

УДК 528.232.24.

М. И. РУСИН

РЕШЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА СФЕРОИДЕ КЛЕРО

В данной статье приводятся исследования некоторых вопросов, связанных с решением геодезических задач на поверхности сфероида Клеро. Эти исследования позволят выяснить, целесообразно ли использование сфероида для решения упомянутых задач.

Прежде чем рассматривать вопросы, относящиеся непосредственно к геодезическим задачам, установим основные соотношения на указанной поверхности. При этом не будем приводить подробных выводов формул, так как они получены известными методами.

Уравнение меридианного сечения на поверхности сфероида имеет вид

$$\rho = a(1 - \alpha \sin^2 \Phi), \quad (1)$$

а сама поверхность определится тремя уравнениями:

$$\begin{aligned} X &= a(1 - \alpha \sin^2 \Phi) \cos \Phi \cos L; \\ Y &= a(1 - \alpha \sin^2 \Phi) \cos \Phi \sin L; \\ Z &= a(1 - \alpha \sin^2 \Phi) \sin \Phi, \end{aligned} \quad (2)$$

где параметры Φ и L — соответственно геоцентрические широта и долгота.

В прямоугольных координатах рассматриваемая поверхность определяется уравнением

$$(X^2 + Y^2 + Z^2)^3 = (aX^2 + aY^2 + bZ^2)^2. \quad (3)$$

Полагая в уравнении (1) Φ равным 0° и 90° , получим соответственно $\rho_0 = a$ и $\rho_{90} = a(1 - \alpha) = b$, откуда $\alpha = \frac{a - b}{a}$.

Следовательно, в уравнениях (1) — (3) a , b , α — соответственно большая полуось, малая полуось и полярное сжатие.

В уравнениях (2) в качестве одного из параметров взята геоцентрическая широта Φ . В некоторых случаях в дальнейшем будем пользоваться геодезической широтой B и приведенной широтой u , геометрический смысл которых аналогичен геометрическому смыслу соответствующих координат эллипсоида. Связь между введенными понятиями широт дается формулами

$$\cos u = (1 - \alpha \sin^2 \Phi) \cos \Phi, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \cos \Phi &= \left[\frac{\cos u}{2\alpha} + \sqrt{\left(\frac{\cos u}{2\alpha}\right)^2 + \left(\frac{1 - \alpha}{3\alpha}\right)^3} \right]^{1/2} + \\ &+ \left[\frac{\cos u}{2\alpha} - \sqrt{\left(\frac{\cos u}{2\alpha}\right)^2 + \left(\frac{1 - \alpha}{3\alpha}\right)^3} \right]^{1/2}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} B = \operatorname{tg} \Phi \left(1 + \frac{2\alpha}{1 - 3\alpha \sin^2 \Phi} \right). \quad (6)$$

Линейный элемент поверхности в координатах Φ и L получается в виде

$$ds^2 = Ed\Phi^2 + GdL^2 + 2Fd\Phi dL, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} E &= a^2 [1 - 2\alpha \sin^2 \Phi + \alpha^2 (4 \sin^2 \Phi - 3 \sin^4 \Phi)], \\ G &= a^2 (1 - \alpha \sin^2 \Phi)^2 \cos^2 \Phi, \\ F &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Из равенства $F=0$ следует ортогональность координатных линий $\Phi = \text{const}$, $L = \text{const}$.

Поверхность сфероида Клеро является поверхностью вращения, следовательно, параллель — окружность, радиус которой

$$r = a (1 - \alpha \sin^2 \Phi) \cos \Phi. \quad (9)$$

Обозначив

$$W^2 = 1 - 2\alpha \sin^2 \Phi + \alpha (4 \sin^2 \Phi - 3 \sin^4 \Phi) \quad (10)$$

