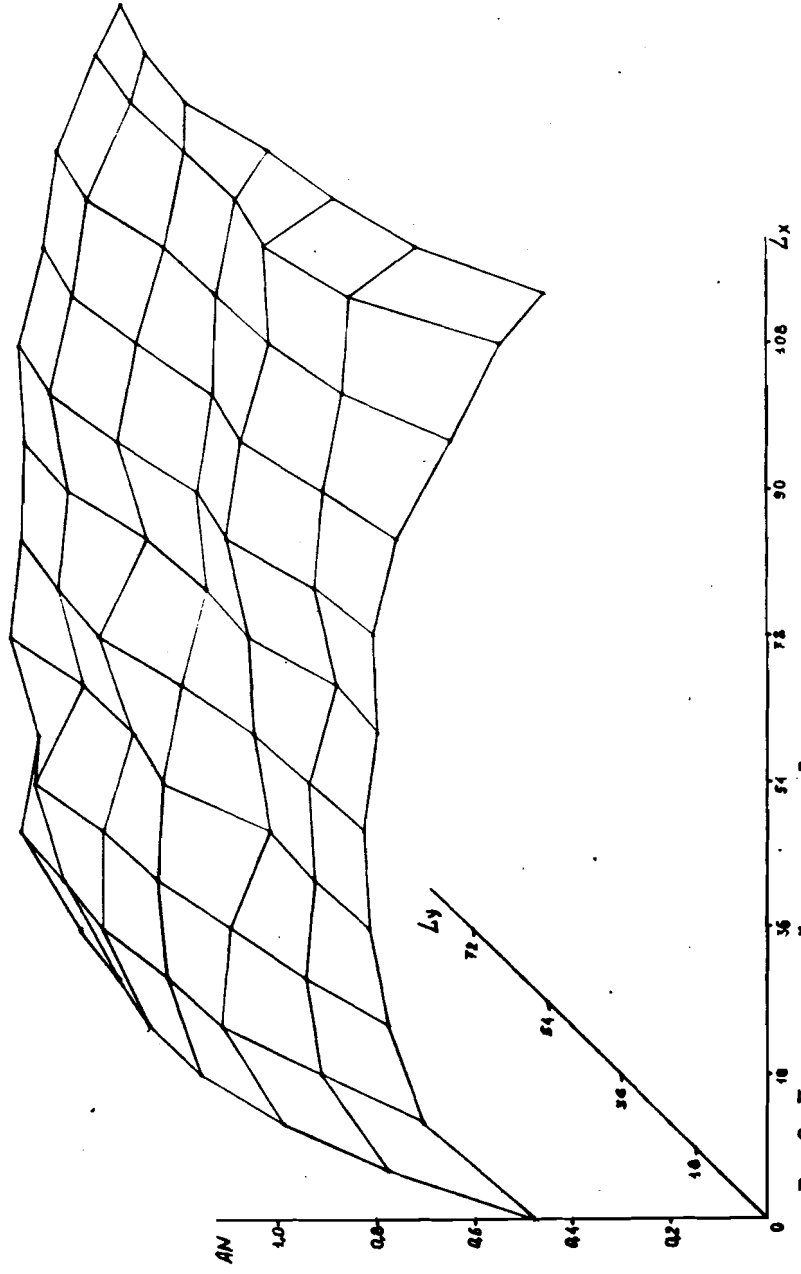


Рис. 3. Поверхность "прозрачности"

