

# Количествена оценка на ефективността на управлението на вътрешни осветителни уредби

маг. инж. Садетин Басри, д-р инж. Орлин Петров, маг. инж.-диз. Теодор Кючуков

Русенски университет „Ангел Кънчев”

***Quantitative evaluation of the effectiveness of the management of internal lighting:** The aim of the work is to make a quantitative assessment of the effectiveness of the management of internal lighting. There is developed a method to quantify assessment of the daily use of natural and artificial lighting for a smooth, single-stage and two stage control of internal lighting. The method is based on average monthly use of curves of change of the inner natural day light and allows assessment of the amount of lighting for: specific space and specific visual work; specific geographical point, a specific type of lighting control system.*

***Key words:** Daylight, Artificial Lighting, Potential of Daylight, Management of Internal Lightin, Lighting control system.*

## ВЪВЕДЕНИЕ

Приложението на автоматично управление на осветителните уредби е една от най-ефективните мерки за икономия на електрическа енергия за осветление.

Съвместното използване на дневното естествено и изкуственото осветление се разглежда като обща система – смесено осветление, в което естественото е водещо и е допълвано от изкуственото осветление. Ергономичната и енергийната ефективност на смесеното осветление могат да се реализират чрез адекватна система на управление на изкуственото в състава на смесеното осветление. При смесено осветление съставното му изкуствено осветление се реализира като многокомпонентна многофункционална осветителна система, съдържаща три компоненти [7, 12]:

- основно, постоянно изкуствено осветление (ПИО), предназначено само за тъмната част от денонощието;
- постоянно допълнително изкуствено осветление (ПДИО), което работи съвместно с естественото осветление през цялата светла част от денонощието и е предназначено, и ориентирано към зоните от помещенията с недостатъчно естествено осветление;
- допълнително изкуствено осветление (ДИО), което се включва в периода от светлата част от денонощието, когато естественото осветление не осигурява експлоатационната осветеност в помещенията.

Цитираните по-горе три компоненти на изкуственото осветление могат да се съвместят от една осветителна уредба, но в много случаи се локализируют с оглед: реализиране на автоматичното им управление; постигане на минимални енергийни разходи; осигуряване на адекватен светлинен климат в помещенията в денонощен и годишен разрез.

Предвид спецификата на смесеното осветление, съставното му изкуствено осветление се реализира в следните три случая [6, 8]:

- за светлата част от денонощието;
- за тъмната част от денонощието;
- за прехода светла/тъмна и тъмна/светла част от денонощието, а евентуално и за мрачни дни.

Адекватното управление на отделните части на изкуственото осветление (ПДИО, ДИО, ПИО) при смесено осветление позволява реализиране на необходимия светлинен климат в денонощен и годишен разрез и на икономия на електрическа енергия за осветление.

В [6, 7, 10] са разгледани устройства за автоматично степенно управление, които имат различни функционални възможности при управление на смесеното осветление.

Разполага се с ограничени данни за количеството дневно естествено осветление на територията на България [2, 3]. В цитираните публикации е изведена зависимост за определяне

на общите светлинни условия на даден район, която отчита само стойностите за над критичната естествена осветеност  $E_{кр}$ , като не се отчитат периодите от денонощието с ДИО.

В [4] е пресметнато количеството дневно естествено осветление за открита площ за отделни градове в България, като не се отчита количеството разполагаемо дневно естествено осветление вътре в помещенията.

В [1,11] са изведени данни за коефициента на естествено осветление, като е направено едногодишно измерване на дневното естествено осветление в четири помещения в град София с различна географска ориентация. Получените данни са за частни случаи, защото коефициентът на естествено осветление зависи от много фактори и за всяко помещение той има конкретна стойност.

## ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на настоящата работа е да се направи количествена оценка на разполагаемия потенциал на дневното естествено осветление и на използването на дневно естествено и допълнително изкуствено осветление при различни видове управления на вътрешните осветителни уредби.

