

SU 7605161

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳՐԱԿԱՆ ԶԱՆՈՐԴՈՒՄ ՆԱՇՐԵՆԻ
НАУЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

ЕФИ—121(75)

И.Е.ВАСИНЮК, А.М.ЗВЕРЕВ, А.С.НАНАСЯН

КАЛИБРОВКА ПРОЕКТОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ
СНИМКОВ ТРЕКОВЫХ КАМЕР "ЛУСИК-2"

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1975



ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ - 121(75)

И.Е.ВАСИНЮК, А.М.ЗВЕРЕВ, А.С.НАНАСЯН

КАЛИБРОВКА ПРОЕКТОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ
СНИМКОВ ТРЕКОВЫХ КАМЕР "ЛУСИК-2"

Ереван 1975

© *Ереванский физический институт, 1975*

В проекторе "Лусик-2" (1) использован принцип ручного сопровождения оператором измеряемого трека в некоторой зоне с автоматическим определением его координат внутри этой зоны. Точные значения координат треков попавших в зону, определяются сканированием этой зоны оптико-механической сканирующей системой. Отсчётные каналы проектора состоят из базовой системы, фиксирующей координаты опорной точки зоны (X_0, Y_0) и дополнительной, в которой измеряется положение треков в зоне относительно этой точки (рис.1). Обе отсчётные системы построены в декартовой системе координат. Конечные координаты трека определяются выражениями:

а - в случае сканирования по X (при углах сопровождения трека в растворе $\pm 45^\circ$ относительно оси Y)

$$X_x = X_0 - A + \Delta x$$

$$Y_x = Y_0$$

б - при сканировании по Y (в растворе $\pm 45^\circ$ относительно оси X)

$$X_y = X_0$$

$$Y_y = Y_0 + B + \Delta y,$$

где A и B - константы, определяемые геометрией сканирующего устройства,

Δx и Δy - координаты центра трека в дополнительной системе координат, соответственно при сканировании по X или Y .

Координаты Δx и Δy , в свою очередь, определяются выражениями:

$$\Delta x = K_x \cdot \Delta(x)$$

$$\Delta y = K_y \cdot \Delta(y),$$

где $\Delta(x)$ и $\Delta(y)$ - отсчеты сканирующего устройства.

Коэффициенты K_x и K_y вводятся для согласования цены деления базовой и дополнительной отсчётных систем.

Очевидно, что в принятой отсчётной системе проектора оси базовой и дополнительной систем координат должны быть параллельны друг другу. Если оси дополнительной системы имеют угловые смещения относительно базовой, возникают погрешности при измерении наклонных треков (рис.2).

Погрешность в наклонной системе координат x', y' :

$$\Delta x = x \xi \cdot \operatorname{tg} \psi,$$

где ξ - угол смещения осей

ψ - угол наклона трека

x - координата точки трека в дополнительной системе.

Максимальная погрешность возникает при наибольшем наклоне трека для данного вида сканирования, т.е. при $\psi = \pm 45^\circ$. В данном случае юстировка системы сводится к повороту сканирующей головки на угол:

$$\xi = \frac{X_2 - X_1}{x_2 - x_1},$$

где x_1 и x_2 - координаты сканирования в двух точках маски

X_1 и X_2 - полные координаты в тех же точках.

Для исключения случайных погрешностей при определении этих координат удобно использовать при калибровке метод статистической обработки данных. С этой целью регистрируется множество пар x_i и X_i (при неизменной координате Y) с равномерным распределением вдоль всей маски. По этому множеству методом наименьших квадратов строится аппроксимирующая прямая

$$X = M + K x.$$

При правильном сопряжении масштабов основной и дополнительной систем координат угол поворота головки

$$\xi = \frac{\kappa}{\operatorname{tg} \varphi}$$

Сопряжение масштабов при сканировании по X производится на вертикальном треке ($\varphi = 0^\circ$) и сводится к настройке схемы АПЧ интерполяционного генератора таким образом, чтобы полная координата $X = X_0 + K_x \cdot \Delta(x)$ была неизменной при перемещении изображения трека вдоль маски. Настройка состоит в изменении интервала, регулируемого АПЧ, на величину

$$\Delta t = \kappa T,$$

где T - период сканирования ($T \approx 3,5$ мс)

κ - коэффициент аппроксимирующей прямой, определенный по вышеприведенной методике.