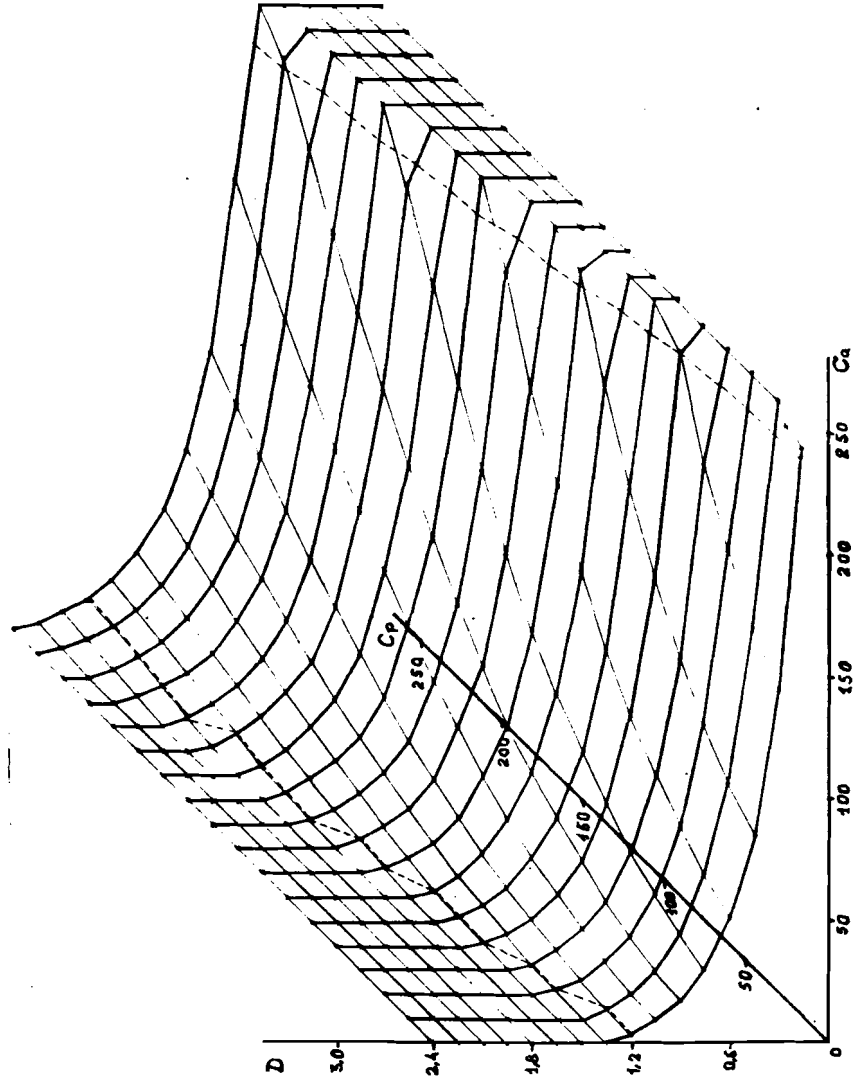


Рис. 4. D - поверхность

В качестве иллюстрации на рис.3 представлена поверхность "прозрачности", построенная по результатам измерений на более редкой сетке узловых точек. По осям координат отложены расстояния между узловыми точками L_x (вдоль фотопленки), L_y (поперек нее) в мм и нормированная амплитуда ΔN . Как следует из рис.3, "прозрачность" изменяется более чем в два раза.

На втором этапе в центральной части каждого поля ступенчатого клина амплитуда измерялась в 256 точках и результаты усреднялись. Код управления ФЭУ изменялся от 0 до 255 с шагом 15. Приращение оптической плотности между соседними полями клина, измеренное на денситометре ДФЭ-1, равно $0,150 \pm 0,005$.

На рис.4 представлена D-поверхность, построенная по результатам измерений. По осям абсцисс и ординат отложены код амплитуды C_a и код управления ФЭУ C_p , а по оси аппликат - оптическая плотность D. Тонкими линиями на рис.4 нанесены уровни $D = const$. Их проекция на горизонтальную плоскость координат дает семейство кривых, аналогичных представленным на рис.1.

Как следует из рис.4, значительная часть кодов амплитуд равна 0 и 255, что соответствует зонам нечувствительности и насыщения измерительного канала. Поэтому для аппроксимации следует выделить определенную рабочую область D-поверхности. Разумеется, границы области задаются при решении конкретной задачи обработки, но можно предложить и некоторые общие критерии.

Например, верхнюю границу рабочей области можно рассчитать по данным рис.2, определив с.к.о. в области больших амплитуд и отступив от границы зоны насыщения на удвоенную или утроенную величину с.к.о.

В правой части рис.4 нанесена пунктирная линия, рассчитанная таким способом ($C_a = const = 255 - 2x7,5$).

Нижнюю границу также можно рассчитать по рис.2, задавшись минимально допустимым значением SN. Однако более определенным представляется критерий, выделяющий область D-поверхности, в пределах которой вероятность разрешения между соседними полями ступенчатого клина не меньше, например, 0,95.

Нижняя граница рабочей области, рассчитанная по этому критерию, нанесена пунктиром в левой части рис.4. Вероятность разрешения рассчитывалась по минимуму среднего риска \bar{R} в предположении о нормальном распределении ошибок измерений.

Таким образом, методику денситометрической калибровки следует дополнить операцией маскирования данных файла DF2 по результатам расчета границ рабочей области.