и принимая во внимание (9), напишем

$$ds^2 = a^2 W^2 d\Phi^2 + r^2 dL^2. \quad (11)$$

Элементы дуг меридиана (ds_m) и параллели (ds_n) получим из (11)

$$ds_m = a W d\Phi, \quad (12)$$

$$ds_n = r dL. \quad (13)$$

Длина дуги меридиана между точками, имеющими широты Φ_1 и Φ_2 , определяется формулой

$$\begin{aligned} s_m &= a [A(\Phi_2 - \Phi_1) + B \sin(\Phi_2 - \Phi_1) \cos 2\Phi_m - C \sin 2(\Phi_2 - \Phi_1) \cos 4\Phi_m + \\ &+ D \sin 3(\Phi_2 - \Phi_1) \cos 6\Phi_m - E \sin 4(\Phi_2 - \Phi_1) \cos 8\Phi_m + \dots], \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$\Phi_m = \frac{1}{2}(\Phi_1 + \Phi_2),$$

$$A = 1 - \frac{1}{4}e^2 + 0e^4 + \frac{1}{64}e^6 + \frac{7}{512}e^8 + \dots;$$

$$B = \frac{1}{4}e^3 + \frac{1}{16}e^5 + \frac{3}{128}e^7 + \frac{5}{512}e^9 + \dots;$$

$$C = \frac{1}{32}e^4 + \frac{3}{128}e^6 + \frac{1}{64}e^8 + \dots;$$

$$D = \frac{1}{384}e^6 + \frac{5}{1536}e^8 + \dots;$$

$$E = \frac{1}{2048}e^8 + \dots.$$

Параметр сфероида e^2 , определяющий коэффициенты (15), получим из формулы

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - e^2}. \quad (16)$$

Длина дуги параллели, долготы конечных точек которой L_1 и L_2 , выражается формулой

$$s_n = a(L_2 - L_1) (1 - \alpha \sin^2 \Phi) \cos \Phi, \quad (17)$$

где Φ — широта параллели.

Радиусы кривизны меридиана M и первого вертикала N определяются формулами

$$M = \frac{aW^3}{1 + 2\alpha - 6\alpha \sin^2 \Phi + 3\alpha^2 \sin^2 \Phi (2 - \sin^2 \Phi)}, \quad (18)$$

$$N = \frac{a(1 - \alpha \sin^2 \Phi) W}{1 - 3\alpha \sin^2 \Phi}. \quad (19)$$

Геодезические линии на рассматриваемой поверхности в ортогональных криволинейных координатах определяет система уравнений

$$\frac{d\Phi}{ds} = \frac{\cos A}{\sqrt{E}};$$

$$\frac{dL}{ds} = \frac{\sin A}{\sqrt{G}}; \quad (20)$$

$$\frac{dA}{ds} = -\frac{1}{\sqrt{E}} \frac{d\sqrt{G}}{d\Phi} \frac{dL}{ds},$$

где A — азимут.

Введем обозначения:

$$V = 1 - \alpha \sin^2 \Phi; \quad (21)$$

$$T = 1 + 2\alpha - 3\alpha \sin^2 \Phi.$$

С учетом (8) и принятых обозначений (10), (21) система (20) переписывается в виде

$$\frac{d\Phi}{ds} = \frac{\cos A}{aW};$$

$$\frac{dL}{ds} = \frac{\sin A}{aV \cos \Phi}; \quad (22)$$

$$\frac{dA}{ds} = \frac{T \operatorname{tg} \Phi}{aVW} \sin A.$$

Первый интеграл этой системы дает уравнение Клеро

$$(1 - \alpha \sin^2 \Phi) \cos \Phi \cdot \sin A = c. \quad (23)$$

Таким образом, мы получили все соотношения, необходимые для решения геодезических задач на рассматриваемой поверхности. Перейдем теперь непосредственно к решению геодезических задач, причем будем рассматривать малые расстояния, не превышающие 120 км, и большие расстояния — в 1000 км и более.

Исходными уравнениями для решения прямой геодезической задачи являются дифференциальные уравнения (22). Решение названной

системы уравнений будем искать в виде рядов, расположенных по возрастающим степеням длины геодезической линии s :

$$\begin{aligned}\Phi_2 - \Phi_1 &= \frac{d\Phi}{ds} s + \frac{d^2\Phi}{ds^2} \frac{s^2}{2} + \frac{d^3\Phi}{ds^3} \frac{s^3}{6} + \dots; \\ L_2 - L_1 &= \frac{dL}{ds} s + \frac{d^2L}{ds^2} \frac{s^2}{2} + \frac{d^3L}{ds^3} \frac{s^3}{6} + \dots; \\ A_2' - A_1 &= \frac{dA}{ds} s + \frac{d^2A}{ds^2} \frac{s^2}{2} + \frac{d^3A}{ds^3} \frac{s^3}{6} + \dots.\end{aligned}\quad (24)$$

Производные выражений (24) должны быть взяты в начальной точке, то есть должны вычисляться при значениях $\Phi = \Phi_1$, $A = A_1$.

