

*Д.т.н., проф. Суюнов А.С., магистр Суюнов Ш.А., магистр Рахматулаева К.Б., студентка Каримова У.Э.*

**Самаркандский архитектурно-строительный институт**  
**ЗАВИСИМОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ ОТ КОЛЕБАНИЙ**  
**УГЛА ПРИХОДА СВЕТОВОГО ПУЧКА**

**АННОТАЦИЯ**

Предлагается определять вертикальную рефракцию на основании измерений дисперсии и спектра угла прихода светового пучка. Выведены формулы, показывающие зависимость вертикальной рефракции от структурного коэффициента показателя преломления атмосферы и среднего квадратического значения флуктуаций различных параметров пучка.

**ANNOTATION**

It is proposed to determine the vertical refraction on the basis of measurements of the dispersion and the spectrum of the angle of transition of the light beam. Formulas showing the dependence of vertical refraction on the structural coefficient of the refractive index of the atmosphere and the mean square fluctuation of various beam parameters are derived.

Многие авторы отмечают связь между рефракцией и качеством изображения наблюдаемой визирной цели [1,3].

В свою очередь качество изображения зависит от флуктуации показателя преломления атмосферы и может быть оценено аппаратным методом, что позволяет оценить величину рефракции [7]. Структурная характеристика показателя преломления атмосферы может быть определена путем измерения статистических характеристик оптической волны, прошедшей в турбулентной атмосфере. Например, значения  $C_n$  можно найти из измерений дисперсии флуктуаций логарифма амплитуды, разности фаз, смещений изображения в фокальной плоскости приемного объектива.

Находят применение также оптические методы, основанные на использовании эффектов, связанных с нарушением когерентности излучения. Эти методы основанные на оценке явлений, связанных с:

1. Уменьшением средней интенсивности в центре дифракционного изображения в фокальной плоскости зрительной трубы ( телескопа);
2. Размытием этого изображения;
3. Измерением оптических пучков, фокусируемых через турбулентную среду.  
При выполнении угловых измерений автоматическими методами наиболее целесообразно определять  $C_n$  по флюктуациям угла прихода, так как при этом не требуется дополнительной измерительной аппаратуры.

$$m_\alpha^2 = 2,84(2R)^{1/3} \int_0^S C_n^2(x) dx, \quad (1)$$

Где  $m_\alpha$  - среднее квадратическое значение флюктуации угла прихода пучка;

$R$  - радиус приемного объектива;

$S$  - длина трассы;

$C_n(x)$  - структурная характеристика показателя преломления.

Измеряя  $m_\alpha$  например, с помощью лазерного сканирующего теодолита (7), можно определить величину  $C_n$ , используя следующие выражения (5,6) ;

$$C_n = 0,83m_\alpha(2S)^{-\frac{1}{2}} \cdot (2R)^{\frac{1}{6}}; \quad l_0 \ll 2R \ll (\lambda S)^{1/2} \quad (2)$$

$$C_n = 0,60m_\alpha(2S)^{-1/2} \cdot (2R)^{\frac{1}{6}}; \quad 2R \gg (\lambda S)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

Где  $2S$  - путь светового пучка в атмосфере;

$l_0$  - внутренний масштаб турбулентности;

$\lambda$  - длина световой волны.

В свою очередь, структурные характеристики показатели преломления  $C_n$  и поля температур связаны уравнением

$$c_n = 10^{-6} \frac{k(\lambda) \langle P \rangle}{\langle T^2 \rangle} c_T \quad (4)$$

Где  $c_T$  - имеет размерность  $c_n$  - имеет размерность

$\langle P \rangle$  - среднее давление в миллибарах;

$\langle T \rangle$  - средняя температура в °К

Величина  $k(\lambda)$  находится из соотношения

$$k(\lambda) = \frac{N_0(\lambda)T_0}{P}, \quad (5)$$

в котором  $N_0(\lambda)$  - индекс рефракции для стандартных условий  
(  $P = 1013,25$  мб;  $T_0 = 288^0\text{К}$  ).

В таблице приведены значения  $k(\lambda)$  для различных длин волн.

Таблица

$\lambda$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$k(\lambda)$	82,6	80,4	79,3	78,7	78,4	78,2	78,0	77,9	77,7

Как известно, температурные флуктуации возникают в результате различия между профилем средней температуры адиабатическим профилем.

Связь между  $C_T$  и вертикальным градиентом температуры  $\frac{dT}{dh}$  выражается формулой

$$C \frac{2}{T} = C^2 a^2 (R_j) (\varepsilon h)^{\frac{4}{3}} \left( \frac{dT}{dh} + \gamma a \right)^2, \quad (6)$$

Где  $C^2 = 2,8$  ;  $\varepsilon$  - постоянная кармана, равная 0.4 ;  $h$  - высота над поверхностью земли;  $a^2(R_j)$  - Универсальная функция;  $\gamma a$  - адиабитический градиент;

Таким образом , определяя непосредственно в поле величину  $C_n$  , можно определить  $C_T$  и затем средне интегральное значение вертикального градиента температуры:

$$\frac{dT}{dh} = \pm \frac{C_n < T^2 > 10^6}{k(\lambda) < P > C a(R_j) (\varepsilon h)^{2/3}} - \gamma a \quad (7)$$

Знаки  $\pm$  соответствуют устойчивой или неустойчивой стратификации атмосферы, которая характеризуется числом Ричардсона:

$$R_j = \frac{\frac{g}{T} \left( \frac{dT}{dh} \right) - \gamma a}{\left( \frac{du}{dh} \right)^2} \quad (8)$$

Где  $g = 9,8 \text{ m/c}^2$ ;  $\left( \frac{du}{dh} \right)$  - вертикальный градиент скорости ветра.