Для сопряжения масштабов основной и дополнительной систем координат при сканировании по Y определяется поправка δ_y к коэффициенту сопряжения $K_x = 2,5$. Для этого выполняется многократное измерение горизонтального трека с равномерным распределением вдоль маски и вычисляются параметры прямой

$$\text{где } Y = N + K_y,$$

$$Y = Y_0 - K_x \cdot \Delta(y),$$

y - координата сканирования по Y .

Поправка вычисляется из соотношения

$$\delta_y = K',$$

а коэффициент сопряжения

$$K_y = K_x + \delta_y = K_x + K'.$$

Результаты вычислений: $\delta_y = -0,09$; $K_y = 2,41$.
Распределение координаты $X_i - X_{cp}$ вдоль маски X при углах наклона трека $-45^\circ, 0^\circ$ и $+45^\circ$ после юстировки головки показано на рис. 3 "а", "б" и "в" соответственно. Масштаб изображения по вертикали - 4 мкм/дел, размер по горизонтали соответствует рабочей длине сканирования 640 мкм.

Важным звеном калибровки установки является

определение констант A и B , входящих в выражение для определения полных координат X и Y , и определяющих их сходимость при сканировании одного и того же наклонного трека по X или по Y . Физическая сущность этих констант объясняется на рисунке 2. Возможно прямое измерение константы путём определения координаты сканирования трека, перекрывающего "нерабочую" маску, однако такое измерение даёт низкую точность из-за трудности совмещения осевых линий трека и маски. Более точные результаты даёт статистическая обработка данных многократных измерений наклонных треков с углами наклона, соответствующими переходу от одного направления сканирования к другому. Координаты снимаются равномерно вдоль трека с поочерёдным сканированием по X и по Y . Данные измерений объединяются по признаку направления сканирования и обрабатываются по программе определения параметров прямой линии. Для одного трека получается два соотношения:

$$Y_x = K X_x + b_x$$

$$Y_y = K X_y + b_y,$$

где $Y_x = Y_0$, $X_x = X_0 + \Delta x$ - исходные координаты при сканировании по X ,

$Y_y = Y_0 - \Delta y$, $X_y = X_0$ - исходные координаты при сканировании по Y .

Полагая нормализованные координаты

$$X = X_x - A, \quad Y = Y_x$$

$$X = X_y, \quad Y = Y_y + B$$

имеем два уравнения одной и той же прямой:

$$Y = KX + KA + b_x$$

$$Y = KX + B + b_y$$

откуда

$$KA + b_x = B + b_y.$$

При измерении двух треков с разными углами наклона образуется система уравнений

$$K_1 A - B = b_{y1} - b_{x1}$$

$$K_2 A - B = b_{y2} - b_{x1}.$$

Решение системы имеет максимальную точность при $K_{1,2} = \pm 1$. Калибровка установки производилась при $K_1 = 1,0069$ и $K_2 = -0,9904$. Полученные значения констант $A = 670$ мкм

$$B = 697 \text{ мкм.}$$

Среднеквадратичное отклонение всех точек, (полученных при сканировании по X и Y), вычисленное по нормализованным координатам для двух прямых, равно 2,57 и 2,42 мкм и существенно не отличается от среднеквадратичного разброса при измерении одной точки в одном направлении сканирования.

Погрешности измерений.

Погрешность установки в основном определяется точностью координаты сканирования. При многократном измерении одной и той же точки она характеризуется среднеквадратичным разбросом $\sigma \approx 2,5$ мкм. Определение полной погрешности проводилось измерением эталонной прямой — натянутой струны диаметром ~ 50 мкм.

Совокупность точек, полученных при обмере, обрабатывается по методу наименьших квадратов и фильтруется в процессе этой обработки. Программа фильтрации поочередно исключает точки, расстояние которых от аппроксимирующей прямой превышает заданный критерий: 7,5 мкм для струны и 10 мкм для реального трека. Результаты обработки представляются в виде коэффициентов прямой $y = kx + b$ и среднеквадратичного отклонения σ отфильтрованных точек от этой прямой. Отмечается также число исходных (N_1) точек и оставшихся (N_2) точек.

В таблице 1 сведены результаты многократного обмера участка струны длиной ~ 15 мм. Для сравнения в таблице 2 приведены данные обмера реальных треков, полученных в широкозаязорной искровой камере.

Анализ данных по струне даёт среднеквадратичный разброс σ_k углов наклона полученных прямых $0,00005$ рад. на длине 15 мм или приведенную погрешность определения угла наклона $\sigma_k \ell$, равную $0,00075$ рад.мм.

Среднеквадратичный разброс ординаты середины участка струны составляет $0,52$ мкм, середины трека - $0,93$ мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Е. Василюк и др. Проектор для обработки снимков трековых камер "Лусик-2". ЕФИ-120 (75).

Рукопись поступила 19-го марта 1975г.

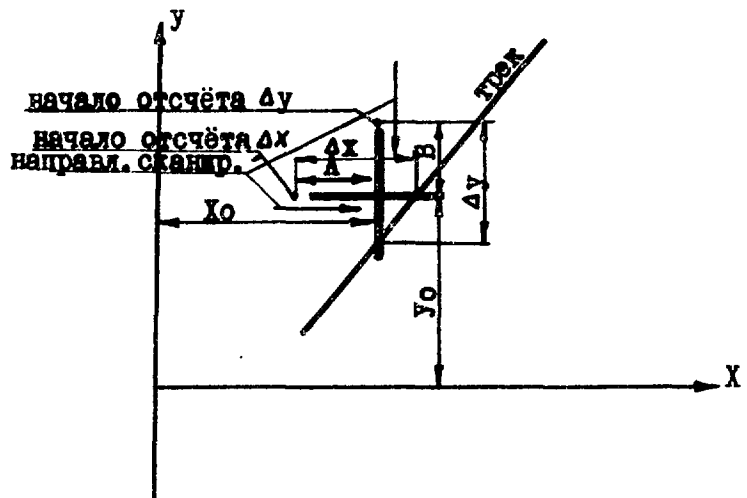


Рис. 1

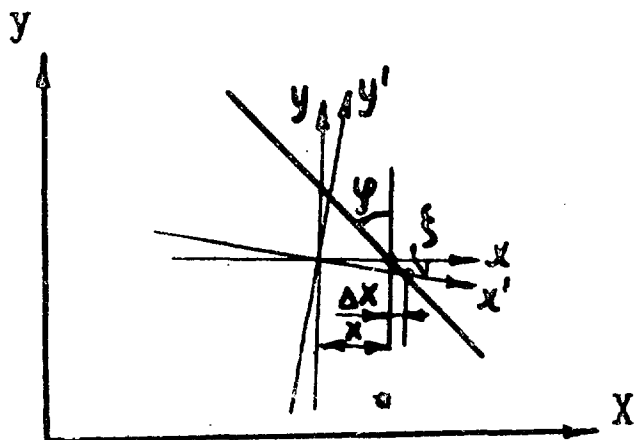


Рис. 2

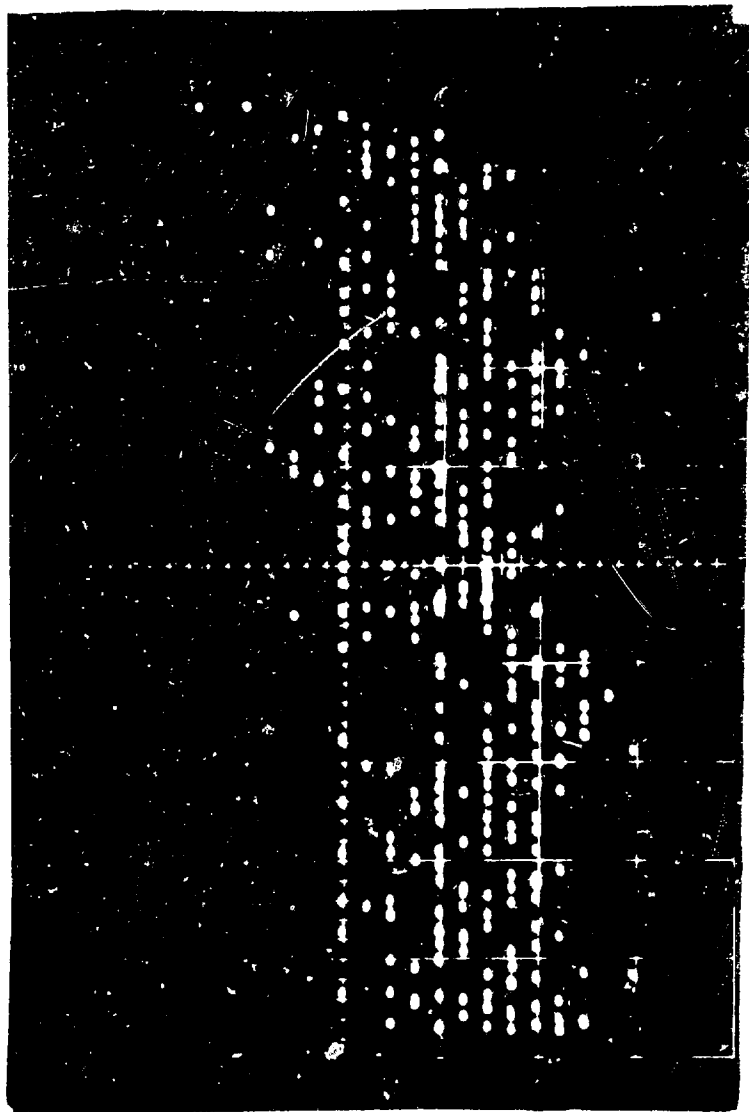


Рис. 3а

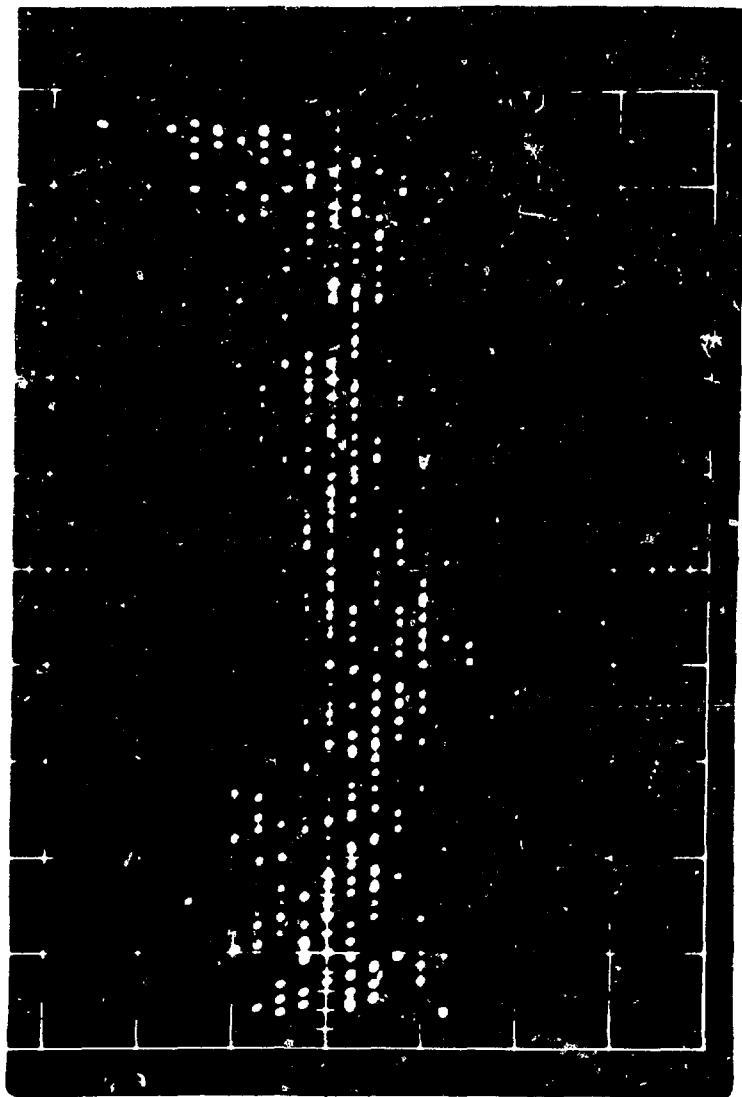


Рис. 36

