

Из полученного выражения (13) можно сделать вывод, что на ошибку измерения расстояния радиодальномером ТРАП-1 наибольшее влияние оказывает блок СВЧ ($\beta_2=0,266$), блок УНЧ ($\beta_4=0,238$), блок подстроек ($\beta_6=0,297$) и фазометр ($\beta_7=0,1625$).

Такие факторы, как значение несущей частоты в заданном диапазоне перестройки $\Delta f=33$ Мгц ($\beta_1=0,04446$), блок УПЧ ($\beta_3=0,0075$) и блок кварцевого генератора ($\beta_5=0,0258$) слабо влияют на ошибку измерения, а изменение измеряемого расстояния практически не влияет на эту ошибку.

Полученные данные хорошо согласуются и с физическими представлениями о процессах, происходящих в радиодальномере. Дальнейший анализ выявленных в процессе эксперимента блоков показал, что блок подстроек неоптимально согласован с блоком УПЧ, в блоке СВЧ наблюдаются разбросы по КСВ как на прием, так и на передачу, а в блоке УНЧ основное влияние на ошибку оказывают имеющиеся там схемы фазовой автоподстройки разностной частоты.

Отсутствие влияния измеряемого расстояния на ошибку измерения, очевидно, объясняется тем, что частота кварцевого генератора не отклоняется от номинала, а точность измерения разности фаз в данном дальномере мало зависит от мощности поступающего на станцию сигнала.

Незначительное влияние несущей частоты на точность измерений в этом эксперименте вполне закономерно. Трассы трех базисов, на которых выполнены измерения, равнинны и имеют сплошной растительный покров (пашни).

1. Бродский В. З. Многофакторные регулярные планы. М., 1972. 2. Таблицы планов экспериментов для факторных и полиномиальных моделей. М., 1982.

Статья поступила в редакцию 30.01.86

УДК 523.3

П. М. ЗАВУЛЯК, А. Л. ЦЕРКЛЕВИЧ

АППРОКСИМАЦИЯ СЕЛЕНОПЕНЦИАЛА СОВОКУПНОСТЬЮ ТОЧЕЧНЫХ МАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОДНОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В последнее время при описании гравитационных полей рядом с традиционным разложением потенциала по шаровым функциям широкое распространение получило его представление с помощью потенциалов совокупности точечных масс. Самый удобный и наиболее легко реализуемый способ определения параметров

точечных масс состоит в равномерном их распределении на поверхности сферы оптимального радиуса, причем значения масс точечных источников вычисляются из решения несовместной системы линейных уравнений по методу наименьших квадратов.

Ниже рассмотрено построение многоточечных моделей гравитационного поля Луны с использованием методики, описанной в [2]. Эта методика в отличие от указанного выше подхода не сводится к непосредственному решению систем уравнений, из которых определяются параметры точечных масс.

Разобьем тело Луны на N сферических пирамид, вершины которых совпадают с центром ее масс, а основания оконтурены линиями координатной сетки в соответствии с равномерной разграфкой*. Считая внешний гравитационный потенциал Луны заданным в виде гармонических коэффициентов $\bar{c}_{nm}$, $\bar{s}_{nm}$ модели селенопотенциала, точечную массу, выраженную в долях массы Луны, определим по формуле

$$m_i = \omega_i \Delta \delta_i / 4\pi \delta_0, \quad (1)$$

$$\Delta \delta_i = \delta_0 [(R_i/R_0)^3 - 1]; \quad (2)$$

$$R_i = R_0 / \omega_i \left[1 + \sum_{n=2}^N \sum_{m=0}^n (\bar{a}_{nm} \bar{A}_{nm} + \bar{b}_{nm} \bar{B}_{nm}) \right]; \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{a}_{nm} \\ \bar{b}_{nm} \end{aligned} \right\} = \frac{2n+1}{3} \left\{ \begin{aligned} \bar{c}_{nm} \\ \bar{s}_{nm} \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{A}_{nm} \\ \bar{B}_{nm} \end{aligned} \right\} = \int_{\omega_i} \bar{P}_{nm}(\cos \vartheta) \left\{ \begin{aligned} \cos m\varphi \, d\omega \\ \sin m\varphi \, d\omega \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Здесь δ_0 и R_0 — средняя плотность и радиус Луны; $d\omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$ — элемент площади единичной сферы; ω_i — площадь основания i -й пирамиды; $\bar{a}_{nm}$, $\bar{b}_{nm}$ — коэффициенты разложения рельефа однородной планеты; $\bar{P}_{nm}(\cos \vartheta)$ — нормированные и соединенные функции Лежандра φ , λ — полярное расстояние и долгота.