Очевидно, число членов в рядах (24) зависит от длины геодезической линии и требуемой точности определения координат и азимутов. При $s \leq 120$ км и точности вычисления координат $0'',0001$ и азимутов $0'',001$ достаточно удерживать в (24) члены, содержащие производные пятого порядка. Производные первого порядка даются уравнениями (22).

Не приводя подробностей вычисления вторых и последующих производных и преобразований, связанных с подстановкой производных в ряды (24), приведем формулы разностей координат и азимутов в окончательном виде

$$\begin{aligned}\Phi_2 - \Phi_1 &= p - \frac{1}{2} q^2 \frac{TV}{W^2} t - p^2 \frac{T \left(1 - \frac{2}{T}\right)}{W^2} (\alpha - \eta^2) t - \\ &- \frac{1}{6} p q^2 \frac{TV}{W^2} \left[1 + \left(1 + 2 \frac{T}{V}\right) t^2 + \left(8 \frac{2-T}{W^2} + \frac{2}{V} - \frac{6}{T}\right) \eta^2 \right] - \\ &- \frac{1}{3} \frac{p^3}{W^2} \left\{ (2-T)(2\eta^2 - \alpha) - 2\eta^2(\alpha - \eta^2) \left[3 + 4 \frac{(2-T)^2}{W^2} \right] \right\} - \\ &- \frac{1}{12} p^2 q^2 \frac{TV}{W^2} \frac{1}{t} \left[\left(1 + 3 \frac{T}{V}\right) t^2 + \left(1 + 3 \frac{T}{V} + 2 \frac{T^2}{V^2}\right) t^4 + 8\eta^2 \right] - \\ &- \frac{1}{3} p^4 \frac{\eta^2}{t} + \frac{1}{24} q^4 \frac{T^2 V^2}{W^4} t \left[1 + \left(1 + 2 \frac{T}{V}\right) t^2 + 4\eta^2 \right] + \\ &+ 120 p q^4 (1 + 30t^2 + 45t^4) - \frac{1}{30} p^3 q^2 (2 + 15t^2 + 15t^4); \quad (25)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(L_2 - L_1) \cos \Phi &= q + p q \frac{T}{V} t + \frac{1}{3} q p^2 \frac{T}{V} \left[1 + \left(2 + \frac{T}{V}\right) t^2 - \right. \\ &- \left. \left(\frac{6}{T} - 2 \frac{2-T}{W^2} - \frac{4}{V} \right) \eta^2 \right] - \frac{1}{3} q^3 \frac{T^2}{W^2} t^2 + \frac{1}{12} p^3 q \frac{T}{V} t \left[5 + 3 \frac{T}{V} + \right. \\ &+ \left. \left(6 + 5 \frac{T}{V} + \frac{T^2}{V^2} \right) t^2 + 2\alpha \right] - \frac{1}{12} p q^3 \frac{T^2}{W^2} t \left[4 + \left(7 + 5 \frac{T}{V} \right) t^2 - 2\eta^2 \right] + \\ &+ \frac{1}{15} q p^4 (2 + 15t^2 + 15t^4) - \frac{1}{15} p^2 q^3 (1 + 20t^2 + 30t^4) + \frac{1}{15} q^5 (1 + 3t^2) t^2, \quad (26)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_2 \pm 180^\circ - A_1 = & q \frac{T}{W} t + \frac{1}{2} p q \frac{T}{W} \left[1 + \left(1 + \frac{T}{V} \right) t^2 + 2 \left(\frac{1}{V} + \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{2-T}{W^2} - \frac{3}{T} \right) \eta^2 \right] + \frac{1}{3} p^2 q \frac{t}{W} \left[T \left(1 + \frac{3}{2} \frac{T}{V} \right) + T \left(1 + \frac{3}{2} \frac{T}{V} + \frac{1}{2} \frac{T^2}{V^2} \right) t^2 + \right. \\
& \left. + \left(-9 + 3 \frac{T}{V} + 4T \frac{2-T}{W^2} - 6\eta^2 \right) \alpha + \left(6 + 3 \frac{T^2}{V^2} + 3 \frac{T^2}{V} \frac{2-T}{W^2} - \right. \right. \\
& \left. \left. - 11 \frac{T}{V} - 2T \frac{2-T}{W^2} + 6\eta^2 \right) \eta^2 \right] - \frac{1}{6} q^3 \frac{T^2 V}{W^3} t \left[1 + \left(1 + \frac{T}{V} \right) t^2 + \right. \\
& \left. + 2 \left(\frac{1}{V} + \frac{2-T}{W^2} - \frac{3}{T} \right) \eta^2 \right] + \frac{1}{12} p^3 q \frac{T}{W} \left[\left(1 + \frac{3}{2} \frac{T}{V} - 2\alpha - 6\eta^2 \right) + \right. \\
& \left. + \left(4 + 7 \frac{T}{V} + 3 \frac{T^2}{V^2} - 2\alpha - 8\eta^2 \right) t^2 + \left(3 + \frac{11}{2} \frac{T}{V} + 3 \frac{T^2}{V^2} + \frac{1}{2} \frac{T^3}{V^3} \right) t^4 \right] - \\
& - \frac{1}{12} p q^3 \frac{T V^2}{W^3} \left[\left(\frac{1}{2} \frac{T}{V} - 8\eta^2 \right) + \left(4 \frac{T}{V} + 6 \frac{T^2}{V^2} - 14\eta^2 \right) t^2 + \right. \\
& \left. + \left(\frac{7}{2} \frac{T}{V} + 6 \frac{T^2}{V^2} + \frac{5}{2} \frac{T^3}{V^3} \right) t^4 \right] + \frac{1}{60} p^4 q t \left(\frac{61}{2} + 90t^2 + 60t^4 \right) + \\
& + \frac{1}{120} q^5 t (1 + 20t^2 + 24t^4) - \frac{1}{60} p^2 q^3 t (29 + 140t^2 + 120t^4), \quad (27)
\end{aligned}$$

