

# ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Доцент, кандидат техн. наук *А.В. Кошелев*  
*Сибирская государственная геодезическая академия*  
*E-mail: [alvilkosh@yandex.ru](mailto:alvilkosh@yandex.ru)*

**Аннотация.** Экспериментально установлено, что фазовой скорости для реальных оптических волн в диспергирующей атмосфере не существует. Такие волны распространяются с групповой скоростью.

**Ключевые слова:** диспергирующая атмосфера, фазовая и групповая скорость.

**Abstract.** It has been found experimentally that for real optical waves phase velocity does not subsist in the dispersive atmosphere. The waves propagate at group velocity.

**Keywords:** the dispersive atmosphere, phase and group velocity.

Теоретические исследования, выполненные в работе [1] показали, что фазовой скорости не существует для оптических волн в диспергирующей тропосфере, а используемые в настоящее время формулы для учета влияния атмосферы на результаты светодальномерных измерений являются не корректными. В данной работе представлены результаты сравнительного анализа теоретических исследований [1] с экспериментальными данными двухволновых светодальномерных измерений, опубликованных в работах [2-4]. Решение проблемы определения истинной скорости оптических волн в атмосфере позволит существенно повысить точность как самих светодальномерных измерений, так и более точных приборов светодальномеров-рефрактометров. Созданные в 70-годы прошлого века светодальномеры – рефрактометры на основе двух и многоволновых дисперсионных методов в настоящее время практически не используются.

Для решения поставленной задачи рассмотрим формулу, названную в работе [1], групповым индексом показателя преломления тропосферы оптических волн при стандартных условиях в форме уравнения Коши

$$N_{оп} = (n_{g0} - 1) \cdot 10^6 = 272,6129 + \frac{1,5294}{\lambda^2} + \frac{0,01367}{\lambda^4}, \quad (1)$$

где  $n_{g0}$  - групповой показатель преломления оптических волн для стандартных условий. Под стандартными условиями здесь приняты:  $T_0 = 288,15^\circ \text{K}$  - температура в градусах Кельвина ( $t_0 = 15^\circ \text{C}$ ),  $P_0 = 760 \text{ мм. рт. ст.}$  - давление, влажность «сухой воздух» и 0.03% углекислого газа в воздухе).

Формула (1) раньше называлась фазовым индексом показателя преломления и получена по экспериментальным результатам измерений. Поскольку любое реальное излучение, используемое для измерений, не является строго монохроматическим и существует в полосе несущих частот  $\Delta\omega$  оптического излучения, следовательно, оно распространяется в атмосфере только с груп-

повой скоростью [1]. В дальнейшем формулу (1) будем называть предлагаемой (П) формулой группового индекса показателя преломления.

Для стандартных условий используемая (И) в настоящее время формула группового индекса показателя преломления  $N_{OII}$  оптических волн в тропосфере имеет вид

$$N_{OII} = 272,6129 + \frac{3 \cdot 1,5294}{\lambda^2} + \frac{5 \cdot 0,01367}{\lambda^4}. \quad (2)$$

Формула (2) получена путем подстановки уравнения (1), как фазового индекса показателя преломления в известное уравнение Рэля, связывающего групповой и фазовый индексы показателя преломления [1].

Для условий, отличающихся от стандартных, групповой индекс показателя преломления воздуха можно вычислить, используя значения  $N_O = (N_{OII}$  или  $N_{OII})$  в следующем выражении [5]:

$$N = N_O \frac{T_0 \cdot P}{P_0 \cdot T} - \left( 17,045 - \frac{0,5572}{\lambda^2} \right) \frac{e}{T},$$

где  $P$ ,  $T$  и  $e$  – измеренные на момент наблюдений средние значения давления, температуры и влажности на концах измеряемой линии.

Решение поставленной выше проблемы выполнялось путем сравнения результатов расчетов по формулам (1) и (2) с данными экспериментальных измерений. Наиболее наглядно отсутствие фазовой скорости и неточность используемой в настоящее время повсеместно формулы (2) можно показать на примере сравнения результатов расчетов разности хода лучей с длинами волн света  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  с реальными измерениями двухволновым фазовым светодальномером-рефрактометром, опубликованными в работах [2-4]. В этом приборе использовались два лазера с длинами волн красного  $\lambda_1 = 0,6328$  мкм и синего  $\lambda_2 = 0,4416$  мкм пучков излучения. Высокая частота модуляции порядка 2,6 ГГц излучения лазеров с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  для одновременных измерений разности расстояний  $\Delta_{из} = D_{из}(\lambda_2) - D_{из}(\lambda_1)$  обеспечивала инструментальную погрешность на уровне долей миллиметра. При выполнении расчетов в таблице расстояния  $D_{из}(\lambda_1)$  и  $D_{из}(\lambda_2)$  определялись по формулам:

$$D_{из}(\lambda_1) = D_0 [1 + N(\lambda_1) \cdot 10^{-6}],$$

$$D_{из}(\lambda_2) = D_0 [1 + N(\lambda_2) \cdot 10^{-6}]$$

с учетом метеоданных при которых выполнялись измерения светодальномером -рефрактометром [2].

