

*В. К. ПИСАРЕНКО*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ВЛИЯНИЯ СИЛЬНЫХ ОТРАЖЕНИЙ  
ОТ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ РАДИОДАЛЬНОМЕРАМИ \***

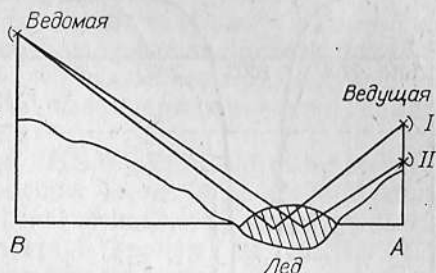
Одной из основных причин появления погрешностей, существенно влияющих на точность измерения расстояний геодезическими радиодальномерами, является отражение радиоволн от подстилающей поверхности. В связи с этим значительный интерес представляет дальнейшее совершенствование методов ослабления влияния этого источника погрешности на результаты радиодальномерных измерений. Мы провели экспериментальные исследования влияния отражения радиоволн при измерениях над льдом, когда следует ожидать единичное сильное отражение.

---

\* Статья содержит изложение доклада, прочитанного автором на Конференции выпускников геодезического факультета ЛПИ 20 февраля 1976 г.

Исследования выполняли на эталонном базисе длиной 5,96 км (рис. 1). Базис измеряли радиодальномером РДГ во всем диапазоне несущих частот на 39 установках шкалы объемного резонатора ведомой станции через 10 МГц. Положение первой зоны Френеля на базисе совпало с участком льда, который способствует зеркальному отражению радиоволн. Ведущую станцию радиодальномера устанавливали сначала на штативе, затем — на столике сигнала. При этом разность высот установки станции составила 11 м.

Рис. 1. Профиль трассы и расположение станций на базисе:  
 $M_{Г} = 1 : 50\,000$ ;  $M_{В} = 1 : 1\,000$ .



Учитывая геометрию трассы базиса, вычислили разности хода прямого и отраженного радиолучей  $\Delta l$  и углы встречи  $\gamma$  по формулам [2]:

$$\Delta l = \frac{2 h_A \cdot h_B}{D \cos \gamma}; \quad (1) \quad \gamma = \frac{h_A + h_B}{D \cos \gamma}; \quad (2)$$

где  $h_A$ ,  $h_B$  — высоты установок станций радиодальномера над точкой зеркального отражения;  $D$  — измеряемое расстояние;  $\gamma$  — угол наклона базиса.

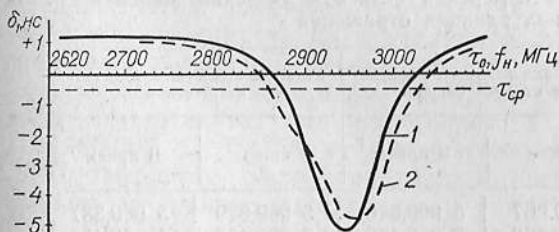


Рис. 2. Графики «разбросов» времени при измерении базиса со штатива ( $k=0,65$ ;  $\Delta\tau=1,69$  нс):  
 1 —  $\tau=5,80$  нс; 2 —  $\tau=5,96$  нс.

Изменение времени прохождения  $\tau$  по несущим частотам («разброс») при измерении базиса со штатива составило 5,96 нс (рис. 2, кривая 2), а с сигнала — 13,02 нс (рис. 3, кривая 2). Из этого «разброса» исключены инструментальные погрешности, связанные с внутренними отражениями в трактах радиодальномера из-за несогласованности их между собой. Сравнение «разбросов» времени  $\tau$  по несущим частотам при измерении базиса со штатива и со столика показывает, что с изменением разности хода  $\Delta l$  изменяется характер отражения радиоволн и амплитуда «разброса».

При измерении базиса с сигналов погрешность в длине  $\Delta D' = D_{\text{изм}} - D_{\text{эт}}$  составила для первого приема — 0,395 м, для второго — —0,416 м (см. таблицу), что соответствует относительным погрешностям 1 : 15 000 и 1 : 14 000. Если измерять этот базис с установки ведущей станции на штативе, то погрешности  $\Delta D'$  уменьшаются до —0,076 м для первого приема и —0,068 м

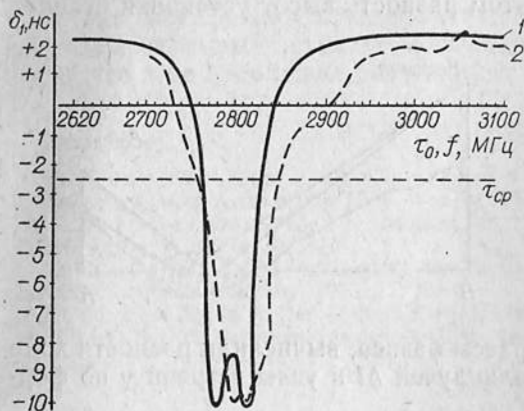


Рис. 3. Графики «разбросов» времени при измерении базиса с сигналов ( $k=0,8$ ;  $\Delta\tau=2,49$  нс):  
1 —  $\tau=13$  нс; 2 —  $\tau=13,02$  нс.

