

## КОРЕЛАЦИЯ НА СУМАРНАТА СЛЪНЧЕВА РАДИАЦИЯ С МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ПАРАМЕТРИ ЗА БЪЛГАРИЯ

**Здравка Николаева**

Университет “Проф. д-р Асен Златаров”, факултет “Природни науки”  
8010 Бургас, България, бул. “Проф. Якимов” 1,  
[burievazdr@yahoo.com](mailto:burievazdr@yahoo.com)

## CORRELATION OF THE TOTAL SOLAR RADIATION WITH METEOROLOGICAL PARAMETERS FOR BULGARIA

**Zdravka Nikolaeva**

University “Prof. Dr. Asen Zlatarov” 8010 Burgas, Bulgaria  
[burievazdr@yahoo.com](mailto:burievazdr@yahoo.com)

### ABSTRACT

In this paper is made a correlation of the total solar radiation with meteorological parameters for Bulgaria. It is used the method of multiple linear regression. The new empirical formula was compared to these obtained by the other methods. Our research shows that the coefficient of regression for the calculation of the solar radiation by the our model was higher than that for the other methods. It means that our empirical formula is precise and correct and provides reliable estimate of the total solar radiation.

The new method provides possibility to calculate the total solar radiation only by using the sunshine duration measured at certain location. Such information would be useful for designing various radiation – utilizing systems (solar power plants, greenhouses, etc.).

Research and study results of this kind are important for the sciences and technologies of our modern world at a time when solar energy as an alternative energy is of utmost importance for the preservation of the natural energy resources of the planet Earth.

**Key words:** solar radiation, the method of multiple linear regression, the standard errors, coefficient of determination,  $F$  – statistics.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Слънчевата радиация е потокът от лъчистата енергия на Слънцето, която се разпространява във всички посоки като електромагнитни вълни с различна дължина. При нейното преминаване през земната атмосфера около 35% се отразява обратно в космоса, около 23% се разсейва от молекулите на въздуха, твърдите примеси, водните пари и капчици и др., а около 15% се поглъща (абсорбира) от водните пари, въглеродния диоксид, озона и твърдите примеси на въздуха. До земната повърхност достигат около 27% от радиацията, достигнала горната граница на атмосферата [5]. Тази радиация се нарича **пряка (директна) слънчева радиация**.

Пряката слънчева радиация и частта от **дифузната (разсеяната) радиация**, която достига до земната повърхност, образуват **глобалната (общата, сумарната) слънчева радиация**. Според Интернационалната стандартизация (The International System of Units - SI) [7], количество глобална радиация върху единица площ за единица време е прието да се нарича интензитет (плътността на енергията) или „инсолация” и се отбелязва с  $G$ , количество директна инсолация се обозначава с  $B$ , а количеството дифузна инсолация се обозначава с  $D$ .

Сумарната радиация на повърхността на земята се измерва от ограничен брой метеорологични станции. Поради това е много важно да се разработят методи и подходящи модели за оценка на слънчевата радиация въз основа на позицията, геометрия и разположението на дадена област, като се използват метеорологичните параметри, които са

лесно достъпни, които да се използват в множество от приложенията на слънчевата радиация.

#### МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Разработени са много алгоритми за прогнозиране на наличното слънчево излъчване, чрез използването на други данни, които обикновено се състоят от стандартните климатични параметри, които се измерват във всяка станция и са лесно достъпни.

Най-простият модел, използван за оценка на месечните средни стойности на дневната обща (сумарна) слънчева радиация върху хоризонтална повърхност е добре познатото уравнение на *Angström* (1924) [2]:

$$\frac{G}{G_o} = a \cdot \frac{n}{N} + b, \quad (1)$$

където:  $G$  - глобална радиация върху единица площ за единица време (интензитет, инсолация),  $W/m^2$ ;  $G_o$  - общата извънземна слънчева радиация (сумарна глобална инсолация),  $W/m^2$ ;  $n$  - слънчевото греене, h;  $N$  - максимална продължителност на слънчевото греене, h;  $n/N$  - относителна продължителност на слънчевото греене;  $a$ ,  $b$  - регресионни коефициенти.

Продължителност на слънчевото греене е общото време (от денонощие, месец, година или друг период) на пряко огряване. Изразява се в часове и десети от часа (абсолютна продължителност на слънчевото греене) или в процент от астрономически възможната (относителна продължителност на слънчевото греене) [15].