где

$$p = s \frac{\cos A}{aW}, \quad q = s \frac{\sin A}{aV}; \quad (28)$$

$$t = \operatorname{tg} \Phi, \quad \eta^2 = \alpha \sin^2 \Phi. \quad (29)$$

В формулах (25)–(27) отброшены члены, содержащие малые величины порядка $s^5 \alpha$, $s^4 \alpha^2$.

Решение прямой геодезической задачи по полученным формулам выполним по способу Шрейбера (способ вспомогательной точки). Общий план решения данным способом состоит в применении формул (25)–(27) последовательно к геодезическим линиям AC и CB , длины которых получим из решения прямоугольного сферического треугольника ABC (см. рисунок). При $S \leq 120$ км треугольник ABC можно рассматривать как сферический. Применяя для его решения способ аддитаментов, окончательно получим:

$$\lg AC = \lg p_1 + (5)q_1^2; \quad (30)$$

$$\lg BC = \lg q_1 - \frac{1}{2} (5)p_1^2,$$

где

$$p_1 = s \cos A_1, \quad q_1 = s \sin A_1, \quad (31)$$

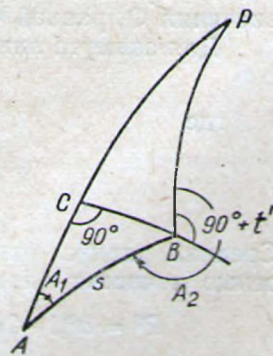


Схема к решению геодезических задач.

$$(5) = \frac{\mu 10^8}{3R^2}.$$

Применим формулы (25)—(27) к геодезической линии *АС*. Очевидно, в этом случае необходимо воспользоваться только формулой (25). Опуская подробности преобразований, запишем ее окончательный вид

$$\lg(\Phi_0 - \Phi_1)'' = \lg \frac{\rho''}{aW} \cdot p_1 - \frac{\mu 10^8}{aW^3} T \left(1 - \frac{2}{T}\right) (\alpha - \eta^2) t \cdot p_1 + \\ + (5)q_1^2 - (5)(2\eta^2 - \alpha)p_1^2, \quad (32)$$

где Φ_0 — широта точки *С*.

