



УДК 551.521

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ВИДИМОСТИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Халилова Х.С.

Национальная Академия Авиации, г. Баку, Азербайджан

Статья посвящена исследованию возможности появления экстремума в интегрированном значении известного модельного выражения зависимости видимости от концентрации аэрозоля, мультипликативного и показательного регрессионных коэффициентов, зависящих от относительной влажности. Показано, что искомый экстремум интегральной видимости возможно только при наличии противофазной зависимости между указанными регрессионными коэффициентами во всем диапазоне изменения относительной влажности. Однако, известные экспериментальные исследования показывают наличие синфазного роста этих регрессионных коэффициентов в диапазоне RH от 40 до 80%. На основании вышеизложенного сделано заключение о невозможности появления экстремума в виде минимума в значении интегральной видимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АЭРОЗОЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТ РАССЕЯНИЯ, ВИДИМОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

DOI 10.5425/2304-7380_2022_36_35

<https://elibrary.ru/pblkpvr>

1. ВВЕДЕНИЕ

Как отмечается в работе [1], в настоящее время химический состав и дисперсность частиц атмосферного аэрозоля достаточно разнообразен и широк. Свойства этих частиц имеют высокую пространственно-временную изменчивость, что указывает на целесообразность изучения этих свойств методами экспериментальных исследований.

В настоящее время основная часть исследований микрофизических показателей атмосферного аэрозоля выполняется с применением формул Ми, в которых аэрозоль представляется в виде полидисперсного множества гомогенных сферических частиц. Это, в свою очередь, приводит к определенной приближенности получаемых результатов расчета аэрозольных показателей. Альтернативой вышеуказанным теоретическим вычислениям может стать экспериментальный метод с применением различных оптико-электронных измерений некоторых физических показателей, достаточно сильно зависящих от оцениваемых показателей аэрозоля. Например, в работе [2] рассмотрена возможность определения коэффициента экстинкции с учетом массовой концентрации $PM_{2.5}$ с применением RGB камеры. RGB значения отдельных пикселей получаемых изображений



позволяют оценить отражаемость, пропускаемость и способность ослабления оптических сигналов различных объектов. При этом утверждается, что значение коэффициента экстинкции $PM_{2,5}$, вычисленные с использованием RGB данных имеют более высокую корреляцию с массовой концентрацией $PM_{2,5}$, чем данными, полученными на основе видимости.

В работе [3] исследована информативность измерения видимости при совместном учете влияния увлажненного аэрозоля и температуры воздуха. В этой работе был определен порядок проведения многошаговых измерений видимости в условиях увеличения температуры воздуха во времени, при котором достигается максимальная информативность полученных результатов.

С учетом вышеизложенного имеет смысл разработать методику, определения возможности появления экстремальных свойств видимости, с учетом данных, относящихся к влиянию влажности воздуха.

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

В общем случае видимость в открытой местности является не только удобством при ориентировании в местности, но и является показателем качества воздуха. С учетом аэрозольной загрязненности больших городских промышленных центров видимость становится одним из важнейших показателей качества воздуха. Согласно [2-4], уменьшение видимости в основном происходит из-за поглощения и рассеяния света мелкими аэрозольными частицами. Как указывается в работе [5], существует сильная обратная корреляция между видимостью и коэффициентом рассеяния аэрозоля, что иллюстрируется на рис. 1. При этом эффект рассеяния оказывается намного сильнее, чем эффект поглощения [6, 7].

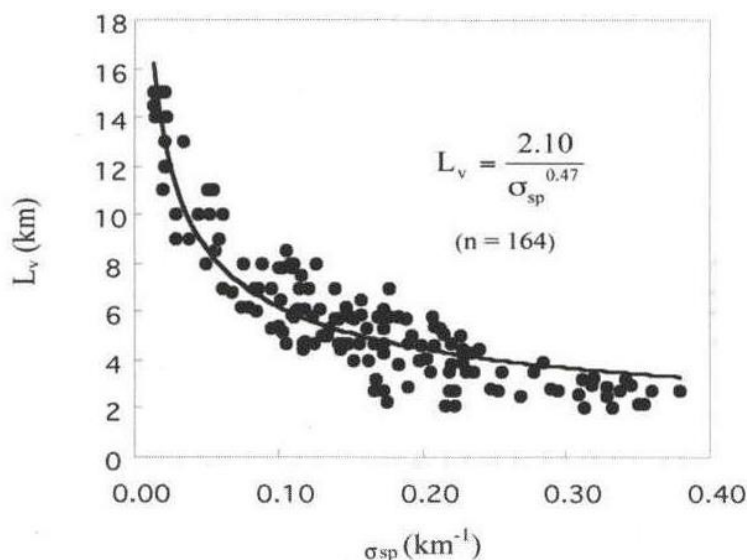


Рис. 1. Регрессионная зависимость между видимостью и коэффициентом рассеяния аэрозоля

Регрессионное уравнение, соответствующая графическим данным приведенным на рис. 1, имеет вид

$$L_v = \frac{2,10}{\sigma_{sq}^{0,47}} = a_1 \cdot \sigma_{se}^{-b_1} \quad (1)$$

где:

L_v -видимость, в км;

σ_{sq} -коэффициент рассеяния света;

a_1, b_1 -регрессионные коэффициенты, зависящие от относительной влажности воздуха.