За постигането на целта се решават следните задачи:

- разработване на метод за количествена оценка на потенциала и използването на дневното естествено и допълнителното изкуствено осветление при плавно, едностепенно и двустепенно управление на вътрешни осветителни уредби;
- оценяване на: разполагаемия потенциал на дневното естествено осветление през периодите от денонощието с недостатъчно естествено осветление; използваното количество дневно естествено осветление; използваното количество изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление – при различни видове управления на осветителните уредби;
- извеждане на стойностите на количествата осветление за конкретни помещения с конкретна зрителна работа и в конкретни географски пунктове;
- създаване на справочни материали за нуждите на енергийните одити на вътрешни осветителни уредби.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Дневното естествено осветление в състава на смесеното има съществен потенциал за икономия на електрическа енергия. За оценяването на този потенциал е необходимо да се определи наличното количество дневно естествено осветление и количеството използвано изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление в състава на смесеното осветление вътре в помещението. С помощта на последното е възможно да се направи оценка на ефективността на начините за автоматично управление.

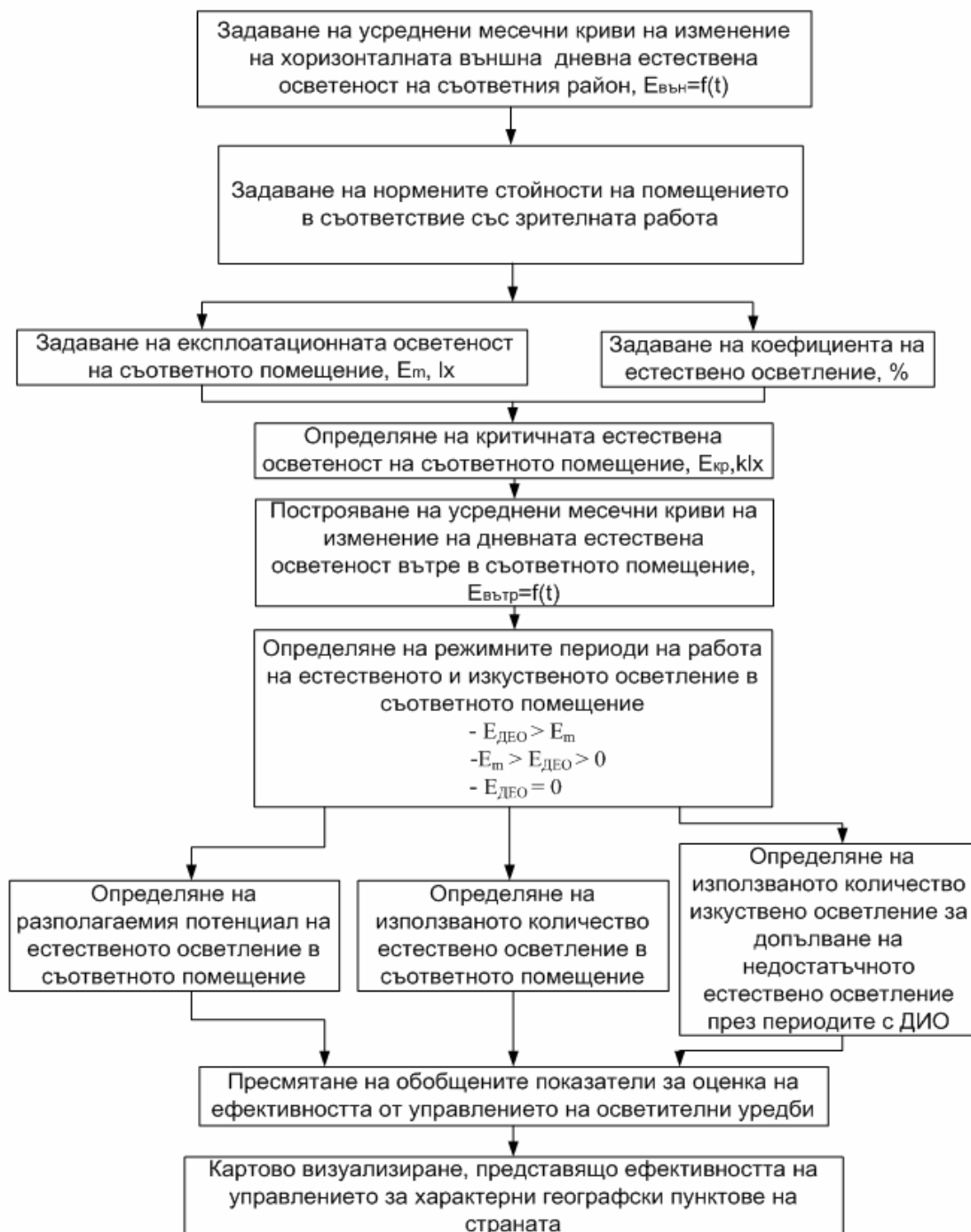
Регулирането на светлинният поток на осветителната уредба може да се извърши плавно или степенно, като видът на регулирането се избира по технико-икономически, енергийни и ергономични съображения.

