

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 538.56.535.31

**ОПТИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ СУТОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ЛИНИЙ
СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ
(СЛУЧАЙ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ОТРЫВА ЛУЧА ЛАЗЕРА
ОТ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ)**

В. С. Чудновский

Задача высокоточных измерений длинных линий (свыше 10 км) с относительной ошибкой не более $1 \cdot 10^{-6}$ возникает как при измерениях базисов геодезических сетей, так и при решении ряда проблем геодинамики и тектоники литосферных плит [1]. Существенную ошибку в определение длины линии вносит неточное знание температуры воздуха ($T^{\circ}\text{C}$) вдоль трассы электромагнитных волн. Так, ошибка в определении интегральной температуры с точностью до 5°C вносит ошибку в измеряемое расстояние $4,5 \cdot 10^{-6} D$, где D — расстояние. Целью настоящей работы является нахождение оптимального времени суток для светодальномерных измерений в турбулентной атмосфере с точностью не хуже $10^{-6} D$.

При распространении модулированного лазерного излучения в турбулентной атмосфере возникают флуктуации эйконала проходящего сигнала $\overline{\Delta S^2}$. Основываясь на анализе результатов метода плавных возмущений (МПВ) [2], запишем

$$\overline{\Delta S^2} = (\sqrt{2\pi}/4) \overline{\sigma}_\epsilon^2 L_\epsilon D, \quad (1)$$

где $\overline{\sigma}_\epsilon$ — дисперсия флуктуаций диэлектрической проницаемости воздуха, ϵ — диэлектрическая проницаемость воздуха, L_ϵ — характерный масштаб неоднородностей. Уравнение (1) справедливо при условиях $D\lambda/\pi L_\epsilon^2 \ll 1$ и для приближения МПВ $\lambda D/L_\epsilon \ll (L_\epsilon/\lambda)^2, \lambda \ll L_\epsilon$, где λ — длина волны излучателя

В случае, если известны параметры неоднородностей $(L_\epsilon, \overline{\sigma}_\epsilon)$, можно обосновать попытку определения отклонений среднеинтегральной температуры воздуха от линейной аппроксимации. Последняя чаще всего используется при измерениях в горных районах [3].

Зададимся величиной атмосферного давления 730 мб (давление воздуха на высотах 2,5 тыс м) и $T = 290$ К. Полагая, что дисперсия измерений фазовых дальномеров $\overline{\sigma}$ пропорциональна $\sqrt{\overline{\Delta S^2}}$, принимая во внимание равенство $\sigma_\epsilon^2 \approx 1,9 \cdot 10^{-12} \sigma_T^2$ [4], где σ_T — дисперсия флуктуаций температуры воздуха, и считая, что аппаратные шумы носят случайный характер и их дисперсия σ_a известна, запишем

$$L_\epsilon \approx (\overline{\sigma}^2 - \sigma_a^2) / 2,36 \overline{\sigma}_T^2 D. \quad (2)$$

Величину $\overline{\sigma}_T^2$ вычислим по пульсациям температуры у светодальномера и отражателя. В приземном слое атмосферы ($h = 2-200$ м) σ_T убывает с высотой h [6]. Ряд экспериментов, приведенных в [6], показывает, что начиная с $h > 300$ м σ_T снова возрастает и на высотах 500—800 м достигает того же уровня, что и на высотах 2—20 м. Это необходимо учитывать в случае отрыва луча лазера от подстилающей поверхности на 300—800 м.

В сентябре 1982 г. в горном районе Средней Азии (ТаджССР, высоты 2—3 тыс м) фазовым светодальномером «Геодиметр-8» ($\lambda = 0,6328$ мкм) было измерено 13 линий протяженностью 7—23 км. На большей части трасс измерений высоты отрыва луча лазера от подстилающей поверхности составляли 300—800 м. Аппаратурная точность светодальномера «Геодиметр-8» составляет величину ± 4 мм [1]. Измерения проводились в дневное время суток тремя-шестью сеансами. Каждый сеанс включал шесть отсчетных значений и продолжался около 30 минут.

Вычисления характерного масштаба неоднородностей L_ϵ для интервалов времени 11—14 часов и 14—17 часов дают значения 3,5 и 4,5 км при $\overline{\sigma}_T$ 0,6 К и, 0,4 К соответственно. В утренние и вечерние часы величины L_ϵ увеличивались, а σ_T соответственно уменьшались.

Ошибка между линейным приближением \bar{T} и средненнтегральным значением \bar{T} может быть выражена формулой

$$\Delta T < (D/L_s - 1) \bar{\sigma}_T.$$

Гистограмма величин ΔT (предельный случай) для различных интервалов времени суток показана на рис. 1. Здесь же представлены значения вариаций расстояний $\Delta D/D \cdot 10^6$, измеряемых светодальномером в течение суток.

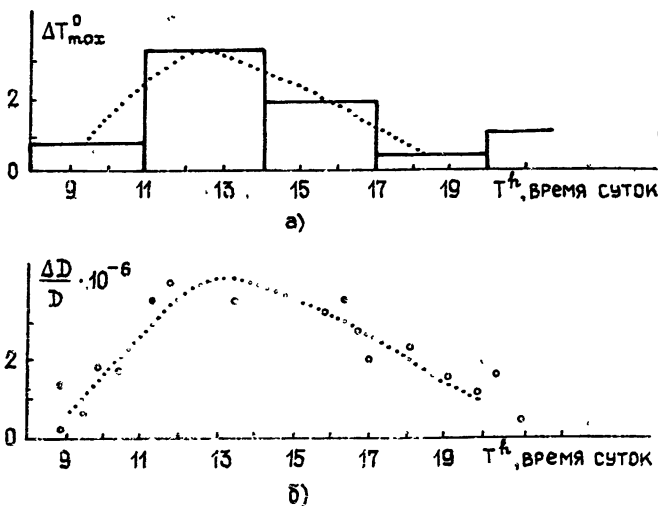


Рис. 1. а) Гистограмма отклонений реального профиля температуры вдоль трассы светодальномерных измерений относительно линейной аппроксимации; б) вариации расстояний, измеряемых светодальномерами в течение суток (случай линейной аппроксимации горизонтального профиля температуры).

Как видно из гистограммы, наибольшие отклонения от линейности $(3-4) \times 10^{-6} D$ наблюдаются между 11 и 14 часами, наименьшие — в утренние (8—11) и вечерние (17—20) часы ($0,5 \cdot 10^{-6} D$). Если проводить светодальномерные измерения утром и вечером в указанные выше часы, можно добиться сравнительно высокой точности измерений $(0,5 \div 1) \cdot 10^{-6}$, используя фазовые дальномеры высокой точности

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лобачев В М Радиоэлектронная геодезия — М.: Недра, 1980, с .21.
- 2 Рытов С. М, Кравцов Ю. А, Татарский В. И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II — М.: Наука, 1978, с 321.
- 3 Прокопов А В — Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 11, с 1317
- 4 Семенов А А, Арсеньян Т. И Флуктуации электромагнитных волн на приземных трассах — М.: Наука, 1978, с. 180
- 5 Стробен Д Распространение лазерного пучка в атмосфере. — М.: Мир, 1981, с. 34

Институт физики Земли АН СССР

Поступила в редакцию
18 февраля 1983 г

УДК 550 388 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ВНЗ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

В. Н. Иванов, А. С. Терехов

Метод возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) ионосферы успешно применяется при диагностике условий распространения декаметровых радиоволн и неоднородной структуры ионосферы [1, 2]. В частности, использование данного метода позволило получить данные о пространственной локализации естественных волновых возмущений ионосферы [3, 4]