



ISU

INTERNATIONAL SCIENTIFIC UNITY



VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL CONFERENCE  
«Scientific Research: Theoretical  
Foundations  
and Practical Applications»

January 24-26, 2024,  
Vienna, Austria

[isu-conference.com](http://isu-conference.com)

Therefore, analyzing the obtain to assert that by changing the filler content and the type of polymer matrix, it is possible to vary the properties of the obtained composite materials (PCMs) over a wide range of values: density – 1,43-1,94 g/cm<sup>3</sup>, water absorption – 2,2-6,4%, total porosity – 9,89-68,2%, abrasion resistance – 0,01-0,04 g/cm<sup>2</sup>, elastic modulus – 23-83 Pa/mm<sup>2</sup>.

### References

1. Melnyk L. I., Bilousov O. Yu. Composite material based on andesite with varieties of polymer binding// Abstracts of X International Scientific and Practical Conference «Topical issues of the development of modern science» (Sofia, Bulgaria 4-6 June 2020). pp. 536-543. URL: <https://sci-conf.com.ua>.
2. Мельник Л.І., Черняк Л.П., Козловець О.В. Композиційний матеріал на основі андезиту Закарпаття // Кераміка: наука і життя, 2020. - № 3 (48). – С. 13 – 17. DOI: <https://doi.org/10.26909/csl.3.2020.2>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ РЕФРАКЦІЙНИХ ПОПРАВОК ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРУ КООРДИНАТ, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬСЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ

**Ремаєва Ольга Олександрівна**

к. т.н., доцент

Кафедра вищої математики

[O.Remayeva@gmail.com](mailto:O.Remayeva@gmail.com)

**Зеленський Іван Борисович**

здобувач вищої освіти

[ivan.zelenskyi@nure.ua](mailto:ivan.zelenskyi@nure.ua)

**Стогній Надія Петрівна**

к.ф.-м.н., доцент

Кафедра вищої математики

[nstognii@gmail.com](mailto:nstognii@gmail.com)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Застосування координатно-часових вимірів у різних галузях науки, техніки та промисловості останнім часом стає дедалі інтенсивнішим. Збільшується кількість приладів, які здійснюють такі вимірювання, зростає їхня точність. Незважаючи на різноманітність типів вимірювальних приладів в даній галузі (це класичні астрономічні геодезичні інструменти, оптичні та радіодалекоміри, радіотелескопи, радіоінтерферометри з наддовгою базою, радіонавігаційні супутникові системи, системи передачі точного часу та ін.), так чи інакше всі вони використовують вимірювання будь-яких параметрів електромагнітного

сигналу, що поширюється у земній атмосфері та за її межами.

У той самий час вимоги до точності координатних вимірів у багатьох галузях їх застосування задовольняються ще не в повній мірі.

Похибки визначення координат (а це похибки вимірювання кутів і дальностей між об'єктами) у загальному випадку можна класифікувати як інструментальні похибки (тобто похибки приладів) і похибки, спричинені впливом зовнішнього середовища, в даному випадку земної атмосфери. У зв'язку зі швидким розвитком високих технологій точність сучасних приладів стає дедалі вищою і здебільшого може задовольнити сучасні вимоги. Тому визначальним фактором при формуванні похибки координатних вимірів стає атмосфера Землі, головним чином її приземна частина - тропосфера.

Тропосферні поправки до результатів вимірювань дальності, які здійснюються за допомогою електромагнітних хвиль, зазвичай вводяться методами Маріні-Мюррея (в оптичному діапазоні довжин хвиль) [1], Девіса, Геррінга, Ніла (у радіодіапазоні) [2, 3, 4]. Як вихідні дані ці методи використовують метеорологічні параметри, виміряні на поверхні Землі. Як показали численні дослідження [5], ці методи є найточнішими. Однак співвідношення, що визначають поправки до результатів координатних вимірювань і є основою згаданих методів, отримані у зневажанні низки рефракційних ефектів.

Відомо, що при розробці методів Маріні-Мюррея, Девіса, Геррінга, Ніла будувалися "функції відображення" (так звані *mapping functions*), що враховують залежність атмосферних поправок від зенітного кута об'єкта, що спостерігається. Функції відображення в цих методах мають значення коефіцієнтів співмножників в формулі Саастамойнена [6], що визначає групову затримку для спостережень у зеніт. Такі функції будуються з урахуванням результатів чисельного моделювання атмосферних поправок як інтегралів вздовж траєкторії поширення електромагнітного сигналу щодо різних зенітних кутів. Однак при цьому не враховується величина відстані між точкою спостереження і об'єктом, який спостерігається, що призводить до похибок визначення атмосферних поправок. У цій роботі проведено дослідження величин таких похибок.

