

А. А. ЛИСТОПАДСКИЙ

О ЗАВИСИМОСТИ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ РАДИОДАЛЬНОМЕРА ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ РАДИОВОЛНЫ

В работе [1] отмечена зависимость результатов радиодальномерных измерений от длины линии, проявляющаяся в изменении постоянных поправок радиодальномеров, определенных на базисах различной длины.

Одной из причин изменения постоянной поправки радиодальномера является зависимость резонансной характеристики усилителей промежуточной частоты (УПЧ) от уровня входного сигнала [1].

Поскольку напряженность поля уменьшается с увеличением расстояния, постоянная поправка зависит от длины измеряемой линии.

При измерениях некоторая часть электромагнитной энергии волны отражается от подстилающей поверхности и принимаемый сигнал является результатом интерференции прямого и отраженных лучей. Формула напряженности поля в этом случае принимает вид [2, 3]:

$$E = \frac{173 \sqrt{PG}}{D} F, \quad (1)$$

где P — мощность излучения; G — коэффициент направленности антенны; D — расстояние; F — множитель ослабления.

Влияние подстилающей поверхности на напряженность поля учитывается в формуле (1) множителем ослабления [2]:

$$F = \sqrt{1 + 2R \cos \left(\Theta + \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda D} \right) + R^2}, \quad (2)$$

где R — модуль коэффициента отражения; Θ — угол потери фазы при отражении; h_1, h_2 — высоты станций над отражающей поверхностью; λ — длина волны.

Таким образом, множитель ослабления зависит от характеристик трассы: высоты прохождения луча, вида и свойств отражающей поверхности, которыми обусловлены величины коэффициента R и угла Θ .

При измерениях радиодальномером производят настройку на максимальную мощность излучения на каждой несущей частоте. Кроме того, небольшие изменения мощности излучения вызваны изменениями напряжения аккумуляторов, которое всегда находится в определенных пределах, контролируется по стрелочному прибору в положении переключателя «СТАБ».

Считая величины P и G неизменными в процессе измерений, из формулы (1) видим, что напряженность поля E будет зависеть от отношения F/D . Отсюда следует ожидать, что и постоянная поправка радиодальномера зависит от этого отношения.

Для определения постоянной поправки обычно выбирают базис, при измерении которого отсутствуют или существенно ослаблены отражения от подстилающей поверхности. При этом можно принять $F=1$. Если при измерении линий влияют отражения от подстилающей поверхности, то значение постоянной поправки для данной линии не будет соответствовать значению, полученному на базисе такой же длины, так как $F \neq 1$.

Для оценки величины возникающей ошибки мы использовали результаты определения постоянной поправки и измерений известных расстояний, приведенные в работах [1, 5]. Кроме того, были проведены радиодальномерные измерения на геодезическом полигоне Львовского политехнического института (г. Бережаны). Было измерено 16 линий по ходам полигонометрии, длины сторон которых определяли проволоками (табл. 1) с точностью 1 : 50 000.

Все линии расположены в равнинной местности вдоль грунтовой дороги, местами с незначительной травяной растительностью. Измерения проводились при умеренном порывистом ветре, при разной облачности. Линии измеряли радиодальномером РДГВ со штативов четырьмя приемами на двенадцати несущих частотах. Высоты лучей над подстилающей поверхностью колебались в пределах 1—2 м.

Поскольку угол скольжения в этом случае мал, коэффициент отражения R близок к 1, а угол потери фазы Θ — к 180° , формула (2) принимает вид [2]:

$$F=2 \left[\sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda D} \right]. \quad (3)$$

По формуле (3) вычисляли множитель ослабления для линий, приведенных в табл. 1.

Анализ результатов определения постоянной поправки на базисах различной длины, а также результатов измерения из-

вестных расстояний показывает, что зависимость постоянной поправки от отношения D/F близка к линейной. Поэтому представим указанную зависимость линейной регрессией:

$$K = \beta q + \alpha, \quad (4)$$

где β — коэффициент регрессии; $q = \frac{D}{F}$; α — свободный член.