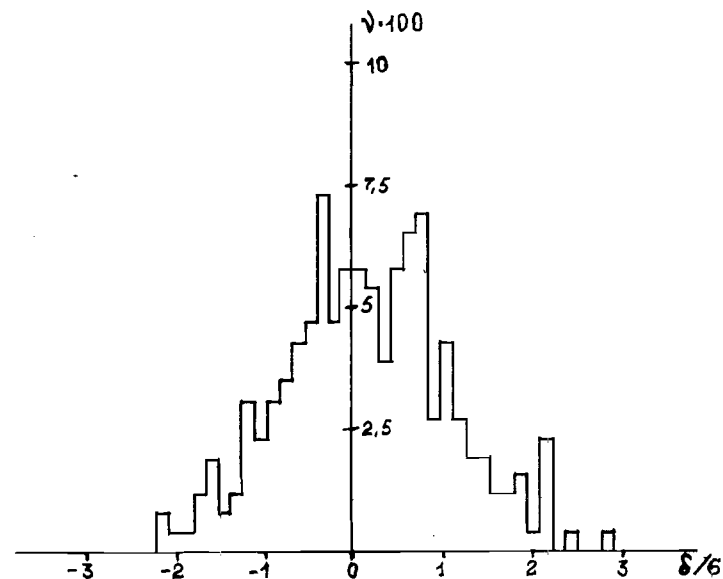


Рис.5. Гистограмма остаточных ошибок

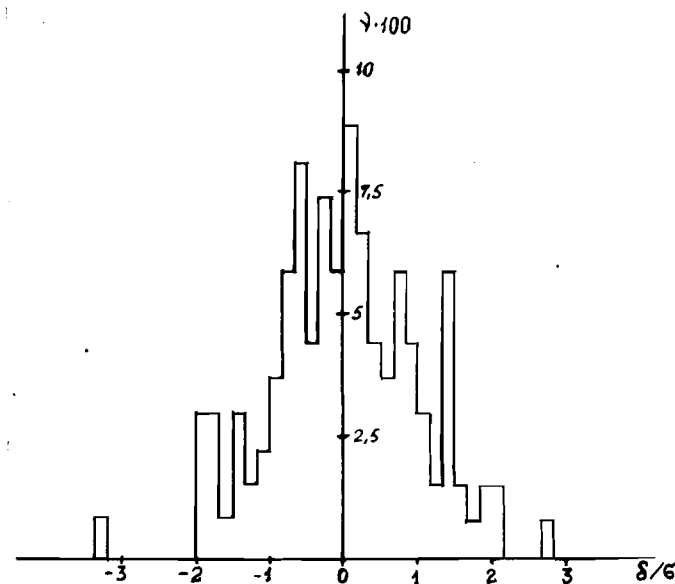


Рис.6. Гистограмма остаточных ошибок

Согласно этой методике были рассчитаны коэффициенты полинома, аппроксимирующего поверхность "прозрачности", а после коррекции по (2) маскированных данных файла DF2 — также и коэффициенты полинома, аппроксимирующего D-поверхность. Гистограммы остаточных ошибок представлены соответственно на рис. 5 и 6, где по оси абсцисс отложено отношение текущего отклонения δ к среднеквадратичному σ , а по оси ординат — относительная частота. Остаточная с.к.о. для рис. 5 равна 0,013 (апликаты поверхности "прозрачности" безразмерны), а для рис. 6 — 0,014 единиц оптической плотности. Максимальные остаточные ошибки равны 0,037 и -0,045 соответственно. В обоих случаях поверхности аппроксимировались полиномами пятой степени. Объясняется это тем, что отношения дисперсий остаточных ошибок для полиномов выше пятой степени незначимо отличаются от единицы при уровне значимости 0,05.

Это было установлено предварительно по распределению Фишера^{/9/} при расчете коэффициентов полиномов, степень которых изменялась от 3 до 7.

Заключение

Результаты денситометрической калибровки автомата АЭЛТ-2/160 позволяют сделать следующие выводы:

- пространственные амплитудные искажения скорректированы с остаточной ошибкой, не превышающей 3,7% при с.к.о. 1,3%;
- расширен диапазон измеряемой оптической плотности до $D = 2,25$ (рис. 4);
- точность измерения оптической плотности в диапазоне $D = 0,16 + 2,25$ равна 0,014 единиц D;
- вероятность разрешения перепадов оптической плотности величиной $D = 0,15$ не меньше 0,95 в диапазоне $D = 0,16 + 2,10$;
- показана возможность применения автоматов на ЭЛТ в качестве автоматизированных денситометров с программно-управляющими параметрами.

В целом можно утверждать, что применение полученных результатов расширит возможности автоматов на ЭЛТ по обработке фотоснимков с полутоновой информацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anders H. et al. Description and Status Report of the ERASME System. CERN, DD-74-15, D.Ph. II/Inst. 74-5, May, 1974.

2. Burov A.S. et al. AELT-1 and AELT-2 CRT Scanning Devices. Oxford Conference on Computer Scanning. England, 1974.
3. Bogert D. et al. The NAL SMM Device. Oxford Conference on Computer Scanning. England, 1974.
4. Rosental J.A. and Fiehrer M. Automatic Gain Control for Photomultiplier Tubes. The Review of Scientific Instruments, Vol. 35, No. 11, Nov. 1964.
5. Байла И. и др. ОИЯИ, Р10-12990, Дубна, 1980.
6. Лапчик Э.Д., Шкунденков В.Н. ОИЯИ, Р10-80-872, Дубна, 1980.
7. Сенченко В.А. ОИЯИ, Р5-85-724, Дубна, 1985.
8. Уилкс С. Математическая статистика. М., Наука, 1967.
9. Справочник по специальным функциям (под ред. М.Абрамовица, М.Стигана). М., Наука, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 января 1988 года.