Применяя формулы (25)—(27) к геодезической линии *СВ*, окончательно получим:

$$\lg d'' = \lg(\Phi_0 - \Phi_2)'' = \lg \frac{T \cdot t \cdot \rho''}{2a^2 V W^2} q_1^2 - \frac{\mu 10^8}{12a^2 V^2} q_1^2 (1 + 3t^2 + 2\alpha + \\ + 12\eta^2) - (5)p_1^2; \quad (33)$$

$$\lg(L_2 - L_1)'' = \lg \frac{\sec \Phi \cdot \rho''}{aV} q_1 - \frac{\mu 10^8 \cdot T^2 \cdot t^2}{3a^3 \cdot V \cdot W^2} q_1^2 - \frac{1}{2}(5)p_1^2 + \\ + \frac{1}{30}(5) \frac{t^2(6 + 13t^2)}{a^2} q_1^4 + \frac{1}{3} \frac{(5)}{a^2} t^2 p_1^2 q_1^2; \quad (34)$$

$$\lg(t'')'' = \lg \frac{T \cdot t \cdot \rho''}{aVW} q_1 - \frac{\mu 10^8}{6a^2} \frac{(1 + 2t^2 + 2\alpha + 2\eta^2)}{V^2} q_1^2 - \frac{1}{2}(5)p_1^2. \quad (35)$$

В формулах (32)—(35) удержаны члены, обеспечивающие точность определения разностей координат — $0'',0001$ и разности азимутов — $0'',001$. Функции широты в формуле (32) должны вычисляться при значении Φ , равной Φ_1 , в формулах (33)—(35) — при $\Phi = \Phi_0$.

Для азимута линии *ВА* имеем

$$A_2 = A_1 \pm 180^\circ + t' - \varepsilon, \quad (36)$$

где

$$\lg \varepsilon'' = \lg \frac{\rho''}{2R_m^2} \cdot p_1 q_1 + (5)q_1^2 - \frac{1}{2}(5)p_1^2. \quad (37)$$

Средний радиус кривизны R_m , входящий в (37), с достаточной степенью точности определяется выражением

$$R^2 = a^2[1 - 2\alpha(1 - 2 \sin^2 \Phi) + \alpha^2(4 - 18 \sin^2 \Phi + 23 \sin^4 \Phi)], \quad (38)$$

полученным из (18) и (19).

Формулы (32)—(36) решают прямую геодезическую задачу на малые расстояния ($s \leq 120$ км).

Решение геодезических задач на большие расстояния выполним по идее Бесселя.

Для установления зависимостей между разностью долгот l на сфероиде и ω на шаре, длиной геодезической линии s и дугой большого круга σ в нашем случае имеем дифференциальные уравнения

$$ds = \frac{aW \sin u}{T \sin \Phi} d\sigma, \quad (39)$$

$$dl = \frac{W \sin u}{T \sin \Phi} d\omega. \quad (40)$$

Исходя из (5), с точностью до членов α^2 получим

$$\cos^2 \Phi = \cos^2 u [1 + 2\alpha \sin^2 u + \alpha^2 (3 - 10 \cos^2 u + 7 \cos^4 u)]. \quad (41)$$

Учитывая (41), уравнения (39) — (40) можно привести к виду

$$ds = a \left[1 - \alpha \cos^2 u - \alpha^2 \left(\frac{5}{2} \cos^2 u - 4 \cos^4 u \right) - \alpha^3 \left(2 \cos^2 u - \frac{41}{2} \cos^4 u + 21 \cos^6 u \right) - \dots \right] d\sigma, \quad (42)$$

$$dl = \left\{ 1 - \alpha \cos^2 u \left[1 + \alpha \left(\frac{5}{2} - 4 \cos^2 u \right) + \alpha^2 \left(2 + \frac{41}{2} \cos^2 u + 21 \cos^4 u \right) + \dots \right] \right\} d\omega. \quad (43)$$

Опуская подробности, связанные с интегрированием уравнений (42) и (43), приведем окончательные результаты. Из (42)

$$s = aA\sigma - B \sin \sigma \cos (2M + \sigma) + C \sin 2\sigma \cos 2(2M + \sigma) - D \sin 3\sigma \cos 3(2M + \sigma) + \dots, \quad (44)$$