Предположим, что массы пирамид m_i сосредоточены в центрах их оснований и находятся на некотором радиусе $\rho_i = R_i/R_0$ от центра масс Луны. Вычисляем эти радиусы в два этапа, используя метод одномерной оптимизации. Сначала найдем значение оптимального радиуса сферы $\rho = R_{opt}/R_0$ из условия

$$\sum_{j=1}^N |\Delta \bar{N}_j - \Delta \bar{N}_j^*(\rho)|^2 = \min, \quad (6)$$

где $\Delta \bar{N}_j$ и $\Delta \bar{N}_j^*(\rho)$ — значения ондуляций уровня поверхности, вычисляемые для j -й точки, находящейся в центре основания j -й пирамиды, по формулам

* Возможна равновесная или произвольная разграфка в соответствии с выраженными экстремумами поля силы тяжести.

$$\Delta N_i = \frac{R_0}{\omega_i} \sum_{n=2}^N \sum_{m=0}^n (\bar{a}_{nm} \bar{A}_{nm} + \bar{b}_{nm} \bar{B}_{nm}); \quad (7)$$

$$\Delta N_i^T(\rho) = \frac{f M_c}{g_0} \sum_{i=1}^N m_i (1 + \rho^2 - 2\rho \cdot \cos \psi_i)^{-1/2}. \quad (8)$$

Здесь ψ_i — угол между радиусами R_0 и ρ ; m_i — масса i -го точечного источника в единицах массы Луны; g_0 — среднее значение

Таблица 1
Модель точечных масс селенопотенциала (MTM-73), $R^0 = 1510$ км

№ п/п	Масса m_i в ед. $f M_c = 4902,64$	Радиус $\rho_i = R_i/R_0$	№ п/п	Масса m_i в ед. $f M_c = 4902,64$	Радиус $\rho_i = R_i/R_0$
1	-0,181064E-01	0,8521	38	-0,127351E-01	0,8810
2	-0,219053E-01	0,9066	39	-0,13181E-01	0,8720
3	-0,233050E-01	0,9028	40	-0,829933E-01	0,8507
4	-0,137795E-01	0,8704	41	0,355437E-01	0,8616
5	-0,931361E-02	0,8530	42	0,155077E+00	0,8475
6	-0,153017E-01	0,8702	43	-0,670235E-02	0,4063
7	-0,295941E-01	0,9027	44	0,141501E+00	0,8485
8	-0,266545E-01	0,9124	45	-0,407190E-01	0,8337
9	-0,262436E-01	0,8964	46	0,235355E-01	0,8505
10	-0,218817E-01	0,8772	47	0,522808E-01	0,8375
11	-0,140357E-01	0,8342	48	0,235168E-01	0,8900
12	-0,229665E-01	0,9050	49	0,850302E-02	0,8744
13	-0,481175E-02	0,8846	50	-0,373345E-02	0,9542
14	-0,404634E-01	0,8716	51	-0,339032E-01	0,8951
15	0,127211E-01	0,7708	52	0,710729E-02	0,4063
16	-0,323910E-01	0,8725	53	-0,155627E-01	0,8954
17	-0,431675E-01	0,8583	54	-0,450871E-01	0,8777
18	-0,259589E-02	0,9397	55	-0,990074E-01	0,8747
19	-0,266342E-01	0,8774	56	0,412629E-01	0,8807
20	-0,255339E-01	0,8848	57	0,185304E-01	0,8043
21	-0,518697E-01	0,8837	58	-0,292545E-03	0,4063
22	-0,237328E-01	0,9026	59	-0,411947E-01	0,8682
23	0,625461E-02	0,9413	60	-0,112931E-01	0,8194
24	0,279288E-01	0,9007	61	-0,183416E-01	0,8462
25	0,679098E-01	0,8540	62	-0,130469E-01	0,8194
26	0,102651E-01	0,8521	63	-0,223582E-01	0,8924
27	-0,197563E-01	0,7949	64	-0,126584E-01	0,6975
28	0,314929E-01	0,8803	65	-0,242043E-01	0,8842
29	0,155714E-02	0,9872	66	-0,263457E-01	0,8950
30	0,971370E-01	0,8583	67	-0,358219E-01	0,9124
31	0,446315E-01	0,8889	68	-0,281473E-01	0,8858
32	0,971191E-01	0,8655	69	-0,146931E-01	0,4610
33	-0,800455E-02	0,8681	70	0,134625E-01	0,8869
34	-0,257874E-01	0,8534	71	-0,186677E-01	0,8869
35	0,572785E-01	0,8695	72	-0,216467E-01	0,9012
36	0,608368E-01	0,8880	73	1,0000000	0,0
37	0,877019E-01	0,8531			