Таблица 1

Результаты измерений сторон полигонометрии радиодальномером РДГВ

Высота станции, м		Длина линии измерения, м		Множитель ослабления F	q (км)
h_1	h_2	радиодальномером	провокой		
1,4	1,5	393,575	393,520	0,67	0,59
1,5	1,4	231,734	231,619	1,08	0,23
1,0	1,4	240,201	240,142	0,72	0,33
1,0	1,45	443,958	443,939	0,41	1,08
1,6	1,4	133,531	133,298	1,74	0,08
1,5	1,4	232,012	231,905	1,08	0,21
1,4	1,5	118,352	118,177	1,80	0,07
1,6	1,4	275,543	275,412	0,98	0,28
1,4	1,5	147,652	147,498	1,56	0,09
1,3	1,5	370,272	370,217	0,65	0,57
1,3	1,4	155,659	155,541	1,44	0,11
1,5	1,4	148,206	148,117	1,55	0,10
1,5	1,4	536,712	536,678	0,49	1,09
1,4	1,3	273,466	273,331	0,81	0,35
1,4	1,5	399,508	399,431	0,66	0,61
1,4	1,4	140,717	140,617	1,54	0,09

Таблица 2

Результаты аппроксимации линейной функцией *

Тип радиодальномера	Предельные значения q , км	Значения эмпирических коэффициентов		Коэффициент корреляции r
		β	α	
MRA-2	0,18— 4,96	1,61	—7,4	0,87
"	"	2,48	—5,5	0,99
"	"	1,78	—6,0	0,87
"	"	2,19	—2,9	0,93
"	"	2,10	—7,8	0,99
"	"	2,44	—7,5	0,98
«Луч»	0,2 —10,0	1,01	—86,2	0,93
"	"	1,06	—89,4	0,82
MRA-2	1,11—86,8	0,27	—0,3	0,90
РДГВ	0,08—1,09	12,52	—14,9	0,76

* Источник исходных данных для первых восьми измерений — работа [1], для девятого — работа [5], для десятого — табл. 1.

Значения α , β и r были вычислены для различных комплектов и типов радиодальномера (табл. 2) по формулам [4]:

$$\beta = \frac{m \sum \bar{q}_i K_i - \sum q_i \sum K_i}{m \sum q_i^2 - (\sum q_i)^2}; \quad \alpha = \frac{\sum K_i - \beta \sum q_i}{m}; \quad (5)$$

$$r = \beta \sqrt{\frac{m \sum q_i^2 - (\sum q_i)^2}{m \sum K_i^2 - (\sum K_i)^2}},$$

где $i=1, 2, 3, \dots, m$; m — количество эталонных линий, измеренных данным комплектом радиодальномера.

В первых восьми строках табл. 2 $q=D$, так как принято $F=1$. Для значений q из строки 9 множитель F вычисляли по формуле (2), при этом коэффициент отражения R определяли по графику зависимости R от угла скольжения, приведенному в работе [6]. Из табл. 2 видно также, что значения β и α существенно отличаются для разных комплектов. С увеличением диапазона значений q (3-й столбец) коэффициент регрессии β уменьшается. Большее значение β для радиодальномера РДГВ может свидетельствовать о нарушении общей линейной зависимости при малых значениях q . В последнем случае (строка 10) получено наименьшее значение коэффициента корреляции $r=0,76$. Это объясняется тем, что не учитывалась ошибка времени распространения, обусловленная отражениями.

На основании полученной линейной зависимости (4) определим изменение постоянной поправки ΔK при изменении q :

$$\Delta K = \beta \Delta q, \quad (6)$$

где

$$\Delta q = \frac{D_2}{F_2} - \frac{D_1}{F_1}. \quad (7)$$

Для одного и того же расстояния $D_1=D_2=D$ формула (7) принимает вид

$$\Delta q = D \left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1} \right). \quad (8)$$

Допустим теперь, что $F_1=1$, тогда, принимая во внимание выражения (6) и (8) и опуская индекс при F_2 , получим

$$\Delta K = \beta D \left(\frac{1}{F} - 1 \right). \quad (9)$$

Формула (9) определяет изменение постоянной поправки, вызванное влиянием отражений от подстилающей поверхности. Как видим, ΔK увеличивается с увеличением расстояния. При

изменении F ($0 \leq F \leq 2$) ΔK принимает как отрицательные (при $1 < F \leq 2$), так и положительные (при $0 < F < 1$) значения. Причем ΔK резко возрастает при $F \rightarrow 0$. Появление ∞ при $F=0$ можно объяснить неточной аппроксимацией.