Използвайки данните на действителните часове на слънчевото греене и глобалната радиация, *Bahel et al.* (1987) [3] разработва следното уравнение:

$$\frac{G}{G_o} = b + a_1 \cdot \frac{n}{N} + a_2 \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^3 \quad (2)$$

Има и други автори, които използват уравнения от Ангстрьом – тип:

1. *Ahmad* (2004) [1] оценява глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност с полином от втора степен.

2. *Kolev* и *Stoilov* (2003) [12] използват стойности за коефициентите  $a_1$ ,  $a_2$  от уравнението на *Angström*, съответно 0.18 и 0.55, *Wahab* и *Abdel* (2003) [9]: 0.25 и 0.75, а *Todorova* (2010) [8] приема стойности на коефициентите 0.17 и 0.52.

Константите  $a_1$ ,  $a_2$  са емпирични константи. Тяхните стойности зависят от географската ширина, надморската височина, относителната влажност на въздуха, максималната и минимална температури, относителната продължителност на пряката слънчева светлина и други климатични параметри [8].

3. *Ivancheva* и *Koleva* (2008) [4] освен продължителността на слънчевото греене включват максималната и минимална температури и средната денонощна облачност:

$$G = b + a_1 \cdot n + a_2 \cdot T_{\max} + a_3 \cdot T_{\min} + a_4 \cdot c, \quad (3)$$

където:  $n$  - слънчевото греене, h;  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  - средната максимална и минимална температура, K;  $c$  - средна денонощна облачност, %.

4. *Okundamija* и *Nzeako* (2011) [6] предлагат следната емпирична формула за пресмятане на сумарната слънчева радиация:

$$\frac{G}{G_o} = b + a_1 \cdot \bar{R}_T + a_2 \cdot \bar{T}_{\max}; \quad \bar{R}_T = \frac{\bar{T}_{\min}}{\bar{T}_{\max}}. \quad (4)$$

Горните емпирични зависимости се определят с регресионен анализ на експериментални данни [11,13,14]. Константите, които се получават са също емпирични константи и се отнасят само за мястото, за която са пресметнати.

В работата е изведена емпирична формула за слънчевата радиация в София. Тя има вида:

$$\frac{G}{G_0} = 0.2345 + 0.6196 \cdot \frac{n}{N} - 1.9648 \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2 + 4.4280 \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^3 - 2.9084 \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^4. \quad (5)$$

Дългосрочни данни за слънчевата радиация са събирани предимно за Софийското поле, където е разположена Метеорологичната обсерватория. Те могат да дадат обща представа за закономерностите във временното разпределение на слънчевата радиация и радиационния баланс. Като се има предвид неволяното изменение на географската ширина на България (41 - 43 degree), чрез разкритите закономерности във временната структура на слънчевата радиация може до известна степен да се съди за радиацията и на други места в страната, още повече че засега дългосрочни наблюдения за по-дълъг период от време на други места все още не са правени. Получените емпирични формули за София могат да се използват и за други градове на България.

**РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ**

В работата са сравнени някои известни методи за пресмятане на слънчевата радиация (*Angström* (1924), *Bahel* (1987), *Ahmad* (2004), *Ivancheva* и *Koleva* (2008) и *Okundamija* и *Nzeako* (2011)) и предложени от нас нов емпиричен модел (5). Използвани са метеорологични данни, които са общодостъпни в Интернет [10]. Те са за сумарната слънчева радиация  $G$ , W/m<sup>2</sup>;  $n$  – слънчевото греене, h;  $T_{max}$  и  $T_{min}$  – средната максимална и минимална температура, K;  $c$  – средната денонощна облачност, %. Данните са десет дневни за София, от октомври 1999 до декември 2001 г. с общ брой 81.

**Таблица 1.** Получени резултати при сравняване на използваните известни методи и предложени от нас нов емпиричен модел.

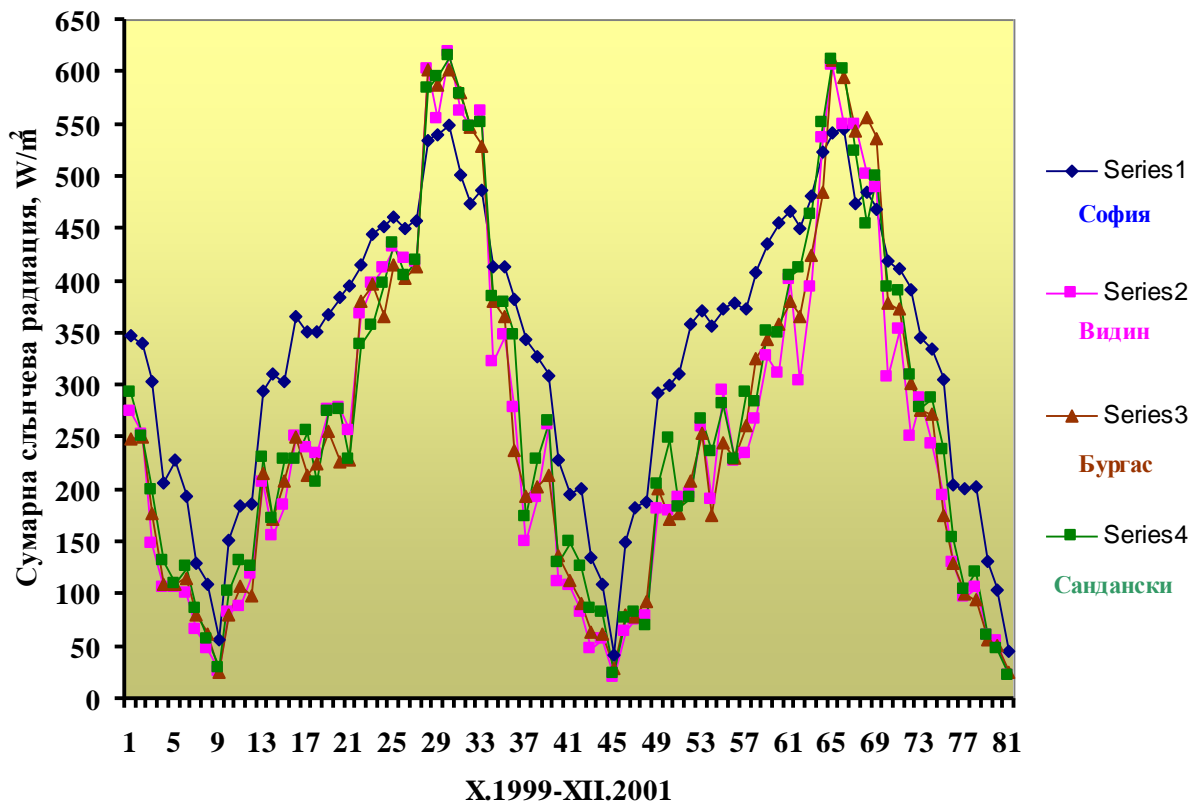
Метод	Емпирични коефициенти	Стандартна грешка	t - статистика	Значимост на F-статистика	Коефициент на детерминация $R^2$
<i>Angström</i> (1924)	$b = 0.4081$ $a_1 = 0.2262$	-0.00797 0.01455	28.3740 28.0394	786.2102 FDIST = 8.17.E-43	0.9087
<i>Bahel</i> (1987)	$b = 0.3014$ $a_1 = -0.2977$ $a_2 = 1.7057$ $a_3 = -1.1908$	0.02133 0.17016 0.39372 0.27273	14.1302 -1.74951 4.33237 -4.36616	325.0651 FDIST = 5.85.E-47	0.9268
<i>Ahmad</i> (2004)	$b = 0.2272$ $a_1 = 0.4026$ $a_2 = 0.0058$	0.01432 0.06305 0.06492	15.8648 6.38528 0.08897	388.1724 FDIST = 2.23.E-46	0.9088
<i>Ivancheva</i> и <i>Koleva</i> (2008)	$b = -1909.26$ $a_1 = 31.6003$ $a_2 = -6.2788$ $a_3 = 13.5862$ $a_4 = 1.88262$	344.442 4.30034 3.69352 4.01255 0.564511	-5.54289 7.34833 -1.69985 3.38593 3.33496	126.9048 FDIST = 7.76.E-33	0.8698
<i>Okundamija</i> и <i>Nzeako</i> (2011)	$b = 2.7764$ $a_1 = -3.7592$ $a_2 = 0.0043$	0.92571 0.79179 0.00434	2.99919 -4.74769 5.67638	89.1269 FDIST = 7.14.E-21	0.6956
<i>Изведена емпирична формула</i>	$b = 0.234507$ $a_1 = 0.619572$ $a_2 = -1.96479$ $a_3 = 4.427975$ $a_4 = -2.90840$	0.032043 0.37539 1.404082 2.086347 1.071382	7.3184 1.650488 -1.39934 2.1223 -2.714625	265.8074 FDIST = 3.25.E-46	0.9333

В таблица 1 са дадени получените емпирични коефициенти на разглежданите пет известни в литературата методи и предложения от нас емпиричен модел. Дадени са съответните стандартни грешки на тези коефициенти.

Направен е тест за проверка на хипотези. Той определя дали всеки коефициент в регресионните уравнения са полезен за оценка на сумарната слънчева радиация. За целта се проверява статистическата значимост на коефициентите. Получената оценка и проверка на хипотези е представена на таблица 1, колоната „t – статистика”. Стойностите показват, че използваните от нас коефициенти в регресионното уравнение са полезни за оценка и прогноза.

Направена е и оценка на правдоподобността на високата стойност на F-статистиката, чрез използването на функцията FDIST. Това е дадено в таблица 1, колона „Значимост на F-статистика”. Стойностите показват, че се получава много малка вероятност за големи F стойности, получени случайно (например  $FDIST = 3.25.E-46$  за „Изведена емпирична формула”).

В таблица 1 са дадени коефициентите на детерминация на използваните известни методи и предложената емпирична формула (5). От сравнението се вижда, че за новия модел се получава най-голям коефициент на детерминация ( $R^2 = 0.9333$ ), което показва, че получената формула (5) може с успех да се използва за изчисляване на сумарната слънчева радиация.



Фиг. 1. Сумарна слънчева радиация,  $W/m^2$ .

Формула (5) може да се използва за пресмятане на слънчевата радиация и за други градове в България. На фиг. 1 са дадени графически получените стойности за София, Видин, Бургас и Сандански.

**ИЗВОДИ**

1. От направения тест за проверка на хипотези на изведеното от нас емпирично уравнение се вижда, че получените коефициенти са полезни за оценка и прогноза.
2. Направена е и оценка на правдоподобността на високата стойност на F-статистиката, чрез използването на функцията FDIST. Стойностите показват, че се получава много малка вероятност за големи F-стойности, получени случайно ( $FDIST = 3.25.E-46$  за изведената от нас емпирична формула).
3. За изведената емпирична формула се получава най-голям коефициент на детерминация ( $R^2 = 0.9333$ ), което показва, че тя може да се използва за изчисляване на сумарната слънчева радиация.
4. Получената емпирична формула за София може да се използва и за други градове на България, защото за нашата страна е характерно неголямо изменение на географската ширина (41 - 43 degree).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ahmad F., I. Ulfat. Empirical Models for the Correlation of Monthly Average Daily Global Solar Radiation with Hours of Sunshine on a Horizontal Surface at Karachi, Pakistan. Turkish Journal Physics, Vol. 28 (2004) pp. 301-307.
2. Angström, A. Solar and Terrestrial Radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 50 (1924), pp. 121-125.
3. Bahel et al. Calculation of Monthly Mean Solar Radiation for Horizontal Surfaces. Journal of Solar Energy, Vol. 12 (1987), p. 131.
4. Ivancheva, J., E. Koleva. An Estimation of the Global Solar Radiation over Bulgaria. Balwois, Ohrid, Republic of Makedonia, May 27-31 (2008).
5. Klein, S. Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces. Journal of Solar Energy, Vol. 19 (1977), pp. 325-329.
6. Okundamija, M., A. Nzeako. Empirical Model for Estimating Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces for Selected Cities in the Six Geopolitical Zones in Nigeria. Journal of Control Science and Engineering, Vol. 2011 (2011), Article ID 356405.
7. Taylor, B., A. Thompson (Editors). The International System of Units (SI). NIST Special Publication 330, National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, Washington, March (2008).
8. Todorova, R. Estimation of Total Solar Radiation Received on Horizontal Surface in Bulgaria. Balwois, Ohrid, Republic of Makedonia, (2010).
9. Wahab, M. Abdel. New Approach to Estimate Angstrom Coefficients. Journal of Solar Energy, Vol. 51 (2003).
10. Вековни данни за времето, <http://www.stringmeteo.com/synop/bg-tuti.php>.
11. Димитрова, Р., Ж. Михайлова. Система за обучение по статистика и статистически изчисления с Excel. <http://teststat.hit.bg/>.
12. Колев, Б., А. Стоилов. Имитационен модел на слънчева радиация. Трета Национална конференция по възобновяеми енергийни източници, октомври 23-24 (2003), София, сс. 47-53.
13. Марков, С. Математическо моделиране. Наука, София, (1997).
14. Множествена регресия, <http://www.kirova.org/Mnogestvena-regresia.doc>
15. Продължителност на слънчевото греене, <http://www.gaisma.com/en/location/sofia.html>.