Плавното управление представлява плавно регулиране (димирание) на светлинния поток на осветителите, респективно на светлинните източници (лампите) на осветителната уредба. Трябва да се има предвид, че плавното регулиране на светлинния поток изисква специална димируема електронна пуско-регулираща апаратура, която работи в *stand by* режим при изключено състояние.

При степенното управление, осветителната уредба се комутира на степени, следвайки динамиката на изменение на дневното естествено осветление. Степените се формират според светлотехническите условия в различните части от помещението и се включват и изключват самостоятелно, според равнището на естественото осветление. Осветителите, влизащи в състава

на една степен се разделят на групи, образувани съобразно конфигурацията на мрежата и комутирани от общ комутационен апарат.

Методът за оценка на ефективността от управлението на осветителните уредби се базира на оценката на потенциала на дневното естествено осветление и на неговото използване. Системният ход с операциите, съгласно метода е представен на блоковата схема на фиг. 1. По-долу се представят сведения за изпълнението на горесцитираните операции.



**Фиг. 1. Блокова схема, представяща операциите съгласно метода за оценка на ефективността от управлението на осветителните уредби**

Взаимното обвързване на нормите за естествено и изкуствено осветление, с оглед осигуряване на нормените количествени показатели на осветлението в помещенията през

светлата и тъмна част от денонощието, става чрез критичната външна естествена осветеност  $E_{кр}$ , klx или lx:

$$E_{кр} = \frac{E_m}{e_m} 100, \quad (1)$$

където  $E_m$  е експлоатационната (поддържаната) осветеност за изкуствено осветление, klx или lx;

$e_m$  - експлоатационната (поддържаната) стойност на коефициента на естествено осветление, %.

Следователно критичната естествена осветеност е тази външна естествена осветеност (на открита площ, от целия небосвод), при която се получава изравняване на естествената осветеност вътре в помещението с експлоатационната осветеност от изкуственото осветление. Ако включването и изключването на изкуственото осветление се осъществи при достигане на критичната естествена осветеност (т.е. ако изкуственото осветление се използва само когато естествената осветеност се понижи под критичната ѝ стойност), светлинният климат в помещенията ще съответства на нормите за естествено и изкуствено осветление.

Усреднените месечни криви на изменение на дневната естествена осветеност на открита площ са построени, изхождайки от денонощния ход на изменение на височината на Слънцето за 15-то число от всеки месец от годината в съответния географски пункт. Усредняването е извършено на базата на метеорологичната статистика за съответния географски пункт [4, 5].

Във връзка с приложението на усреднени месечни характеристики на изменение на дневната естествена външна осветеност, се прилагат изведените в [5] математични модели. За извеждане на адекватни математични модели, кривите са разделени на два участъка:

I участък -  $E_{в\ddot{u}н} = 1 \div 5$  klx;

$$\log E = b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0 . \quad (2)$$

II участък -  $E_{в\ddot{u}н} > 5$  klx.

$$\log E' = b_2' \cdot T^2 + b_1' \cdot T + b_0' , \quad (3)$$

където  $E$  е дневната естествена осветеност в участъка до 5 klx;

$E'$  - дневната естествена осветеност в участъка над 5 klx;

$b_2$ ,  $b_1$  и  $b_0$  са регресионните коефициенти на математичния модел на кривата на изменение на дневната естествена осветеност до 5 klx;

$b_2'$ ,  $b_1'$  и  $b_0'$  - регресионните коефициенти на математичния модел на кривата на изменение на дневната естествена осветеност над 5 klx .

