

ИССЛЕДОВАНИЕ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА " АСКОРЕКОРД "

Н.Спасова, З.Пейков, М. Серафимова

Координатно-измерительный прибор "Аскорекорд" установлен в секции астрономии в 1974 году и с начала 1979 гг интенсивно используется для измерения точных координат звезд шаровых скоплений в связи получения их собственные движения и распределении плотности. Имея в виду высокие требования к точности измеряемых координат и использование прибора для измерения астрофотографических негативов в будущем, нами было предпринято полное исследование инструментальных ошибок прибора.

В настоящей работе приводятся результаты исследования прибора "Аскорекорд" № 2478 по методике применяемой в Пулковской обсерватории /Поттер Х.И., Чудовичева О.Н., 1957/ и ГАИШ /Артахина Н.М., Каримова Д.К., 1961/ при исследования измерительных машин типа КИМ-3 и Инструкция по исследованию аппаратуры для фотографических наблюдений искусственных спутников Земли /Марек К.Х., Древич В.А., Карский Г., Мочко Я., 1970/.

Координатно-измерительный прибор обладает следующими инструментальными ошибками:

- а/ ошибки делений масштабных линеек
- б/ ошибки спирального микрометра
- в/ ошибки из-за кривизны направляющих
- г/ ошибки из-за косоугольности координатных осей.

Определение ошибок измерительного прибора производилось в указанной последовательности при том уже известные ошибки учитывались при определении последующих. Все измерения проводились при

температуре $+ 20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$, хорошо сфокусированных микроскопах, отnivelированной плоскости подставки и при максимальном увеличении отчетного микроскопа.

1. Исследование делений шкал. Исследование шкал проводилось при помощи стандартной стеклянной пластинки, имеющейся в комплекте прибора, на которой нанесены очень точно две взаимно перпендикулярны шкалы длиной 280 мм.

Измерение шкал было проведено двумя авторами /Спасова, Пейков/ и окончательный результат является средним из двух независимых определений.

Исследованию подверглись деления от 383-го до 623-го по оси "X" и от 83-го до 323-го по оси "Y" - всего 241 миллиметровых штрихов соответственно т.е. интервал с длиной 240 мм.

В нашей работе исследование было проведено следующим образом. Шкала "X" была принята основной и к ее масштабу была приведена шкала "Y". Поправки крайних штрихов полагались равными нулю и при этом условии определялась поправка среднего штриха Δ_{503} . Для этого шкала сравнивалась с вспомогательным интервалом имеющим длину ℓ приблизительно равную половине исследуемой части шкалы. Уравнения для нахождения поправок будут:

$$\left. \begin{aligned} x_{503} + \Delta_{503} - x_{383} &= \ell \\ x_{623} - x_{503} - \Delta_{503} &= \ell \end{aligned} \right\} \quad /1/$$

$$\Delta_{383} = \Delta_{623} = 0 \quad /2/$$

Условия /2/ закрепляют масштаб и нуль-пункт системы делений для исследуемой шкалы "X".

Поскольку расстояние между крайними штрихами шкал "X" и "Y" не в точности одинаковы, масштабы обеих шкал различными. Для того чтобы достичь тождественность масштабов двух шкал, уравнения для шкалы "Y"

аналогичные /1/ подчиним условиям:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_{203} = 0 \\ \ell - \text{задано посредством /1/} \end{array} \right\} \quad /3/$$

Зная поправку 503-го штриха и используя тот же самый метод последовательного деления интервалов пополам, можно получить поправки опорных штрихов 443 и 563, являющиеся средние для интервалов 383 - 503 и 503 - 623, а затем последовательно поправки за 413, 473, 533 и 593 штрихов. Таким образом были определены поправки 7 опорных штрихов разделивших исследуемую 240-ю мм шкалу на 8 интервалов по 30 мм каждый.

Поправки штрихов деливших 30 мм интервалы на трех равных частей вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned} x_{i+1} + \Delta_{i+1} - x_i^0 &= 1/3 (x_{i+3}^0 - x_i^0) \\ x_{i+2} + \Delta_{i+2} - x_i^0 &= 2/3 (x_{i+3}^0 - x_i^0) \end{aligned} \quad /4/$$

Так были определены поправки еще 16 опорных штрихов. Таким образом исследуемая шкала длиной 240 мм разделена на 24 интервалов по 10 мм каждый, имеющих известные поправки крайних штрихов.