Для оценки эффективности формул предлагаемых автором (1) и используемых (2) выполнены расчеты индексов показателей преломления и разностей измеряемых длин  $\Delta_{выч}$  значения которых представлены в таблице.

Тип ф-лы	$\lambda_1 = 0,6328$ мкм	
	$N(\lambda_1)$	$D_{\text{выч}}(\lambda_1)$
П	277,060	5901,635 м
И	285,039	5901,682 м
$\lambda_2 = 0,4416$ мкм		
		$D_{\text{выч}}(\lambda_2)$
П	281,305	5901,660 м
И	298,428	5901,760 м
Разности хода: $\Delta_{\text{выч}} = D_{\text{выч}}(\lambda_2) - D_{\text{выч}}(\lambda_1)$		
П	0,025 м	
И	0,079 м	

Результаты вычислений, полученных в таблице сравнивались с данными практических измерений выполненных в NOAA [2-3], представленных на рис. 1.

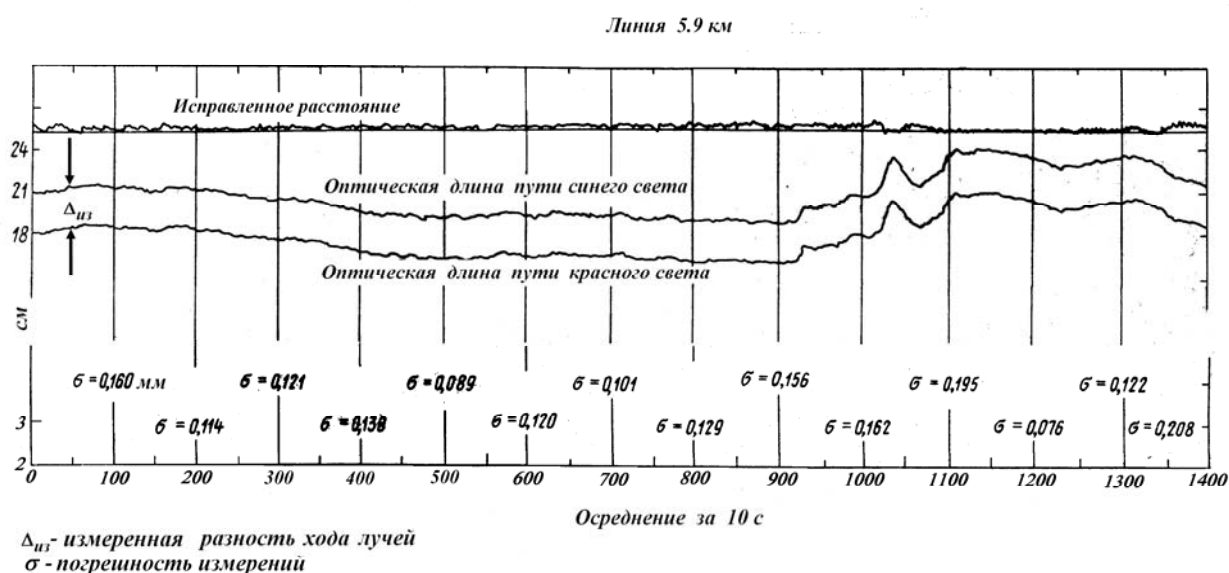


Рис.1. Результаты полевых измерений линии длиной  $D_0=5,9$  км двухволновым фазовым лазерным дальномером по Earnshaw и Hernandez [2-3].

Из сравнительного анализа расчетных данных таблицы и результатов измерений  $\Delta_{\text{из}}$ , представленных на рис. 1 следует, что значение разности хода волн вычисленное по предлагаемой автором формулам (1) равное 25,0 мм хорошо согласуется с усредненной измеренной величиной  $\Delta_{\text{из}} \approx 30$  мм. При этом используемая создателями рефрактометра формула (2), дает вычисленное значение разности хода лучей 79,0 мм, что в два с половиной раза превосходит измеренную на практике величину. Отсюда следует, что применение используемых в настоящее время формул (2) является не-

готивным фактором, препятствующим получению истинных результатов измерений и широкому внедрению светодальномеров-рефрактометров в практику современных прецизионных геодезических измерений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кошелев А. В. О фазовом и групповом показателе преломления оптических волн для геодезических измерений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. - №2. -С. 33-36.
2. Earnshaw K.B. and Hernandez E.N. A two-laser optical distance measuring instrument that corrects for atmosphere index of refraction. Appl. Opt., 1972, pp 749-754.
3. Бергер Д. Применение лазерной техники в геодезии и геофизике. - М.: Недра, 1977.- 60 с.
4. Прилепин М.Т., Голубев А.Н. Инструментальные методы геодезической рефрактометрии // Итоги науки и техники: Геодезия и аэросъемка. - 1979. - Т.15. - 89 с.
5. Радиогеодезические и электрооптические измерения/ Большаков В.Д., Деймлих Ф., Голубев А.Н., Васильев В.П.– М.: Недра, 1985.- 303 с.