Примечание. Позиционные координаты точечных масс заданы по равномерной сетке через 30° . Координаты первой точечной массы $\lambda=15^\circ$, $\delta=24^\circ$.

Многоточечная модель селенопотенциала (MTM-163), $R^0 = 1590$ км

№ п/п	Масса m_i в ед. $f M_c = 4902,64$	Радиус $\rho_i = R_i/R_0$	№ п/п	Масса m_i в ед. $f M_c = 4902,64$	Радиус $\rho_i = R_i/R_0$
1	-0,441170E-02	0,9574	53	0,943434E-01	0,9064
2	-0,298720E-02	0,4064	54	-0,241244E-02	0,4064
3	-0,307883E-02	0,9954	55	0,713607E-01	0,9158
4	-0,512286E-02	0,6132	56	-0,117680E-01	0,8681
5	-0,612643E-02	0,9872	57	0,259773E-01	0,8921
6	-0,470995E-02	0,4064	58	-0,357112E-02	0,7948
7	-0,221057E-02	0,9954	59	0,247171E-01	0,9025
8	-0,166423E-02	0,4064	60	0,209228E-01	0,9003
9	-0,409439E-02	0,9921	61	0,214292E-01	0,8857
10	-733709E-02	0,8038	62	0,739031E-02	0,9224
11	-0,918826E-02	0,9744	63	0,290546E-01	0,9158
12	-0,922683E-02	0,8828	64	-0,215092E-02	0,4064
13	-0,857704E-02	0,9632	65	0,543809E-01	0,9305
14	-0,841074E-02	0,8352	66	0,248668E-01	0,9125
15	-0,746811E-02	0,9714	67	-0,141376E-01	0,9059
16	-0,536478E-02	0,4064	68	-0,137521E-01	0,9230
17	-0,478087E-02	0,9921	69	-0,874909E-02	0,9221
18	-0,514752E-02	0,4064	70	0,149136E-01	0,9158
19	-0,16669E-01	0,9732	71	0,45286E-01	0,9158
20	-0,169210E-01	0,9124	72	0,184051E-02	0,9827
21	-0,312676E-01	0,9230	73	0,218219E-01	0,9060
22	-0,267653E-01	0,9204	74	-0,822733E-03	0,4063
23	-0,889846E-02	0,9217	75	-0,152683E-01	0,8334
24	-0,154812E-01	0,9302	76	-0,195779E-02	0,9423
25	-0,171270E-01	0,9299	77	0,893128E-02	0,9158
26	-0,169834E-01	0,9239	78	0,633732E-01	0,9036
27	-0,154214E-01	0,9244	79	-0,948238E-03	0,4064
28	-0,214610E-01	0,9300	80	0,413029E-01	0,9459
29	-0,28960E-01	0,9284	81	0,861659E-01	0,9079
30	-0,336132E-01	0,9280	82	0,134497E-01	0,9220
31	-0,250711E-01	0,9305	83	0,631408E-01	0,9077
32	-0,136989E-01	0,9307	84	0,532550E-01	0,9158
33	-0,124707E-01	0,9281	85	0,103804E-01	0,8929
34	-0,123499E-01	0,9229	86	0,838276E-02	0,8195
35	-0,223125E-01	0,9158	87	-0,729281E-02	0,8781
36	-0,263406E-01	0,9220	88	0,207763E-01	0,9041
37	-0,160761E-01	0,9223	89	0,217229E-01	0,9125
38	-0,167233E-03	0,4064	90	0,375082E-01	0,9003
39	-0,212928E-01	0,9158	91	0,459081E-01	0,9076
40	0,327480E-01	0,8970	92	0,262490E-01	0,9073
41	-0,938756E-02	0,9191	93	-0,102863E-01	0,9125
42	-0,129959E-01	0,9211	94	-0,304005E-01	0,9004
43	-0,184464E-01	0,9198	95	0,306141E-01	0,9066
44	-0,192677E-02	0,9504	96	0,117323E-01	0,9364
45	0,750035E-02	0,8973	97	-0,683281E-03	0,4064
46	-0,630566E-02	0,9233	98	0,48860E-01	0,9322
47	-0,296504E-02	0,9365	99	0,567413E-01	0,9044
48	-0,656961E-03	0,4064	100	-0,216614E-01	0,9071
49	-0,187763E-01	0,9591	101	0,364556E-01	0,9076
50	-0,198707E-01	0,9213	102	0,548228E-01	0,9066
51	-0,938362E-02	0,9315	103	-0,335686E-01	0,8997
52	-0,183590E-01	0,9065	104	0,236091E-02	0,9007