для второго с относительными погрешностями 1 : 78 000 и 1 : 88 000 соответственно. Как видим, результаты измерений длины базиса сопровождались значительными погрешностями, причиной которых, очевидно, является влияние отражений радиоволн от поверхности льда.

#### Результаты обработки измерений базиса и введения поправок из-за влияния отражений

Обозначения	Установка ведущей станции на столике сигнала		Установка ведущей станции на штативе	
	I прием	II прием	I прием	II прием
$D_{\text{изм}}$	5 960,067	5 960,046	5 960,379	5 960,387
$D_{\text{эт}}$	5 960,462	5 960,462	5 960,455	5 960,455
$\Delta D' = D_{\text{изм}} - D_{\text{эт}}$	—0,395	—0,416	—0,076	—0,068
$\Delta D' / D$	1:15 000	1:14 000	1:78 000	1:88 000
$\Delta D_{\text{отр}}$	+0,375	+0,375	+0,075	+0,075
$D_{\text{испр}}$	5 960,442	5 960,421	5 960,454	5 960,462
$\Delta D'' = D_{\text{испр}} - D_{\text{эт}}$	—0,020	—0,041	—0,001	+0,007
$\Delta D'' / D$	1:298 000	1:196 000	1:5 960 000	1:854 000

Для выявления и исключения этих погрешностей была использована формула для определения дополнительного фазового сдвига, возникающего вследствие единичного отражения [1]:

$$\delta = \delta^{AB} + \delta^{BA}, \quad (3)$$

$$\delta^{AB(BA)} = \arctg \frac{k^2 \sin \Omega \Delta \tau + k \sin \Omega \Delta \tau \cos [\omega_{A(B)} \Delta \tau + \theta_1]}{1 + k^2 \cos \Omega \Delta \tau + k(1 + \cos \Omega \Delta \tau \cos [\omega_{A(B)} \Delta \tau + \theta_1])}. \quad (4)$$

В формулах (3) и (4):  $\delta^{AB}$  и  $\delta^{BA}$  — дополнительные фазовые сдвиги из-за сильного единичного отражения при прохождении радиоволн от ведущей станции к ведомой и обратно;  $k$  — модуль отношения напряженностей электрического поля в пункте приема, создаваемых отраженным и прямым сигналами;  $\omega_A$  и  $\omega_B$  — круговая частота несущих колебаний ведущей и ведомой станций соответственно;  $\Omega$  — основная круговая частота модуляции;  $\Delta \tau$  — разность хода прямого и отраженного радиолучей, выраженная во времени;  $\theta_1$  — сдвиг фазы при отражении, принятый равным  $180^\circ$ .

По формулам (3) и (4) на ЭЦВМ БЭСМ-4М были вычислены значения  $\delta$  для диапазона несущих частот 2620—3100 МГц путем последовательного подбора неизвестной для данных условий измерений величины коэффициента  $k$  (кривая 1 на рис. 2 и 3). При совпадении амплитуд теоретического и экспериментального «разбросов» вычисления прекращали. Из сравнения этих графиков были получены поправки в измеренные расстояния из-за влияния отражений  $\Delta D_{\text{отр}}$ . Значения поправок определены как разности в положении линии нулевого искажения  $\tau_0$  теоретического «разброса» и линии  $\tau_{\text{ср}}$  экспериментального. Величина  $\tau_{\text{ср}}$  представляет собой среднее значение времени распространения, полученное из серии отсчетов на различных несущих частотах радиодальномера, с учетом внутренних отражений. Поправки  $\Delta D_{\text{отр}}$  составили +2,5 нс и 0,5 нс или +0,375 м и +0,075 м соответственно при измерении базиса со столика сигналов и со штатива. Введение этих поправок в результаты измерения расстояния улучшило сходимость их с эталонной длиной базиса. Так, погрешности измерений уменьшились до  $-0,020$  м,  $-0,041$  м при измерениях с сигналов и до  $-0,001$  м,  $+0,007$  м — при измерениях со штатива, что составляет 1 : 298 000, 1 : 195 000 и 1 : 5 960 000, 1 : 854 000 от измеренного расстояния.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Ряд радиодальномерных измерений времени распространения, выполненных в некотором интервале несущих частот, выражает динамику изменения времени под влиянием отражений радиоволн от подстилающей поверхности, то есть содержит в себе в скрытом виде нужную информацию.

2. При измерении расстояний над зеркальными поверхностями (снег, лед, водная поверхность в невозмущенном состоянии) возникает, как правило, сильное единичное отражение, приводящее к значительным погрешностям в измеренных расстояниях.

3. Поправки в измеренные расстояния из-за влияния единичного сильного отражения находят при совпадении амплитуд теоретического «разброса», полученного по формулам (3) и (4),

и экспериментального. Значения поправок определяют как разности в положении линии нулевого искажения теоретического «разброса» и линии среднего арифметического значения времени, полученного при измерениях расстояния геодезическим радиодальномером в некотором интервале несущих частот, с учетом внутренних отражений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзяман Д. Д. К вопросу о влиянии сильных отражений УКВ от подстилающей поверхности на результаты радиодальномерных измерений. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1975, вып. 3.
2. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М., «Связь», 1972.

Работа поступила в редколлегию 6 апреля 1976 года. Рекомендована кафедрой прикладной геодезии Ухтинского индустриального института.