Математичните модели във формули (2) и (3) отразяват логаритмичното изменение на дневната естествена осветеност [9, 13, 14]. За да бъде пресметнато действителното количество хоризонтална външна естествена осветеност, моделите се антилогаритмуват и придобиват вида:

I участък -  $E_{в\ddot{u}н} = 1 - 5$  klx;

$$E = 10^{b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0} . \quad (4)$$

II участък -  $E_{в\ddot{u}н} > 5$  klx.

$$E' = 10^{b_2' \cdot T^2 + b_1' \cdot T + b_0'} . \quad (5)$$

Извършените пресмятания, представени по-долу, са направени за често срещаната в практиката критична външна осветеност със стойност 5000 lx. Например експлоатационна осветеност  $E_m = 300$  lx и коефициент на естествено осветление  $e = 0,06$  (6 %) са характерни за често прилагани видове зрителна работа в практиката - учебни зали, машиностроителни предприятия, офиси и др.

Стойностите на дневната естествена осветеност вътре в помещението се пресмятат по формулата:

$$E_{в\ddot{u}тp} = E_{в\ddot{u}н} \cdot e, lx , \quad (6)$$

където  $E_{в\ddot{u}н}$  е хоризонталната външна дневна естествена осветеност на открита площ, klx;

$E_{в\ddot{u}тp}$  - хоризонталната вътрешна дневна естествена осветеност в помещението, lx;

$e$  - коефициентът на естествено осветление на помещението, %.

Чрез пресметнатите стойности по формула (6) се построява кривата на изменение на дневната естествена осветеност вътре в помещението  $E_{\text{вътр}} = f(t)$ .

Режимните периоди на работа на естественото и изкуственото осветление в помещенията се разделят условно на:

- I период, през който дневната естествена осветеност вътре в помещението е по-голяма от експлоатационната осветеност на помещението (светла част от денонощието, когато  $E_{\text{ДЕО}} > E_m$ ). През този период не се използва изкуствено осветление.
- II период – от изгрев на Слънцето до достигането на експлоатационната осветеност и от последното до залез (светла част от денонощието, когато  $E_m > E_{\text{ДЕО}} > 0$ ). През този период от денонощието се използва смесено осветление (дневно естествено и допълващо го изкуствено осветление).
- III период – от залез до изгрев на Слънцето (тъмна част от денонощието, когато  $E_{\text{ДЕО}} = 0$ ). През този период се използва само изкуствено осветление.

Целесъобразно е оценката на ефективността на начините за автоматично управление на вътрешни осветителни уредби да се направи главно за втория период от денонощието, когато се прилага дневно естествено осветление, допълвано от изкуствено осветление. За този период се изяснява различието на ефекта от плавното и степенното управление на осветителните уредби.

Потенциалът и използването на дневното естествено осветление и използването на изкуственото осветление се оценява чрез показателя количество осветление  $Q$ , lxh.

По-конкретно се оценява количеството осветление в следните случаи:

- разполагам потенциал на дневното естествено осветление;
- използвано количество дневно естествено осветление;
- използвано количество изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление.

➤ **Определяне на разполагаемия потенциал на дневното естествено осветление вътре в помещението през периода от денонощието, когато дневното естествено осветление се допълва с изкуствено (използва се смесено осветление).**

На фиг. 2 е представена диаграма, илюстрираща изменението на дневната естествена осветеност вътре в помещението за конкретен месец от годината, за конкретен географски пункт и за конкретно помещение, с конкретна експлоатационна осветеност и коефициент на естествено осветление (пресмятане по формула 1).

Потенциалът на дневното естествено осветление вътре в помещението при смесено осветление се представя с площта  $Q_{\text{ДЕОAA}_1}$ , заключена между точките  $AA_1C_1$ , за първата половина от денонощието и площта  $Q_{\text{ДЕОВ}_1B}$  между точките  $B_1BD_1$ , отнасяща се за втората половина от денонощието.