Следует отметить, что существует также двухфакторная модель видимости, в котором учитываются взаимные связи таких показателей как относительная влажность (RH); концентрация

аэрозоля и видимость. В работе [8] приведены соответствующие регрессионные уравнения, в общем случае выражаемые как

$$L_v = a_2 \cdot x^{-b_2} \tag{2}$$

где: $a_2 = \varphi(RH)$; $b_2 = f(RH)$; x -концентрация аэрозольных частиц.
 Значения a_2 и b_2 в зависимости от RH приведены в табл. 1.

Таблица 1 Значения коэффициентов a и b

$RH, \%$	a_2	b_2
$40 < RH \leq 50$	74,4	0,37
$50 < RH \leq 60$	78,8	0,40
$60 < RH \leq 70$	194,2	0,66
$70 < RH \leq 80$	637,6	1,01
$RH > 80$	191	0,801

Как видно из данных представленных в табл. 1, до значения $RH \leq 80\%$, изменение значений коэффициентов $a_2(RH)$ и $b_2(RH)$ происходит синфазно. Введем на рассмотрение функциональную зависимость $b_2 = b_2(a_2)$ (далее для краткости записи зависимость b_2 и a_2 от RH опускается).

Рассмотрим следующую задачу оптимизации: следует определить оптимальный вид функциональной зависимости $b_2 = b_2(a_2)$ при которой интегральная величина видимости, определяемая как

$$V_{int} = \int_{a_{2min}}^{a_{2max}} a_2 \cdot x^{-b_2(a_2)} da_2 \tag{3}$$

достигла бы экстремальной величины.

Для решения оптимизационной задачи примем следующее ограничительное условие

$$\int_{a_{2min}}^{a_{2max}} b_2(a_2) da_2 = C; \quad C = const \tag{4}$$

Смысл ограничения (4) заключается в некотором сужении класса выбора функции $b_2(a_2)_{opt}$, некоторые виды которой приведены на рис. 2.

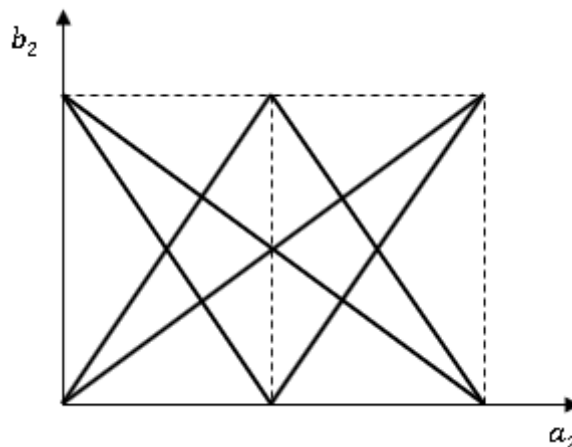


Рис. 2. Некоторые виды модельной функции $b_2(a_2)$, удовлетворяющие граничному условию (4)

С учетом выражений (3) и (4) составим математическую задачу безусловной вариационной оптимизации, решаемой путем вычисления экстремали функционала F , где

$$F = \int_{a_{2min}}^{a_{2max}} a_2 x^{-b_2(a_2)} da_2 + \lambda \left[\int_{a_{2min}}^{a_{2max}} b_2(a_2) da_2 - C \right] \quad (5)$$

где: λ -множитель Лагранжа.

Согласно методу Эйлера, решение задачи должно удовлетворить условию

$$\frac{d\{a_2 x^{-b_2(a_2)} + \lambda b_2(a_2)\}}{db_2(a_2)} = 0 \quad (6)$$

Из выражения (6) находим:

$$-a_2 x^{-b_2(a_2)} \cdot \ln x + \lambda = 0 \quad (7)$$

Из (7) получим

$$x^{-b_2(a_2)} = \frac{\lambda}{a_2 \ln x} \quad (8)$$

Логарифмируя обе стороны (8) получим

$$b_2(a_2) = \frac{-\lambda}{a_2 (\ln x)^2} \quad (9)$$

С учетом выражений (4) и (9) имеем (условно приняв $a_{2min}=0$)