№ п/п	Масса m_i в ед. $f M_C = 4902,64$	Радиус $R_i = R_0/R_0$	№ п/п	Масса m_i в ед. $f M_C = 4902,64$	Радиус $R_i = R_0/R_0$
105	0,114088E-01	0,9062	134	-0,567092E-02	0,9368
106	0,302104E-01	0,8968	135	-0,267625E-01	0,9302
107	0,648278E-02	0,8617	136	-0,370813E-01	0,9306
108	0,151814E-01	0,9125	137	-0,300222E-01	0,9311
109	0,205200E-01	0,9125	138	-0,188654E-01	0,9310
110	0,456048E-02	0,9248	139	0,273394E-02	0,9492
111	0,153572E-02	0,4064	140	-0,371414E-02	0,7355
112	-0,243056E-01	0,9339	141	-0,177204E-01	0,9401
113	0,975968E-02	0,8974	142	-0,145899E-01	0,9213
114	0,721862E-02	0,8994	143	-0,128427E-01	0,9191
115	-0,827627E-02	0,9194	144	-0,162105E-01	0,9191
116	-0,900292E-02	0,8760	145	-0,465512E-02	0,9313
117	-0,246214E-01	0,9183	146	-0,415902E-02	0,8584
118	-0,544558E-01	0,9194	147	-0,516069E-02	0,9666
119	-0,177709E-01	0,9195	148	-0,561633E-02	0,8215
120	-0,201669E-01	0,9075	149	-0,388688E-02	0,9793
121	-0,104098E-01	0,9062	150	-0,463464E-02	0,4063
122	0,334254E-01	0,9124	151	-0,729251E-02	0,7708
123	-0,285958E-02	0,8228	152	-0,771868E-02	0,9872
124	-0,189464E-01	0,9071	153	-0,785244E-02	0,8837
125	-0,143915E-01	0,9071	154	-0,840479E-02	0,9666
126	0,718564E-02	0,9225	155	-0,872062E-02	0,9010
127	-0,203642E-01	0,9219	156	-0,874825E-02	0,9504
128	-0,128622E-01	0,9211	157	-0,678904E-02	0,4063
129	-0,602512E-02	0,9282	158	-0,328833E-02	0,9954
130	-0,195211E-01	0,9276	159	-0,128372E-02	0,4064
131	-0,111373E-01	0,9284	160	-0,223502E-02	0,9921
132	-0,968421E-02	0,9280	161	-0,426697E-02	0,9591
133	-0,140007E-01	0,9281	162	-0,509964E-02	0,9591
			163	1,000000	0,0

Примечание. Полярные координаты σ , λ точечных масс заданы через 20° . Координаты первой точечной массы $\sigma = 10^\circ$, $\lambda = 19^\circ$.

силы тяжести. Затем вычислим значения радиуса $\rho_i = R_0/R_0$ для каждой точечной массы при условии, чтобы разность значений высот уровней поверхности, определенных по (7) и (8) (в последней формуле вместо ρ подставляем ρ_i), была минимальной в метрике C , т. е.

$$\inf_{0,4 < \rho_i < 1} \max_{1 \leq i \leq N} |\Delta \bar{N}_i - \Delta N^T(\rho_i)|. \quad (9)$$

Отметим здесь, что при вычислении радиуса-вектора ρ_i i -й точечной массы все другие точечные массы модели располагаются по одной сфере оптимального радиуса ρ .