Розглянемо завдання поширення електромагнітної хвилі у неоднорідній земній атмосфері. На рис. 1 представлена схема проходження електромагнітного променя. Рефракційні поправки до виміряної відстані  $L$  (відповідає відрізку  $OS$ ) до об'єкта (на рисунку позначено  $S$ ) у наближенні сферично шаруватій атмосфері виражаються інтегралами

$$\Delta S = \int_{r_0}^{r_s} \frac{(n-1)nr \, dr}{\sqrt{n^2 r^2 - n_0^2 r_0^2 \sin^2 Z_0}}, \quad (1)$$

$$\Delta D = \int_{r_0}^{r_s} \frac{nr \, dr}{\sqrt{n^2 r^2 - n_0^2 r_0^2 \sin^2 Z_0}} - L, \quad (2)$$

а рівняння траєкторії променя у полярних координатах визначається як

$$\Phi = \int_{r_0}^{r_s} \frac{n_0 r_0 dr}{r \sqrt{n^2 r^2 - n_0^2 r_0^2 \sin^2 Z_0}}, \quad (3)$$

де  $\Delta S$  - груповий набіг електромагнітного сигналу у земній атмосфері;  $\Delta D$  - поправка, що враховує рефракційне викривлення траєкторії;  $\Phi$  - кут між векторами  $\mathbf{r}_0$  і  $\mathbf{r}$ ;  $n = n(r)$  - показник заломлення повітря залежно від висоти над рівнем моря;  $r = |\mathbf{r}|$ ,  $\mathbf{r}$  - радіус-вектор поточної точки траєкторії (центр полярної системи координат знаходиться у центрі Землі);  $Z_0$  - видимий зенітний кут цілі. При побудові функцій відображення у роботах [2, 3, 4], як і у багатьох інших, інтеграл (1), (2) бралися до верхньої межі атмосфери (на рис. 1 – точка Н), тобто висота цілі над поверхнею Землі не враховувалася.

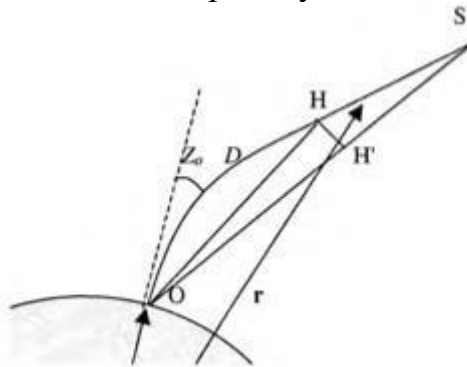


Рисунок 1. Геометрія задачі.

У разі обчислення групової затримки сигналу (1) таке спрощення для поправочних формул, що використовують залежність від видимого зенітного кута, не призводить до помилки, оскільки очевидно, що при  $r > r_H$  підінтегральна функція (1) дорівнює нулю ( $n=1$ ). Однак при обчисленні рефракційного подовження траєкторії (2) таке припущення призводить до похибки, величина якої (що неважко показати простими обчисленнями виходячи з рис. 1) пропорційна квадрату відрізка  $HH'$ .

Наближені методи визначення кута рефракції  $\alpha$  (тобто кута між істинним і видимим напрямками на об'єкт), які використовують, наприклад, Пулковські таблиці рефракції [7] або теорему Оріані - Лапласа [8] також призводять до подібної похибки. Ці методи визначають кут астрономічної рефракції (тобто в умовах, коли об'єкт спостереження видалений на нескінченність). Тому для об'єктів, що віддалені від точки спостереження на кінцева відстань, кут рефракції буде визначено з помилкою.

У роботі обидві ці похибки були досліджені в залежності від видимого зенітного кута цілі та висоти цілі над Землею. Залежність показника заломлення від висоти була обрана згідно зі стандартною атмосферою. Інтеграл (1) - (3) визначалися чисельним методом, розробленим в [9], оскільки на великих зенітних кутах звичайні методи чисельного інтегрування для їх обчислення використовувати не можна [9] – кут рефракції обчислювався виходячи з геометрії завдання, причому, кут  $\Phi_s$  (полярна координата об'єкта) визначався з

(3), а радіус Землі вважався відомим.