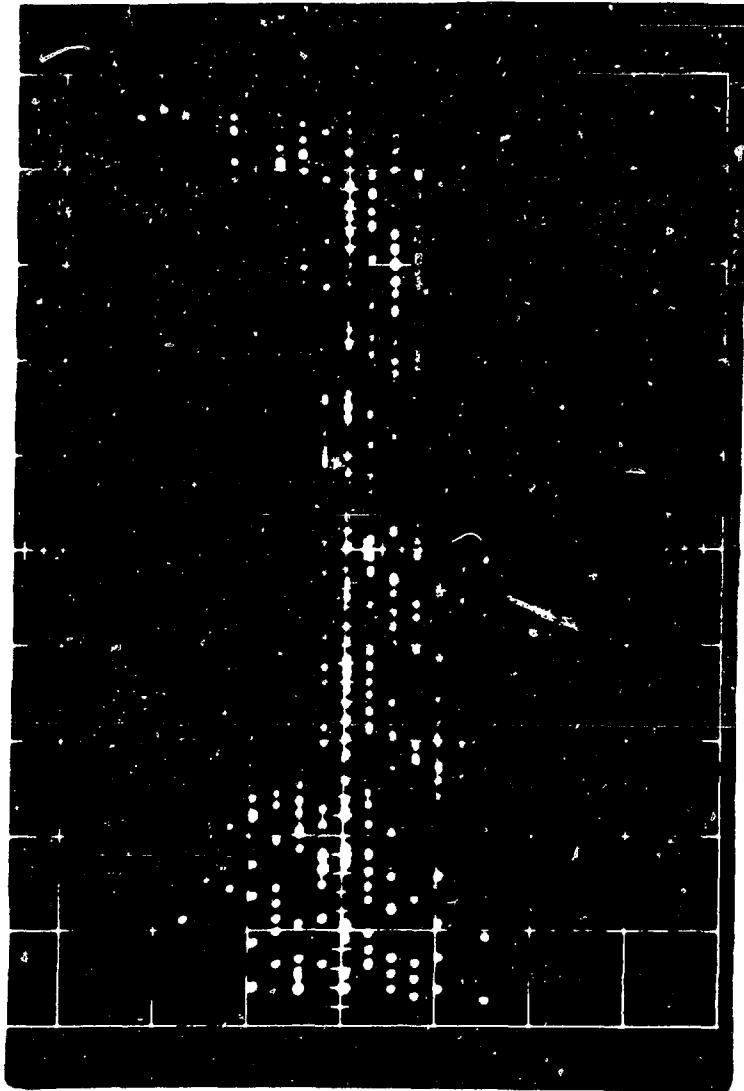


Рис. 3в

Таблица 1

Струна

| N_1 | N_2 | b | \bar{K} | G | ΔK |
|---------|-------|--------|-----------|------|------------|
| 207 | 200 | 3314,7 | 0,10304 | 3,13 | +0,00002 |
| 240 | 237 | 3315,0 | 0,10294 | 3,09 | -0,00008 |
| 234 | 229 | 3314,8 | 0,10303 | 3,27 | +0,00001 |
| 237 | 232 | 3313,7 | 0,10309 | 3,03 | +0,00007 |
| 231 | 228 | 3314,2 | 0,10301 | 3,14 | -0,00001 |
| 246 | 240 | 3313,8 | 0,10302 | 3,16 | 0 |
| 231 | 224 | 3312,7 | 0,10310 | 3,07 | +0,00008 |
| 230 | 224 | 3314,7 | 0,10300 | 3,09 | -0,00002 |
| 233 | 230 | 3314,5 | 0,10304 | 3,09 | +0,00002 |
| 196 | 190 | 3314,1 | 0,10293 | 3,22 | -0,00009 |
| Среднее | | 3314,2 | 0,10302 | 3,13 | 0,00005 |

Таблица 2

Трек

| N_1 | N_2 | b | \bar{K} | G | ΔK |
|---------|-------|--------|-----------|------|------------|
| II0 | 87 | 1742,8 | 0,02032 | 5,13 | +0,00008 |
| II8 | 93 | 1748,8 | 0,02001 | 4,84 | -0,00023 |
| I23 | 99 | 1750,4 | 0,01995 | 4,75 | -0,00029 |
| II3 | 90 | 1745,6 | 0,02022 | 4,53 | -0,00002 |
| I24 | 96 | 1737,0 | 0,02063 | 4,88 | +0,00039 |
| III | 88 | 1745,6 | 0,02029 | 5,06 | +0,00005 |
| Среднее | | 1744,9 | 0,02024 | 4,87 | 0,00022 |



Редактор Л.П.Мукаян
Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 223 ВФ- 03094 Тираж 299

Подписано к печати 19/У1-75г .Формат издания 30х40

1.0 уч.изд. л. Ц, 7 к.

Отпечатано на ротаприте
Ереванского физического института, Ереван-36, пер. Марка-
ряна 2