где

$$A = \left(1 - \alpha + \frac{3}{2} \alpha^2 - \frac{5}{2} \alpha^3 \right) + \left(\frac{1}{2} \alpha - \frac{11}{4} \alpha^2 + 12\alpha^3 \right) \cos^2 m + \left(\frac{3}{2} \alpha^2 - \frac{255}{16} \alpha^3 \right) \cos^4 m + \frac{105}{16} \alpha^3 \cos^6 m + \dots,$$

$$B = \left(\frac{1}{2} \alpha - \frac{11}{4} \alpha^2 + 12\alpha^3 \right) \cos^2 m + \left(2\alpha^2 - \frac{85}{4} \alpha^3 \right) \cos^4 m + \frac{315}{32} \alpha^3 \cos^6 m + \dots, \quad (45)$$

$$C = \left(\frac{1}{4} \alpha^2 - \frac{85}{32} \alpha^3 \right) \cos^4 m + \frac{63}{32} \alpha^3 \cos^6 m + \dots,$$

$$D = \frac{21}{96} \alpha^3 \cos^6 m + \dots$$

Обозначим

$$\alpha_1 = \frac{\rho''}{A}, \quad \beta = \frac{B}{A} \rho'', \quad \gamma = \frac{C}{A} \rho'', \quad \delta = \frac{D}{A} \rho'', \quad (46)$$

тогда

$$s = \frac{a}{\alpha_1} [\sigma'' - \beta \sin \sigma \cos (2M + \sigma) + \gamma \sin 2\sigma \cos 2(2M + \sigma) - \delta \sin 3\sigma \cos 3(2M + \sigma) + \dots] \quad (47)$$

и

$$\sigma'' = \frac{s}{a} \alpha_1 + \beta \sin \sigma \cos (2M + \sigma) - \gamma \sin 2\sigma \cos 2(2M + \sigma) + \delta \sin 3\sigma \cos 3(2M + \sigma) - \dots \quad (48)$$

Из (43)

$$l'' = \omega'' - \alpha \sin m [\alpha' \sigma'' - \beta' \sin \sigma \cos (2M + \sigma) + \gamma' \sin 2\sigma \cos 2(2M + \sigma) - \dots], \quad (49)$$

где

$$\alpha' = \left(1 - \frac{3}{2} \alpha + \frac{5}{2} \alpha^2\right) + \left(2\alpha - \frac{43}{4} \alpha^2\right) \cos^2 m + \frac{63}{8} \alpha^2 \cos^4 m;$$

$$\beta' = \left[\left(2\alpha - \frac{43}{4} \alpha^2\right) \cos^2 m + \frac{21}{2} \alpha^2 \cos^4 m\right] \rho'';$$

$$\gamma' = \frac{21}{16} \alpha^2 \cos^4 m \cdot \rho''.$$
(50)

Входящие в (44)—(50) углы m и M имеют тот же геометрический смысл, что в способе Бесселя на эллипсоиде. Формулы (48)—(49) обеспечивают точность вычислений 0''001.

С установленными зависимостями между l и ω , s и σ дальнейшее решение задачи выполняется по плану способа Бесселя решения аналогичной задачи на эллипсоиде.

Для получения соответствующих выводов, исходя из поставленной задачи, рассмотренные нами способы решения геодезических задач на сфероиде Клеро сопоставляли с аналогичными способами на эллипсоиде. Сопоставление делалось путем сравнения формул и численных решений. Решением численных примеров предусматривалась также проверка полученных формул. Приводим исходные данные решения прямых геодезических задач по сторонам треугольника ABC .

Вершины треугольника	Уравненный сферический угол	Логарифмы стороны l у сферического треугольника	Координаты точки A . Азимут стороны AB
A	$60^\circ 00' 08,586$	5,0437 2606	$\Phi_A = 47^\circ 30' 00'',000$
B	$70 00 08,586$	5,0791 8125	$L_A = 35 00 00,000$
C	$50 00 08,586$	4,9904 4940	$A_{AB} = 60 00 00,000$

Решение выполнялось по формулам (32)—(37) (длины сторон треугольника близки к 120 км), причем параметры сpherоида приняты равными параметрам референц-эллипсоида Красовского.

Получены следующие результаты:

	AC	AB, BC	Угол C
Φ_C	$46^\circ 57' 06'',3481$	$46^\circ 57' 06'',3481$	$50^\circ 00' 08'',587$
L_C	$36 22 12,2415$	$36 22 12,2413$	

Угол C найден как разность азимутов соответствующих сторон треугольника.

На основе анализа решений главной геодезической задачи на сфероиде Клеро, сопоставления их с аналогичными решениями той же задачи на эллипсоиде можно сделать вывод, что сложность вычислений на обеих поверхностях примерно одинакова.

Работа поступила
1 декабря 1967 г.