С целью исследования влияния изменения числа точечных масс в многопотенциальной модели на точность аппроксимации селенопотенциала построено две модели, параметры которых приведены в табл. 1 и 2. В качестве исходной информации использовались значения $fM = 4902,64 \text{ км}^3/\text{с}^2$, $R_0 = 1738,0 \text{ км}$, $\delta_0 = 3,343 \text{ г/см}^3$ и гравиметрические коэффициенты $\bar{c}_{nm}$, $\bar{s}_{nm}$ модели Билге, Феррари (БФ, 16×16) [3]. Разбивка тела Луны на пирамиды осуществлялась

по равномерной разграфке: для модели МТМ — 73 через 30° по широте φ и долготу λ , для МТМ — 163 через 20° по φ и λ .

Построенные модели оценивали в сравнении с исходной моделью селенопотенциала по результатам прогнозирования орбит имитационных ИСЛ и по значениям разностей высот уровней поверхности. При определении положения имитационного ИСЛ в поле сил притяжения, задаваемых моделями (БФ, 16×16) и МТМ, критерием оценки моделей точечных масс служило расхождение Δs_{ij} , вычисляемое по формуле

$$\Delta s_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2]^{1/2}, \quad (10)$$

где x_i, y_i, z_i и x_j, y_j, z_j — соответственно координаты спутника, полученные по моделям (БФ, 16×16) и МТМ.

В табл. 3 даны значения расхождений Δs_{ij} в положении имитационных ИСЛ после 0,125 сут. полета по круговой наклонной орбите ($i = 70^\circ$) на высотах 50, 100, 250 км в поле сил тяготения, задаваемых сравниваемыми моделями селенопотенциала. Для оценки возможных значений расхождений Δs_{ij} в табл. 3 приведен также значения Δs_{ij} , полученные из сравнения обсуждаемых моделей и модели Билге-и Феррари усеченной до восьмого порядка (БФ, 8×8). Как видно из табл. 3, сравнительная оценка много-точечных моделей селенопотенциала по результатам вычисления элементов орбит имитационных ИСЛ позволяет определить установленные степени их согласованности с исходной моделью (БФ, 16×16). Значения Δs_{ij} рассчитанные по сравниваемым моделям (БФ, 16×16) и МТМ, заметно меньше, чем Δs_{ij} , вычисленные по модели (БФ, 8×8) и (БФ, 8×8). Таким образом, модели МТМ с приемлемой точностью могут заменить модель (БФ, 16×16) при прогнозировании орбит ИСЛ. При этом время, необходимое для вычисления прогнозируемой орбиты ИСЛ, значительно уменьшается.

Выполним теперь сравнительный анализ обсуждаемых моделей селенопотенциала по результатам вычисленных значений разностей уровней поверхности. В табл. 4 приведены значения средних квадратических разностей высот уровней поверхности, полученных соответственно на множестве точек, находящихся в центрах оснований сферических пирамид, разделивших тело Луны (первая колонка), в узлах десятиградусной селенографической разграфки (вторая колонка), по осредненным в трапециях ($30 \times 30^\circ$ и $20 \times 20^\circ$) значениям высот и дискретным значениям этих величин, определенным в центрах трапеций (третья колонка). В четвертой колон-

Таблица 3

Значения Δs_{ij} , км	Значения Δs_{ij} , км		
	БФ (16x16)	МТМ-73	МТМ-163
Спутник S_1 ($H = 50 \text{ км}$)			
БФ (16x16)	0,0	0,0	0,0
МТМ-73	0,72	0,0	0,0
МТМ-163	0,87	0,80	0,0
БФ (8x8)	2,40	1,74	2,15
Спутник S_2 ($H = 100 \text{ км}$)			
БФ (16x16)	0,0	0,0	0,0
МТМ-73	0,44	0,0	0,0
МТМ-163	0,74	0,58	0,0
БФ (8x8)	1,67	1,32	1,46
Спутник S_3 ($H = 250 \text{ км}$)			
БФ (16x16)	0,0	0,0	0,0
МТМ-73	0,27	0,0	0,0
МТМ-163	0,19	0,14	0,0
БФ (8x8)	1,12	1,31	1,20

А. Ф. КАНТОНОВ, В. М. КОЛТУНОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШИРОТЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

ке таблицы для оценки влияния сглаживания высот уровенной поверхности по упомянутым трапециям даны среднеквадратические разности высот, вычисленные по моделям (БФ, 16×16) аналогично расчетам для третьей колонки.