Количеството разполагаемо дневно естествено осветление вътре в помещението се определя по формулите:

- За първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

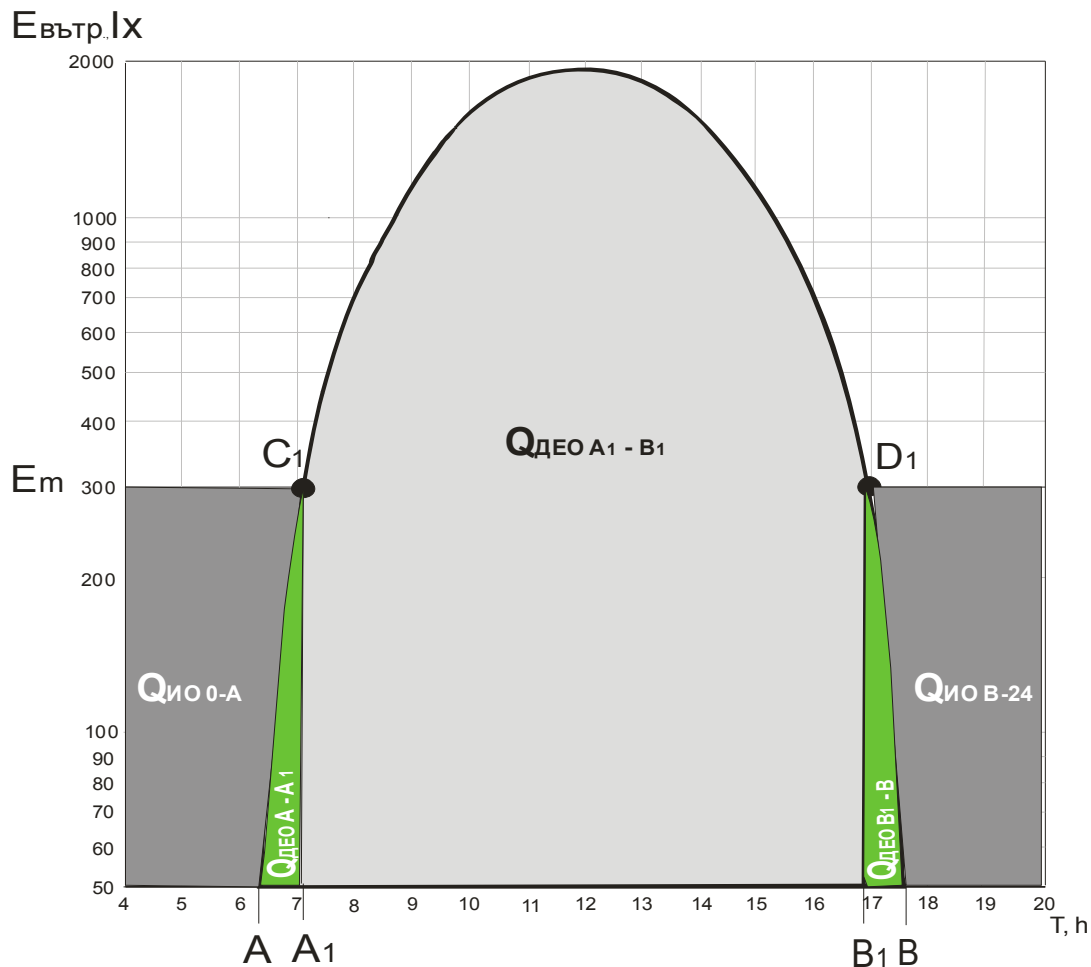
$$Q_{\text{ДЕОAA}_1} = Q_{AA_1C_1} = \int_{T_A}^{T_{A1}} E_{\text{вътр}}(t) dt = \int_{T_A}^{T_{A1}} E_{\text{вън}}(t) \cdot edt = \int_{T_A}^{T_{A1}} 10^{(b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0)} \cdot edt, lxh. \quad (7)$$

- За втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{\text{ДЕОВ}_1B} = Q_{B_1BD_1} = \int_{T_{B1}}^{T_B} E_{\text{вътр}}(t) dt = \int_{T_{B1}}^{T_B} E_{\text{вън}}(t) \cdot edt = \int_{T_{B1}}^{T_B} 10^{(b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0)} \cdot edt, lxh. \quad (8)$$

- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{\text{ДЕО}} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{\text{ДЕОAA}_1} + \sum_{i=1}^{12} Q^i_{\text{ДЕОВ}_1B}, lxh. \quad (9)$$