Ниже приведены результаты расчета ΔK по формуле (9) для двух линий длиной 5 км и 2 км, а также значений q , не выходящих из пределов, указанных в третьем столбце табл. 2:

D , км	β	F	q , км	ΔK , см	$\frac{\Delta K}{D}$
5	1	2	2,5	-2,5	$0,5 \cdot 10^{-5}$
5	1	0,5	10	+5,0	10^{-5}
2	2	2	1	-2,0	10^{-5}
2	2	0,4	5	+6,0	$3 \cdot 10^{-5}$

Для расстояния 5 км расчет произведен при $\beta=1$, то есть по примерному значению, полученному для радиодальномера «Луч» (табл. 2). Соответственно и предельные значения q взяты для этого радиодальномера. Аналогично для расстояния 2 км и $\beta=2$ приняты во внимание пределы $q(0,18-4,96)$ для радиодальномера MRA-2.

Расчеты показывают, что изменение постоянной поправки радиодальномера, вызванное влиянием подстилающей поверхности, может достигать $3 \cdot 10^{-5} D$.

Таким образом, зависимость постоянной поправки от уровня сигнала приводит к изменению ее не только с увеличением расстояния, но и для линий одинаковой длины при наличии отражений от подстилающей поверхности. Это снижает точность радиодальномерных измерений, если учитывать только постоянную поправку, определенную на базисе.

При известных свойствах отражающей поверхности можно было бы рассчитать ΔK , зная зависимость $K=f(q)$, или рассчитать высоты установки станций, исходя из условия

$$q_D = q_0, \quad (10)$$

при котором постоянная поправка на линии ($q=q_D$) соответствует значению, полученному на базисе ($q=q_0$).

К сожалению, коэффициент отражения может быть известен только в очень редких случаях. Например, для водной поверхности при малых углах скольжения $R \approx 1$. Определим высоты установки станций для этого случая.

Условие (10) запишем в виде

$$\frac{D}{F} = q_0. \quad (11)$$

Принимая во внимание выражение (3), после простых преобразований получим

$$h_1 \cdot h_2 = \frac{\lambda D}{2\pi} \arcsin \frac{D}{2q_0}. \quad (12)$$

По формуле (12) можно определить высоты установки станций, при которых постоянная поправка не изменяется. Формула справедлива для измерений над хорошо отражающей поверхностью и при малых углах скольжения.

Учет влияния отражений от подстилающей поверхности на изменение постоянной поправки радиодальномера в каждом конкретном случае представляет определенные трудности, поэтому для повышения точности радиодальномерных измерений и более точного учета постоянной поправки нужно использовать в радиодальномерах УПЧ с недеформирующейся резонансной характеристикой при изменении величины входного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генике А. А., Верницкий М. И. Об одном источнике ошибок радиодальномерных измерений. — «Геодезия и картография», 1974, № 4, с. 30—34.

2. Калинин А. И., Черенкова Е. Л. Распространение радиоволн и работа радиoliniй. М., «Связь», 1971, 439 с.

3. Проворов К. Л., Носков Ф. П. Радиogeодезия. М., «Недра», 1973, 352 с.

4. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., «Наука», 1968, 288 с.

5. Delong B. Об исследовании внешних влияний на наблюдения радиодальномерами. — «Studia Geophysika et Geodaetica», 1964, № 1, с. 1—23.

6. Mezzani Luciano. Errori da riflessione nella determinazione di distanze con metodi elettronici a misura di fase. — «Bolletino di Geodesia e scienze affini», 1965, № 3, с. 405—446.

Работа поступила в редколлегия 24 июня 1975 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.