Таблица 4

Среднеквадратические разности высот
уровенных поверхностей, полученных
по сравниваемым моделям сгенопотенциала

(БФ, 16х16) — (МТМ-73)		(БФ, 16х16) — (БФ, 16х16) интегрально-дискретное	
σ (30×30°), м	σ (10×10°), м	σ (30×30°), м	σ (30×30°), м
44	77	27	37
(БФ, 16х16) — (МТМ-163)			
σ (20×20°), м	σ (10×10°), м	σ (20×20°), м	σ (20×20°), м
38	55	22	32

ческих пирамид. Таким образом, подтверждается вывод [1], что при аппроксимации трапециального поля планеты совокупностью потенциалов точечных масс точность повышается с увеличением числа точечных масс. Однако, судя по данным табл. 3, определенной закономерности в значениях $\Delta\sigma$ в зависимости от числа точечных масс в моделях МТМ не обнаруживается. Это дает основание сделать вывод, что при построении моделей точечных масс для целей прогнозирования орбит ИСД необходимы другие критерии оценки модели в процессе определения ее параметров, а возможно и другой подход в их вычислении. Описание трапециального поля планеты совокупностью потенциалов точечных масс имеет неконструктивный характер, выражающийся прежде всего в невозможности построения универсальной модели. Следовательно, необходимо подбирать алгоритм и выполнять построение модели точечных масс с учетом конкретной цели ее применения.

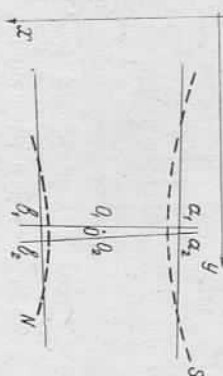
1. Марченко А. Н. О некоторых теоретических аспектах представления геопотенциала потенциалом системы точечных масс // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотоосъемка. 1982. № 3. С. 51—57. 2. Деркавич А. Л., Волжанин С. Д. Об одном методе построения модели точечных масс трапециального поля планеты // Письма в Астрономический журнал. 1984. Т. 10. № 7. С. 549—553. 3. Bills B. G., Ferrati A. J. A harmonic analysis of lunar gravity // J. Geophys. Res. 1980. V. 85. № 2. P. 1013—1025.

Статья поступила в редакцию 14.04.86

В практике полевых астрономо-геодезических определений фотограметрический метод экспериментально апробирован при определении долготы по способу Сингера и широты по способу Певцова [1—3]. Для этой цели использован астрономический теодолит АУ 2/10, снабженный фотограметрической насадкой [1], а также усовершенствованный полевой программный хронометростратор [4]. Астрономический теодолит с фотограметрической насадкой пред-

Рис. 1. Схема, поясняющая принцип обработки негатива.

S — след южной звезды, N — след северной звезды, точка O — геометрический центр негатива, $a_1b_1=L_1$, $a_2b_2=L_2$, $a_1O_1 \approx a_2O_2 \approx l_1$, $b_1O_1 \approx b_2O_2 \approx l_2$.



ставлял собой оптическую систему с эквивалентным фокусным расстоянием $F_3=2,51$ м и относительным отверстием $D/F_3=1/46$. На фотопленке ОРШО NP-27 удавалось регистрировать звезды до 4,5 величины.

В июле 1985 г. выполнены экспериментальные широтные определения по способу Талкотта с фотограметрической регистрацией прохождений звезд. При этом применялись астрономический теодолит УВ 2/2 с фотограметрической насадкой ($F_3=2,36$ м), полевой хронометростратор и аэрофотопленка Изопанхром, тип. 29. Общая светочувствительность системы повысилась до 5,2 звездной величины.

Результатом проведенного эксперимента стали девять приодных для измерений астрономических, полученных из наблюдений четырех пар Талкотта в течение трех ночей. Обе звезды каждой пары экспонировали на один кадр — следы звезд на негативах представлялись пунктирными линиями (рис. 1). Перед началом и в конце наблюдений выполняли привязку шкалы времени хронометростратора к шкале координированного времени UTC.

Измерение негативов выполняли с помощью микроскопа УИМ-23. Для каждого следа измеряли координаты X и Y десяти точек, расположенных симметрично относительно меридиана. По методу наименьших квадратов определяли уравнение аппроксимирующей прямой для каждого следа. Вычисляли координаты X_m , Y_m точки на линии следа звезды, соответствующей моменту прохождения звезды через меридиан $T_m=a$. Затем определяли уравнение прямой, проходящей через точку (X_m, Y_m) перпендикулярно следу звезды (аппроксимирующей прямой), и вычисляли рас-