Ниже приводится схема по которой проводились измерения для определения поправки опорных штрихов шкалы "X". В левой стороне указан номер штриха, а в правой - число измерений произведенных каждым автором

503	11
443 563	8
413, 473 533, 593	6
393, 403, 423, 433 453, 463, 483, 493	2
513, 523, 543, 553 573, 583, 603, 613	2

При измерениях на каждый штрих делалось по 4 наведения. Средняя ошибка одного отсчета равна $\pm 0,0007$ мм.

Поправки всех промежуточных миллиметровых штрихов определялись методом Ридберга /Ылажко, 1951/. т.е. последовательными измерениями интервалов между соседними штрихами с помощью спирального микрометра.

Результаты определения поправок всех штрихов полученные каждым автором в отдельности представлены на рис. 1./ Спасова-сплошная линия, Пейков - прерывистой /Видно, что систематические различия между ними отсутствуют, а расхождения не превосходят расброса точек у каждого измерителя / $< 1\mu$ /. Поэтому на рис. 2. представлены поправки штрихов по обеим осям, взятые как средние из обоих определений. В таблице 1 приведены поправки штрихов отличающиеся от непосредственно измеренных из за перемещения нуль-пункта полученных поправок. Нуль-пункт поправок смещен таким образом, что бы они были наименьшими в центральной части пластинки. Исследование деления шкал показывает, что обе шкалы изготовлены с высокой степенью точности. Максимальные значения поправок равны 1.5 микрон для оси "X" и 1.3 микрон для оси "Y".

Точность полученных поправок определялась способом, уже использован при исследовании КИМ - 3 /Поттер, Чудовичева, 1957, формулы 8 и 9 /. Значения ошибок содержатся в интервале $0.0002/\Delta_{503}/ - 0.0011/\Delta_{468}/$ и следовательно максимальная ошибка полученных поправок имеет величину порядка ошибки одного отсчета / 1.57 % /.

II. Исследование спиральных микрометров Отсчеты координат на приборе "Аскорекорд" производятся с помощью спиральных микрометров,отягощены периодическими и поступательными ошибками.

Периодические ошибки повторяются при каждом обороте спирал и могут возникать вследствие несовпадения полюса спирали с осью ее вращения.

Поступательные ошибки изменяются и накапливаются от витка

витку спирали и вызваны неравенством расстояний между отдельными витками.

Исследование периодических ошибок спиральных микрометров произведено методом Бесселя / Марек и др., 1970 /. Поправки, вызванные периодическими ошибками спирального микрометра представляются периодической функцией вида:

$$\epsilon = a_1 \cos u + b_1 \sin u + a_2 \cos 2u + b_2 \sin 2u \quad /5/$$

где u – угол в градусной мере, пропорционален отсчету кругового микрометра.

Коэффициенты $a_i, b_i / i = \overline{1,2}/$ получаются из измерении фиксированных интервалов различными участками спирали микрометра длиной $3/2$ или $5/4$ расстояния между соседними витками спирали. На нашем приборе эти интервалы нанесены на оси "X" между миллиметровыми штрихами 400 и 401, а на оси "Y" – между штрихами 100 и 101. Исследование состоит лишь в измерении этих интервалов с помощью микрометра.

Неизвестные коэффициенты определяются по формулам:

$$\begin{aligned} 10 a_1 \sin \ell_2 &= \sum W \sin (u + \ell_2) \\ 10 a_2 \sin \ell &= \sum W \sin (2u + \ell) \\ 10 b_1 \sin \ell_2 &= -\sum W \cos (u + \ell_2) \\ 10 b_2 \sin \ell &= -\sum W \cos (2u + \ell) \end{aligned} \quad /6/$$

получены после ряда преобразований из /5/. В этих формулах ℓ – средняя длина интервала, а $W = \ell_i - \ell$, $i = \overline{1,10}$.

Для повышения точности, коэффициенты a_i, b_i определяются как средние из измерении двух интервалов. После этого для каждой десятой одного оборота $/u = 0^\circ, 36^\circ, 72^\circ \text{-----}/$ из решения уравнения /5/ получаем искомые поправки ϵ , вызванные периодическими ошибками спирального микрометра. Результаты представлены на рис. 3. Периодическая ошибка

слишком незначительная и по обеим осям имеет двойную волну.