У табл. 1 наведено результати обчислень  $\Delta D$  (см), а в табл. 2 - кута рефракції  $\alpha$  (у кутових секундах) для кількох значень зенітного кута та висоти об'єкта (значення  $h=20000$  км вибрано не випадково, це середня висота ШСЗ, які забезпечують глобальні супутникові радіонавігаційні системи). Видно, що висота об'єкта над Землею впливає на величину рефракційних поправок, особливо на великих зенітних кутах. Наприклад, на  $80^\circ$  відмінність величини викривлення траєкторії променя від його значень, визначених при висоті об'єкта  $h=100$  км, перевищує 0,5 см для  $h=20000$  км, а близько  $90^\circ$  ця величина може становити сотні сантиметрів. Аналогічні закономірності виявляються і під час аналізу кутів рефракції у разі спостережень космічних об'єктів.

Таблиця 1

$Z_0$ h, км	30	70	80	90
100	0,006	0,357	2,726	698,21
1000	0,007	0,413	3,173	882,51
10000	0,008	0,421	3,248	947,03
20000	0,008	0,421	3,256	955,82
$10^8$	0,008	0,422	3,267	968,49

Таблиця 2

$Z_0$ h, км	30	70	80	90
100	34,81	163,93	328,01	2241,6
1000	37,38	176,14	353,59	2539,7
10000	37,64	177,68	357,89	2644,1
20000	37,66	177,81	358,35	2658,3
$10^8$	37,67	177,98	358,95	2678,8

Для обліку кінцевої висоти космічного об'єкта щодо рефракційних поправок наближеними методами пропонується використовувати наступний досить простий спосіб. Очевидно, що у випадку, коли межі інтегрування в (1) - (3) знаходяться вище верхньої межі земної атмосфери, інтеграли (1) - (3) стають табличними. Якщо висота цілі відома хоча б наближено (наприклад, з необроблених результатів вимірювань, в які і вводяться поправки, що обговорюються), то з (1) - (3) нескладно отримати алгебраїчні вирази, що уточнюють рефракційні поправки з урахуванням певного значення висоти об'єкта.

Таким чином, у роботі проаналізовано вплив висоти об'єкта спостереження на точність наближених методів визначення рефракційних поправок як функцій видимого зенітного кута при координатних вимірах на транс атмосферних трасах. Показано, що похибка цих методів стає суттєвою при великих зенітних кутах спостереження. Запропоновано метод корекції результатів визначення рефракційних поправок.

**Список використаних джерел**

1. Marini J.W. and Murray C.W. (1973) Correction of laser range tracking data for atmospheric refraction at elevations above 10 degrees // NASA-TM-X-70555, Coddard Space Flight Center, Greenbelt, Md.
2. Davis J.L, Herring T.A., Shapiro I.I., Rogers A.E.E. and Elgered G. (1985) Geodesy by radiointerferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length.// Radioscience, Vol. 20. No. 6. P. 1593-1607.
3. Herring T.A. (1992) Modeling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data//. Proceedings of Symposium of Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, J.C. de Munk and T.A. Th. Spoelstra (Eds.), The Hague, The Netherlands, 19-22 May, Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, Delft, The Netherlands, No. 36, New Series. - P. 157-164.
4. Niell A.E. (1996) Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths.// Journal of Geophysical Research, Vol. 101, No. B2, P. 3227-3246.
5. Mendes V.B. (1999) Modeling the neutral-atmosphere propagation delay in radiometric space techniques // Ph. D. dissertation. Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 199. University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 353 p.
6. Saastamoinen J. (1973) Contributions to the theory of atmospheric refraction. In three parts.// Bulletin Geodesique, No. 105. P.279-298; No. 106. P. 383-397; No. 107. P. 13-34,
7. Таблицы рефракции Пулковской обсерватории. Изд. 5; Под ред. В.К. Абалакина. Л.: Наука, 1985. 48 с.
8. Алексеев А.В. и др. (1983) Оптическая рефракция в земной атмосфере (наклонные трассы). Новосибирск: Наука, 230 с.
9. Прокопов А.В., Ремаева О.А., Снурникова Г.К. (2001) Определение атмосферных поправок к результатам лазерных измерений расстояний до ИСЗ методами численного интегрирования // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб., Вып. 117. с. 31-34.

**REDUCING THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT  
DURING THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS  
BY IMPLEMENTING ELEMENTS OF GREEN BUILDING**

**Antonina Savchenko**

Senior lecturer

Department of Environmental Protection and Labor Protection Technologies

asav2509@gmail.com

**Anna Shkliarenko**

Student

shkliarenko.anna@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine