

УДК 628.9.02

Семків Юрій Мирославович, Андрійчук Володимир Андрійович, Осадца Ярослав Михайлович, Касеркевич Валерій Станіславович

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна.

**АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЯСКРАВОСТІ СВІТЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРИ**

Semkiv Yuriy Myroslavovych, Andriychuk Volodymyr Andreevich, Osadzh Yaroslav Mikhailovich, Kaserkevich Valery Stanislavovich

**ANALYSIS THE MODELS OF THE LIGHT FOR LIGHT BLASTING OF THE
ATMOSPHERE**

Метою даної роботи є розробка математичної моделі для розрахунку впливу світлового забруднення атмосфери. Розроблений підхід до визначення параметрів математичної моделі для розрахунку світлового забруднення атмосфери, що враховує кількість населення міста, кількість та типи світильників, світловіддачу ламп, площу освітленої частини міста та віддаль до місця астрономічних спостережень. Ця проблема актуальна для астрономічних спостережень. На основі моделі буде створена комп'ютерна програма, яка зможе моделювати карту світлового забруднення навколо астрономічної обсерваторії, отримання нових методик виміру світлового забруднення.

Дана робота виконана в рамках договору про співпрацю між астрономічною обсерваторією Львівського національного університету імені Івана Франка та Тернопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя.

Явище світлового забруднення виникає внаслідок направленого вгору штучного світла. Світлове забруднення – освітлення нічного неба штучними джерелами світла, світло яких розсіюється в нижніх шарах атмосфери. Іноді це явище також називають світловим смогом. Основними джерелами світлового забруднення є великі міста і промислові комплекси. На більшості обсерваторій яскравість неба в $22,5^m/\text{кв. секунди}$ (10^{-4} кд/м²) вважається чудовою. Яскравість неба, як і слабких протяжних об'єктів, можна виражати в світлових, енергетичних одиницях - застосовується в звичайних фотометричних розрахунках та астрофізичних (зоряних величинах на квадратну секунду mag/sec²) -використовується тільки в астрофізиці.

Середнє значення яскравості фона темного неба складає приблизно $21,5(\text{mag}/\text{sec}^2)$, що відповідає інтенсивності – $2,5 \cdot 10^{-3}$ квант/см² · с· кв сек дуги ($1,6 \cdot 10^{-6}$ квант/см² · с· кв сек дуги· А).

Мета роботи – моделювання світлового забруднення з врахуванням метео умов і структури джерел світла міст, аналіз примінення існуючих одиниць виміру яскравості.

Аналіз моделей світлового забруднення. Існують такі основні моделі світлового забруднення:

- фотометрична статистична модель світлового забруднення:

$$V = 29 + 0.02 \cdot r + 2.5 \cdot \log(r^2/N); \quad (1)$$

де: V - яскравість в зеніті в (mag/sec^2);
 r – віддаль від населеного пункту в км.,
 N – число жителів.

- модель Уолкера :

$$\begin{aligned} I &= 0,01 \cdot N \cdot r^{-2,5}; \\ L &= 11300000 \cdot N \cdot R^{-2,5} ; \end{aligned} \quad (2)$$

I – % перевищення світлового забруднення над фоном неба;
 L – яскравість неба в зеніті в нано ламберт;
 R - віддаль в метрах;
 N – число жителів.

-модель Шейфера

$$m_{\max} = 8,68 - 1,2 k_v - 5 \cdot \lg(1 + 0.158 V^{1/2}), \quad (3)$$

де

V – яскравість неба в наноламбертах (нЛб) в фотометричній полосі V ,
 k_v – коеф. екстинкції.

Недолік цих моделей полягає в тому, що не враховується метео умови і тип освітлення міст. Пропонуємо модель, яка враховує кількість, типи джерел світла, їх світлотехнічні характеристики, а також кліматичні умови. Енергетична яскравість L_v - ($\text{к-сть фотонів} / (\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{стерадіан})$), що засвічує атмосферу в зеніті:

$$L_v = N_{ph} [1\text{лм}] \cdot 10^{-4} \cdot \delta \cdot \beta \cdot (1 + \delta_1) \left(\sum_{i=1}^{i=z} f_i \cdot N_i \cdot P_i \right) / (S \cdot 2\pi); \quad (4)$$

де S - площа освітленої частини міста, м^2 ;

$\delta = 0,01-0,3$ - коефіцієнт, що враховує відбиття світла в атмосферу;

$\delta_1 = 0,1-0,4$ - коефіцієнт, що враховує попадання прямого світла в атмосферу;

z - кількість типів ламп;

f_i - світловіддача i -го типу лампи, $\text{лм} / \text{вт}$;

N_i – кількість ламп даного типу;

β – відношення освітленої до загальної площі площі міста;

P_i – потужність електрична i -ї лампи, вт ;

$N_{ph} [1\text{лм}] = N_{ph} [1\text{Вт}] / 683 = 0,409 \cdot 10^{16}$ фот с^{-1} - значення числа фотонів при $\mu = 555$ нм за секунду в світловому потоці рівному $1 / 683$ Вт, що на данній довжині хвилі відповідає світловому потоку в 1 лм.

Якщо відома яскравість земної поверхні L_z , то яскравість неба L_v (Кандела / м^2) при зенітній висоті z становить:

$$L_v = L_z \cdot (1 - P_{H_0}^{M(z)}) \cdot \beta / (1 + P_{H_0}^{M(z)}); \quad (5)$$

Або :

$$L_v = E \cdot \delta \cdot \beta \cdot (1 + \delta_1) \cdot (1 - P^{H_0 \cdot M(z)}) / (\pi \cdot (1 + P^{H_0 \cdot M(z)})) ;$$

де $\delta = 0,1-0,3$ - коефіцієнту, що враховує відбиття світла в атмосферу;

$\delta_1 = 0,1-0,4$ - коефіцієнт, що враховує попадання прямого світла в атмосферу;

β – відношення освітленої площі міста до загальної площі;

E – освітленість земної поверхні, лк.

Коефіцієнт прозорості:

$$P = e^{-\lambda}$$

де λ - коефіцієнт ослаблення світла, км^{-1} ;

де $H_0 = 4-8$ км. – висота однорідної атмосфери;

$$M(z) = \sec z;$$

(6)

де z - зенітна віддаль, град;

Ослаблення блиску Δm (в зоряних величинах mag) зір з врахуванням світлового забруднення атмосфери:

$$\Delta m = \delta m - (2.5 \lg p) \cdot [M(z) - 1] - 2,5 \cdot \lg (1 + L/L_{\text{пр}}), \quad (7)$$

δm - величина зенітного атмосферного поглинання в

різних моделях атмосфери:

в релеєвській моделі $\delta m = 0.17^m$,

в фоновій моделі аерозоля $\delta m = 0.26^m$,

в середній моделі $\delta m = 0.34^m$.;

$L_{\text{пр}}$ – природна яскравість неба: $(10^7/4\pi \text{ фотонів } \text{нм}^{-1}\text{см}^{-2} \text{с}^{-1})$ або $174 \mu\text{cd}/\text{м}^2$;

L - яскравість неба від штучної засвітки;

P – коеф. прозорості атмосфери;

$$M(z) = \sec z;$$

де z - зенітна віддаль, град.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Отже, в даній роботі розроблений підхід до розробки параметрів математичної моделі для розрахунку світлового забруднення атмосфери, що враховує кількість населення міста, кількість та типи світильників, світловіддачу ламп, площу освітленої частини міста. На основі моделі створена комп'ютерна програма, яка зможе моделювати карту світлового забруднення.