Исследование ходовых ошибок проводилось по методу Цургелена /Марек и др., 1970/, идея которого заключается в сравнении имеющейся спирали с определенной контрольной шкалой. Такая контрольная шкала установлена на оси "X" между 402 и 403 миллиметровыми штрихами и на оси "Y" между 102 и 103 соответственно. Контрольная шкала выбрана с 9 интервалами по 0.1 мм.

Для шкалой не отягощенной ошибками и идеальной спиралью было бы верно следующее соотношение:

$$A_{p,q} + U_p + V_q = c = \text{const} \quad /7/$$

Здесь $A_{p,q}$ - отсчет "p" витки спирали / $p = 1, 10$ / на "q" штрих шкалы / $q = 1, 9$ /, U - поправка из за ошибок спирали, V - поправка из за ошибок шкалы.

Если V - целое положительное число то система уравнений имеет следующий вид

$$A_{p,q} - A_{p+r,q+r} = U_{p+r} - U_p + V_{q+r} - V_q \quad /8/$$

Поправки из за ходовых ошибок микрометра получаются методом последовательных приближений / $n = 2$ /.

Результаты исследования ходовых ошибок микрометров как средние из двух измерений представлены на рис. 4. Значения поправок столь малы, что при обработке измерений ими можно пренебречь.

III. Исследование кривизны направляющих линеек. Прямолинейности направляющих линеек исследовалась с помощью заданной прямой на контрольной пластинке приложенной к приборе.

Если заданной прямой укрепить параллельно исследуемой линейке, то при перемещении каретки вдоль одной из осей отсчеты на другой оси должны были бы оставаться постоянными. Именно их непостоянство при условии строгой параллельности заданной прямой и линейки будет характеризовать кривизну направляющих линеек

Для исследования кривизны направляющих линеек контрольной прямой устанавливалась параллельно исследуемой направляющей и измерялась через каждые 10 см. Так как осуществление прямой линией встречает затруднения, считается что непрямолинейности самой прямой на практике исключается с помощью повторных измерений после поворота ее на 180° . Авторы считают, что нужно осуществлять не поворот, а переворот контрольной прямой, но пока не будем обсуждать это мнение. Так как в приборе отсутствует поворотный круг измерения прямой проводились только в одном положении принимая условно контрольной прямой идеальной. Отсчет, непосредственно получаемый на оси "X" при наведении на заданой прямой $/X_0/$ включает в себя непараллельность ее с осью "Y" и поправку Δl за кривизну линейки т.е.

$$x_{i0} = a_1 y_i + b_1 + \Delta l_i$$

/9/

$$y_{i0} = a_2 x_i + b_2 + \Delta l_i$$

-соответственно

за оси "Y".

Решая методом най-меньших квадратов систему уравнения типа $X = ay + b / Y = ax + b /$ и подставив в /9/ результаты решения получаем невязки Δl , которые и являются поправками за кривизну соответствующих направляющих.

На рис. 5 даны поправки за кривизну направляющих, полученные в результате 4 ряда измерения, как среднее из измерений обоих авторов, а в таблице 2 приведены значения этих поправок. Из графики видно, что отсчеты обеих шкал свободны от ошибок, вызванных непрямолинейностью направляющих линеек.

IV.

IV. Исследование перпендикулярности координатных осей

Исследование перпендикулярности направляющих линеек проведено по способу Кенига / *König*, 1932 /. Если обозначить через x_0 и y_0

точные координаты объекта /исправленные за косоугольность/, а через x и y — измеренные координаты, то с точностью до членов второго порядка /зависящих от небольших отклонений прибора от идеального/

$$x_0 = x - Kx \quad /10/$$

$$y_0 = y - i x$$

Здесь K — разность масштабов шкал, $i + \frac{\rho}{2}$ — угол между направляющими линейками, выраженный в радианах.