При неустойчивой температурной стратификации  $R_j \leq -0,05$ ;  $R_j \geq -0,05$  Следует отметить, что для определения степени устойчивости стратификации атмосферы по величине  $R_i$  требуется опять же знание величины  $\frac{dT}{dh}$ . Поэтому целесообразно температурную стратификацию атмосферы определять по спектру флуктуаций угла прихода.

Согласно исследованиям (4,5), спектр флуктуаций углов прихода простирается до частот в несколько килогерц. При неустойчивой температурной стратификации характерны высокочастотные пульсации ( $f=20\dots30$  Гц), а при устойчивой характерно чередование отдельных пульсаций угла прихода с довольно продолжительными спокойными интервалами.

Как известно, угол вертикальной рефракции  $r''$  на горизонтальных трассах зависит от вертикального градиента показателя преломления  $\frac{dn}{dh}$  и длины трассы  $S$ :

$$r'' = -S'' \frac{1}{S} \int_0^S \frac{dn}{dh} x dz, \quad (9)$$

Где  $\rho''=206265''$ .

$$\frac{dn}{dh} = -1,1 * 10^6 \frac{dT}{dh} + 3,8 * 10^{-8} M^{-1} \quad (10)$$

Величина угла вертикальной рефракции связана со структурной характеристикой показателя преломления атмосферы соотношением (8).

$$r'' = -Ss'' \left( 0,29 * 10^{-7} \pm \frac{0,29m_\alpha(2R)^{\frac{1}{6}} \langle T^2 \rangle}{K((\lambda)) \langle P \rangle aRi h^2 \sqrt[3]{S^2 S''}} \right), \quad (11)$$

$$l_0 \ll 2R \ll (\lambda S)^{1/2}$$

$$r'' = -Ss'' \left( 0,24 * 10^{-7} \pm \frac{0,25m_\alpha(2R)^{1/6} \langle T^2 \rangle}{K((\lambda)) \langle P \rangle aRi h^{2/3} S^{1/2} S''} \right)$$

$$2R \gg (\lambda S)^{1/2},$$

Где  $S$  - длина трассы, выраженная в метрах  $\rho = 206265''$ .

$m_\alpha$  - среднее квадратическое значение флуктуаций угла прихода, выраженное в угловых секундах.

$2R$  - диаметр приемного объектива в метрах;

$\langle T^2 \rangle$  - средний квадрат температуры на трассе

$K(\lambda)$  - находится из соотношения (4) и вырено в  $^0K/мб$ ;

$\langle P \rangle$  - среднее значение давления в миллибарах;

$a(R_i)$ - универсальная функция (при устойчивой стратификации)  $a(R_i)=1,65$ ;  
 $h$ - высота прохождения пучка над поверхностью земли.

Таким образом, определение угла вертикальной рефракции можно выполнять на основе измерений флуктуаций угла прихода светового пучка, а также определять среднюю температуру на трассе  $\langle T^2 \rangle$  и среднее давление  $\langle P \rangle$  в миллибарах.

Точность измерения угла вертикальной рефракции зависит от точности измерения  $m_\alpha$ ,  $T$  и  $P$  :

$$m_r = \frac{0,3S^{1/2}m_\alpha(2R)^{1/6} \langle T^2 \rangle}{K(\lambda) \langle P \rangle aRih^2 \sqrt{3}} \sqrt{\frac{m_\phi^2 n}{m_\alpha^2} + \frac{4m_T^2}{T^2} + \frac{m_p^2}{p^2}} \quad (11)$$

Анализируя формулу (II), можно заключить, что для определения угла вертикальной рефракции с относительной погрешностью  $1/M$  необходимо измерять  $m_\alpha$ ,  $T$  и  $P$  с точностью, которая может быть охарактеризована соотношениями

$$m \leq \frac{m_\alpha}{m\sqrt{3}} ; \quad m_T \leq \frac{T}{2M\sqrt{3}} ; \quad m_p \leq \frac{T}{2M\sqrt{3}} \leq \frac{P}{M\sqrt{3}} \quad (12)$$

То есть в большинстве случаев при выполнении геодезических измерений достаточно, чтобы температура и давление определялись сравнительно грубо :  $m_T \leq 8^0$ ;  $m_p \leq 60$  мб, а величина  $m_\alpha$  определялась со средней квадратической ошибкой не более  $0,05 m_\alpha$ .

## Литература

1. Изотов А.Ф., Пиллинен Л.П. Исследование земной рефракции и методов геодезического изолирования.- Труды ЦНИГАиК. вып.114,1957, 217 с., ил.
2. Островский А.Л., Власенко С.Г. Опыт применения метеорологического метода учета вертикальной рефракции в тригонометрическом нивелировании.- В со.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка(Львов), 1984, №3, с. 81-85.
3. Гурвич А. С., Кон А.И., Миронов В.Л., Хмелевцов С.С. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере.-М.: Наука, 1976. 277 с., ил.
4. Новая геодезическая техника и ее применения в строительстве. Учебное пособие для стр. спец. Вузов/ В.А. Величко, Мовчан, В.Е. Дементьев и др.

Под ред. Дементьева В.Е. – 2-у изд. , перераб. И доп. – М.: Высшая школа,  
1982. -280 с., ил.