$$- \int_0^{a_{2max}} \frac{\lambda}{a_2 (\ln x)^2} da_2 = C \quad (10)$$

Из выражения (10) находим

$$-\lambda = \frac{C (\ln x)^2}{\ln a_{2max}} \quad (11)$$

С учетом (9) и (11) получим

$$b_2(a_2) = \frac{C}{a_2} \quad (12)$$

Таким образом, при зависимости (12) между b_2 и a_2 интегральная видимость, определяемая выражением (3) должна достичь экстремума. Определим тип экстремума путем вычисления знака следующего выражения

$$z = \frac{d^2\{a_2 x^{-b_2(a_2)} + \lambda b_2(a_2)\}}{db_2(a_2)^2} \quad (13)$$

Простые вычисления показывают, что z является положительной величиной, т.е. при решении функционал F достиг бы минимума. Однако, как видно из данных, приведенных в табл. 1, b_2 и a_2

изменяются синхронно (до $RH \leq 80\%$). Следовательно, в реальном случае возможность появления минимума в интегральной видимости, определяемой по формуле (3) отсутствует.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследован вопрос о возможности появления экстремума в значениях интегральной видимости при резких перепадах относительной влажности воздуха. В качестве базовой модели использована показательная функция, состоящая из концентрации аэрозоля, мультипликативного и показательного регрессионных коэффициентов, зависящих от относительной влажности. Показано, что искомый экстремум интегральной видимости возможен только при наличии противофазной зависимости между указанными регрессионными коэффициентами во всем диапазоне изменения относительной влажности. Однако, известные экспериментальные исследования показывают наличие синфазного роста этих регрессионных коэффициентов в диапазоне RH от 40 до 80%. Следовательно, можно сделать заключение о том, что в указанном диапазоне относительной влажности наличие какого-либо экстремума в интегральной величине видимости невозможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Terpugova S. A., Uzhegov V. N., Panchenko M. V., Pkhalagov Y. A.* A technique for estimation of the aerosol optical constants and microphysical parameters from the data of scattering and extinction in visible and near IR wavelength range// 22nd International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. of SPIE Vol. 10035. 2016. Doi:10.1117/12.2249027
2. *Shin J., Kim D., Noh Y.* Estimation of aerosol extinction coefficient using camera images and application in mass extinction efficiency retrieval// Remote Sens. 2022. 14. 1224. <https://doi.org/10.3390/rs14051224>
3. *Абасзаде Ф. Г., Асадов Х. Г.* Вопросы оценки видимости с учетом влияния увлажненного аэрозоля и температуры воздуха// вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: География, Геоэкология. 2020. № 2. Стр. 35-39.
4. *Watson J. G.* Visibility: science and regulation// J. Air&Waste Manage. Assoc. 2002. 52. 628-713.
5. *Hodkinson R. J.* Calculations of color and visibility in urban atmospheres polluted by gaseous NO_2 // Int. J. Air Walle Pollut. 1966. 10. 137-144.
6. *Appel B. R., Tokiwa Y., Hsu J., Kothny E. I., Hahn E.* Visibility as related to atmospheric aerosol constituents// Atmos. Environ. 1985. 19. 1525-1534.
7. *Groblicki P. J., Wolff G. T., Countess R. J.* Visibility reducing species in the denver brown cloud// 1. Relationships between extinction and chemical composition. Atmos. Environ. 1981. 15. 2473-2484.
8. *Lee C. G., Yuan C. S., Chang J. C., Yuan C.* Effects of aerosol species on atmospheric visibility in Kaohsiung city, Taiwan// J. Air&Waste Manage. Accos. 2005. 1031-1041. <https://doi.org/10.1080/10473289.2005.10464683>
9. *Эльсгольц Л. Е.* Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление// М. Наука. 1974. С 432.

INVESTIGATION OF EXTREME PROPERTIES OF INTEGRATED VISIBILITY WITH INCREASING RELATIVE HUMIDITY

Khalilova Kh.S.

The article is devoted to the study of the possibility of the appearance of an extremum in the integrated value of the known model expression for the dependence of visibility on aerosol concentration, multiplicative and exponential regression coefficients depending on relative humidity. It is shown that the desired extremum of integral visibility is possible only if there is an antiphase dependence between the indicated regression coefficients in the entire range of relative humidity changes. However, well-known experimental studies show the presence of in-phase growth of these regression coefficients in the RH range from 40 to 80%. Based on the foregoing, a conclusion was made about the impossibility of the appearance of an extremum in the form of a minimum in the value of the integral visibility.

KEYWORDS: AEROSOL, SCATTERING COEFFICIENT, VISIBILITY, OPTIMIZATION, RELATIVE HUMIDITY