Для определения значений i и K измерялись четыре метки в четырех положениях контрольной пластинки, отличающихся друг от друга на 90° . Из двух отсчетов, отличающихся на 180° брались средние значения и после этого по методу най-меньших квадратов решалась система уравнений вида:

$$xf + x'g + p = R_1 \quad /11/$$

$$xh + x'f + q = R_2$$

где $R_1 = x_i - x'_i$, $R_2 = x'_i + y_i$ /индексы i означают отсчет координат при двух положениях платформы, отличающихся на угол $90^\circ + j$ /.

Неизвестными в этих уравнениях являются f, g, p, h, q причем для f получаются два значения которые нужно осреднить.

По определенным из /11/ значениям f и h получаем величины $i = 1/2 (h - g)$, $K = f - 1/2 j^2$, $j = 1/2 (h + g)$

В результате этих вычислений были получены:

$$i = 0.00001456 \text{ rad} \quad \text{или } 3''$$

$$K = 0.3 \times 10^{-4}$$

Таким образом результаты показывают, что направляющие линейки нашего прибора с высокой степенью точности перпендикулярны друг к другу.

Полное исследование прибора "Аскорекорд" показало, что прибор

является очень точным инструментом для измерений пластинок с астрометрическими целями. При обработки пластинок для получения наибольшей точности необходимо вводить поправки только за неточность штрихов обеих шкал.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артихина Н. М., Каримова Д. К. , 1961, Сообщ. ГАИШ, № 103, 21
2. Бляшко С. Н., "Курс практической астрономии", 1951
3. König A. , 1932, AN 246 , N 5893, 237
4. Марек К. Х., Юрвич В.А., Карский Г., Мочко Я., 1970, "Инструкция по исследованию аппаратуры для фотографических наблюдений искусственных спутников Земли".
5. Поттер Х. Н., Чудовичева О.Н., 1957, Изв. ГАО, № 157, 14

Т А Б Л И Ц А I
Поправки делений шкал X (в 0,0001 мм)

N° отсч	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ
383	4	413	10	443	14	473	10	503	0	533	7	563	-2	593	6
384	2	414	2	444	4	484	2	504	4	534	1	564	-2	594	2
385	4	415	2	445	2	475	5	505	3	535	3	565	2	595	0
386	6	416	3	446	3	476	5	506	4	536	0	566	2	596	2
387	12	417	5	447	2	477	2	507	3	537	-1	567	4	597	4
388	8	418	8	448	2	478	1	508	4	538	-2	568	3	598	8
389	6	419	8	449	10	479	4	509	4	539	3	569	6	599	10
390	8	420	8	450	8	480	4	510	5	540	7	570	9	600	7
391	10	421	8	451	4	481	6	511	6	541	6	571	10	601	4
392	10	422	9	452	4	482	6	512	6	542	9	572	9	602	3
393	9	423	15	453	8	483	0	513	7	543	9	573	13	603	-6
394	7	424	10	454	-2	484	-2	514	1	544	5	574	7	604	0
395	7	425	10	455	2	485	2	515	4	545	4	575	6	605	4
396	4	426	10	456	6	486	0	516	6	546	4	576	7	606	5
397	4	427	15	457	7	487	2	517	7	547	8	577	4	607	6
398	4	428	14	458	6	488	6	518	5	548	5	578	4	608	3
399	6	429	12	459	8	489	9	519	4	549	4	579	3	609	6
400	7	430	8	460	8	490	14	520	6	550	6	580	6	610	5
401	7	431	8	461	5	491	12	521	4	551	3	581	6	611	6
402	2	432	10	462	3	492	4	522	7	552	2	582	0	612	4
403	12	433	10	463	14	493	13	523	8	553	6	583	9	613	12
404	10	434	4	464	8	494	2	524	12	554	10	584	2	614	6
405	12	435	4	465	6	495	7	525	12	555	10	585	4	615	4
406	11	436	4	466	6	496	10	526	12	556	10	586	5	616	4
407	8	437	4	467	7	497	4	527	8	557	8	587	6	617	9
408	5	438	3	468	7	498	4	528	0	558	0	588	8	618	0
409	0	439	4	469	5	499	2	529	1	559	0	589	6	619	7
410	2	440	6	470	4	500	0	530	1	560	2	590	8	620	8
411	2	441	9	471	0	501	-2	531	-2	561	4	591	4	621	3
412	-4	442	6	472	0	502	4	532	-8	562	2	592	5	622	2
														623	4

ТАБЛИЦА I
Поправки делений шкал У (в 0.0001 мм)

N° от 2-го	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ	N°	Δ
83	-3	113	-2	143	0	173	7	203	0	233	0	263	-2	293	0
84	-2	114	-4	144	0	174	-3	204	2	234	2	264	-2	294	0
85	-2	115	0	145	1	175	-2	205	0	235	0	265	2	295	0
86	0	116	-1	146	2	176	0	206	3	236	3	266	0	296	-1
87	1	117	-2	147	0	177	-2	207	-2	237	-6	267	-4	297	-2
88	0	118	1	148	2	178	0	208	0	238	-4	268	-7	298	-1
89	4	119	2	149	1	179	2	209	-2	239	-2	269	0	299	-1
90	2	120	5	150	2	180	3	210	-4	240	-1	270	-5	300	-1
91	-2	121	1	151	-3	181	2	211	0	241	0	271	-4	301	0
92	0	122	4	152	-5	182	8	212	5	242	0	272	-2	302	7
93	3	123	5	153	0	183	0	213	2	243	2	273	-3	303	-1
94	0	124	-2	154	2	184	-4	214	1	244	0	274	2	304	-4
95	-2	125	0	155	3	185	-5	215	3	245	3	275	-2	305	-4
96	-2	126	0	156	8	186	-2	216	6	246	4	276	-2	306	-5
97	-4	127	1	157	10	187	2	217	2	247	2	277	-3	307	1
98	-2	128	-2	158	13	188	4	218	-2	248	2	278	-2	308	0
99	-2	129	-2	159	12	189	5	219	-4	249	-4	279	-2	309	2
100	2	130	1	160	8	190	7	220	-4	250	-3	280	0	310	2
101	2	131	0	161	8	191	4	221	-1	251	-4	281	2	311	2
102	0	132		162	13	192	7	222	5	252	1	282	4	312	4
103	2	133	2	163	10	193	11	223	3	253	3	283	0	313	-8
104	4	134	1	164	-2	194	-3	224	0	254	0	284	0	314	-6
105	2	135	0	165	-2	195	-2	225	6	255	3	285	-2	315	-3
106	0	136	2	166	-2	196	2	226	6	256	-2	286	0	316	2
107	0	~~137~~	2	167	0	197	-2	227	-2	257	-4	287	~~-4~~	317	6
108	-2	138	-2	168	0	198	-2	228	-2	258	-5	288	-2	318	2
109	-3	139	-1	169	-1	199	-2	229	3	259	3	289	-4	319	2
110	1	140	-2	170	2	200	0	230	-1	260	-4	290	2	320	2
111		141	0	171	0	201	2	231	-5	261	-4	291	1	321	0
112	12	142	-5	172	6	202	0	232	-1	262	2	292	10	322	-2

ТАБЛИЦА 2

Штрих (0.1 μ)	$\Delta l(x)$
363	0,3
373	0,1
383	-0,1
393	-0,1
403	0
413	-0,1
423	-0,2
433	-0,3
443	-0,2
453	-0,2
463	-0,2
473	0,3
483	0,2
493	0,1
503	0,4
513	0,4
523	0,1
533	0
543	-0,2
553	0
563	0
573	-0,4
583	0,4
593	0,1
603	0
613	-0,1
623	0
633	-0,4
643	0,2

Штрих (0.1 μ)	$\Delta l(y)$
63	0,1
73	0
83	0,1
93	0,1
103	-0,3
113	0
123	0,2
133	0,1
143	-0,1
153	0,1
163	0
173	0,2
183	0
193	-0,4
203	-0,4
213	-0,4
223	-0,1
233	-0,2
243	-0,4
253	-0,3
263	-0,1
273	-0,3
283	0,1
293	-0,1
303	0,4
313	0,2
323	0,2
333	0,5
343	0,3

Изследване на координатно – измерителния
прибор "Аскорекард"

Н. Спазова, З. Пейков, М. Серафимова

(резюме)

По класическата методика е изследван, намиращият се в Секция астрономия, координатно измерителен прибор тип "Аскорекард" № 2478. Изследването показва, че прибора е много точен и напълно пригоден за измерване на фотографии с астрономически цели.

Единствените поправки, които е необходимо да се отчитат при измерванията са тези, дължащи се на неточност в нанасянето на милиметровите щрихи.

Поправките не са по-големи от $1,5\mu$ (табл. 1)

Всички останали инструментални грешки са незначителни и тяхното пренебрегване не оказва влияние върху точността на измерваните координати.

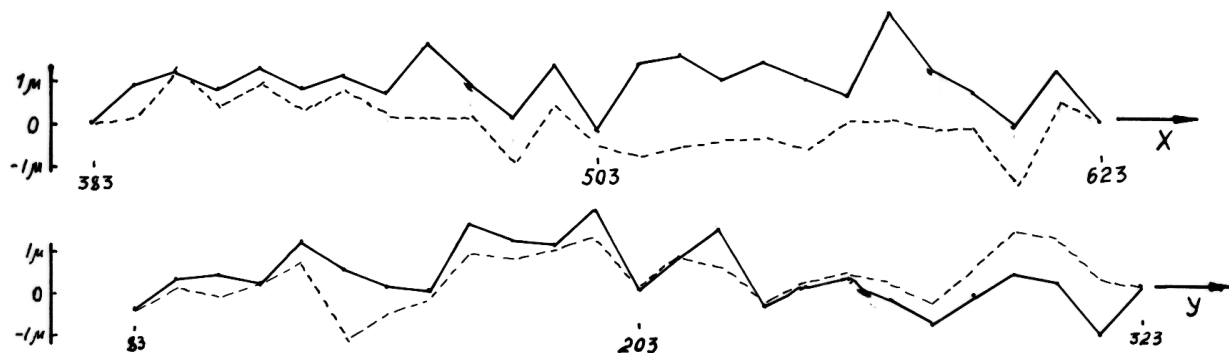


Рис. 1

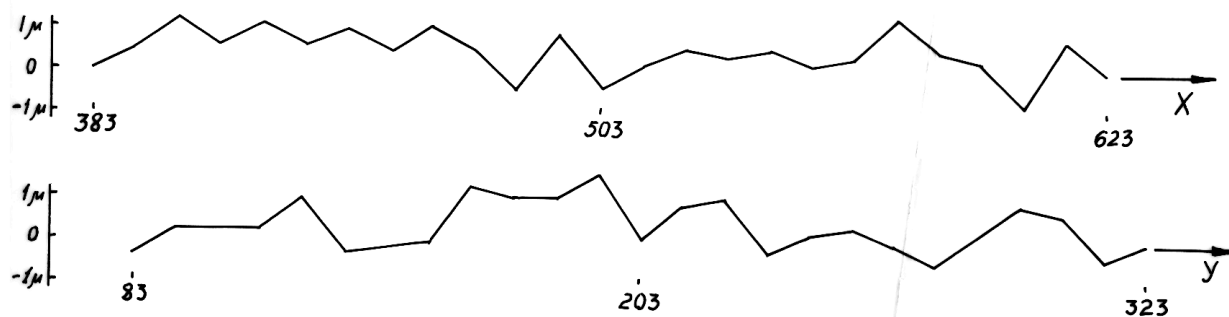


Рис. 2

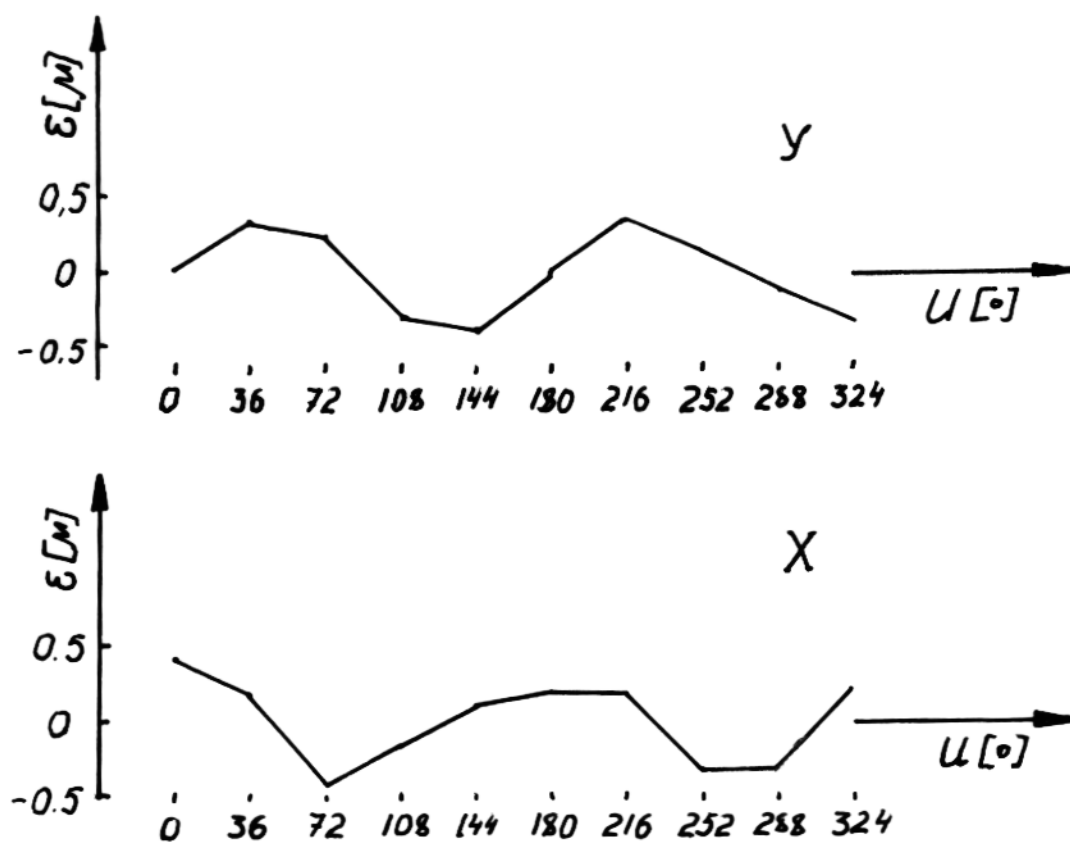


Рис. 3

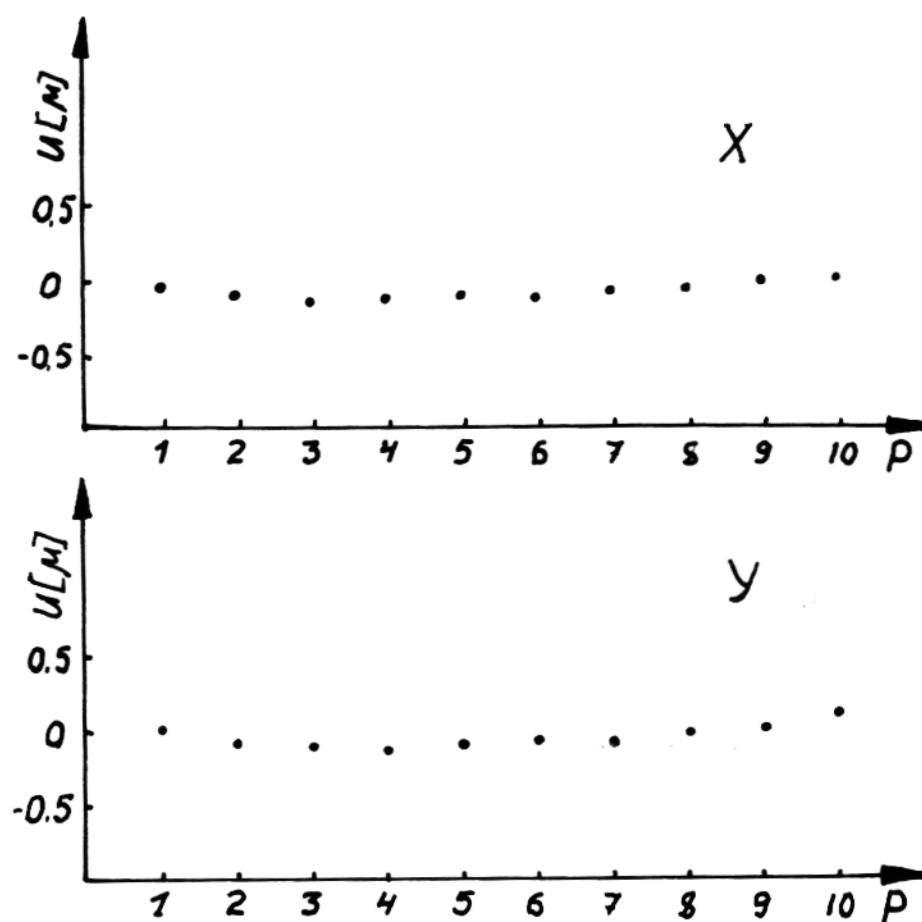


Рис. 4

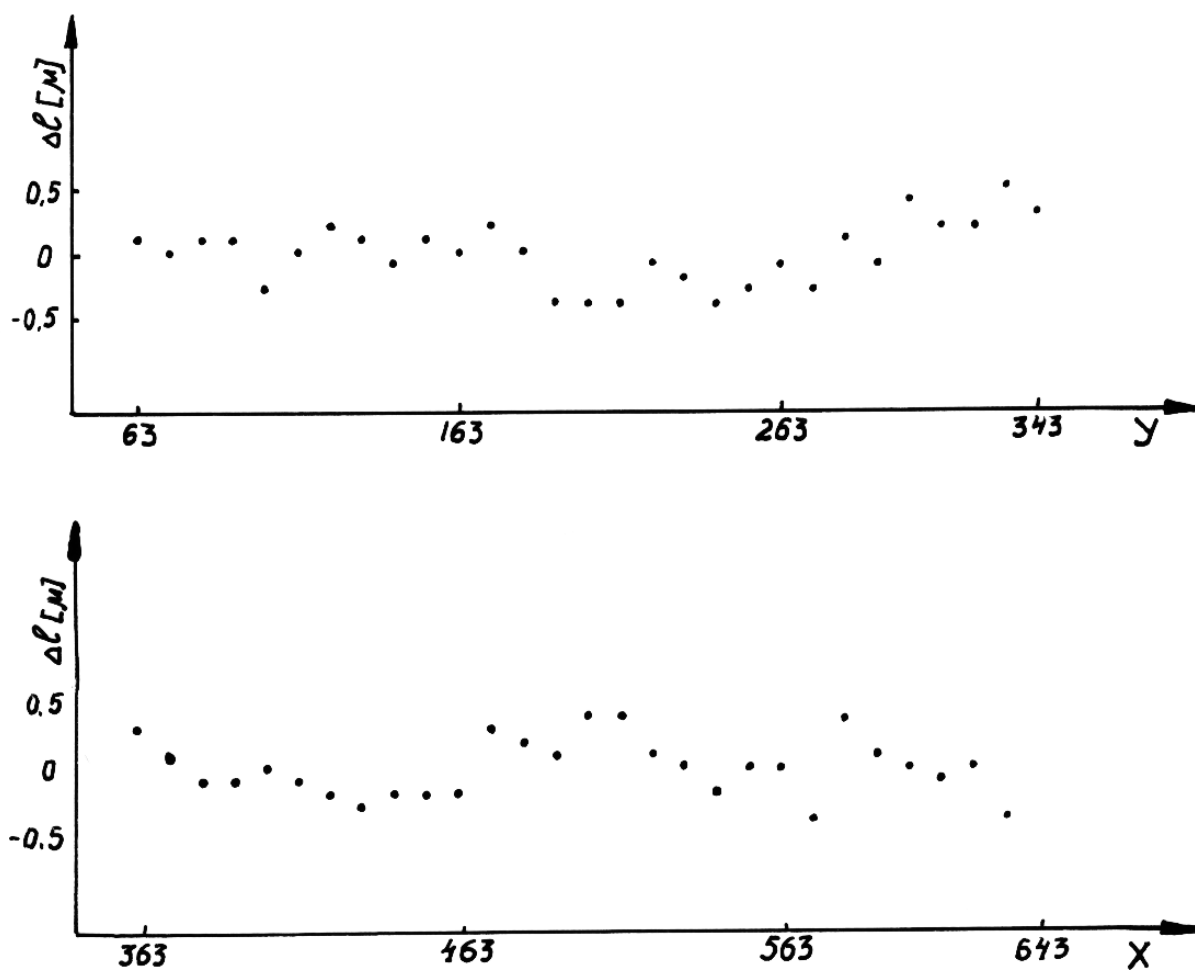


Рис. 5