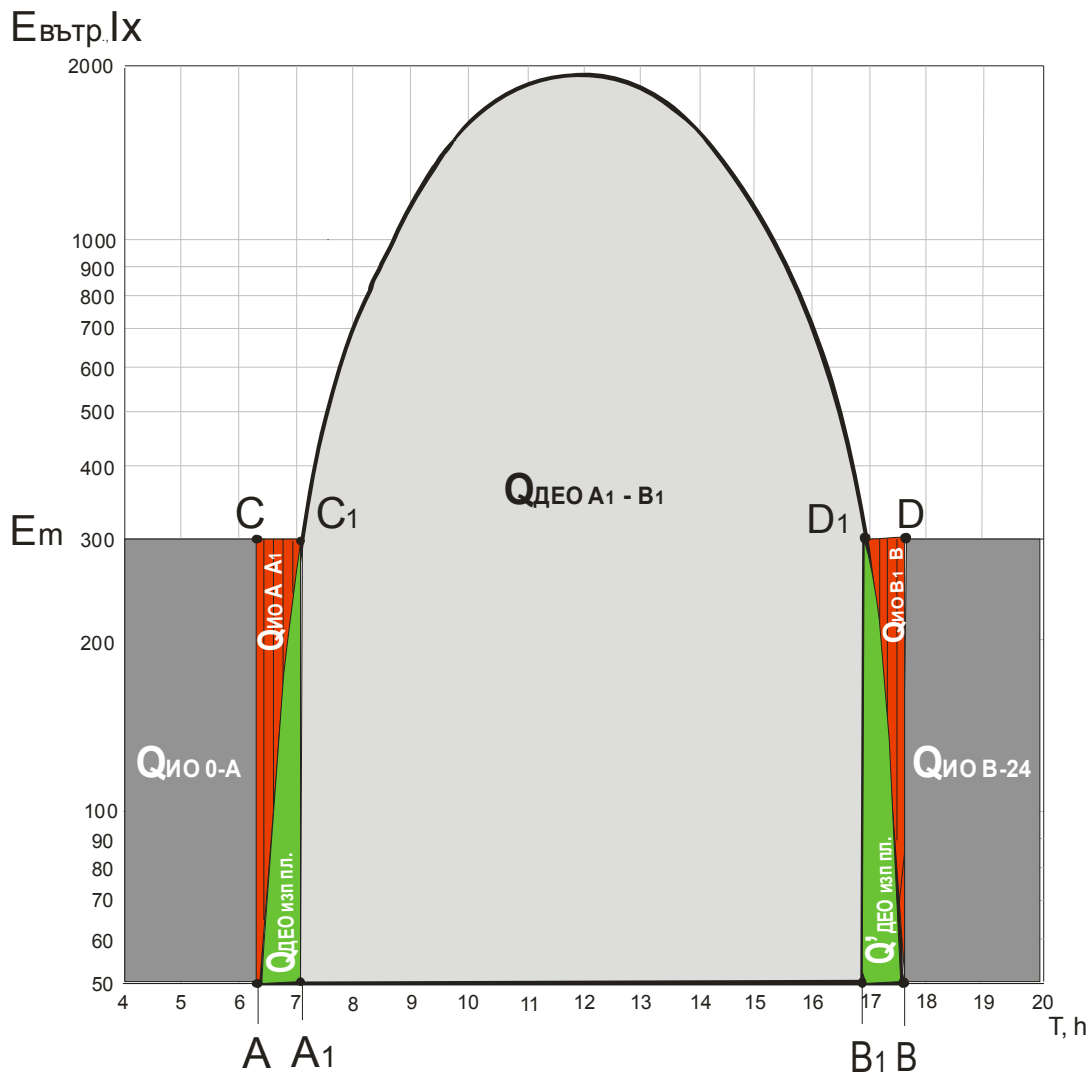
**Фиг. 2. Определяне на потенциала на дневното естествено осветление, в периоди с недостатъчно естествено осветление, по усреднена месечна крива на изменение на дневната естествена осветеност вътре в помещение**

Това е разполагаемият потенциал на дневното естествено осветление, когато дневната естествена осветеност вътре в помещението е по-ниска от експлоатационната и естественото осветление следва да се допълва с изкуствено осветление. При различните видове управление на осветлението този потенциал се използва в различна степен (следва по-долу).

- **Определяне на използваното количество дневно естествено осветление и на количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление – при плавно управление на вътрешни осветителни уредби (плавно регулиране на светлинния поток)**

На фиг. 3 е представена диаграма за разпределението на зоните на използвания потенциал на дневното естествено осветление и количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление за един месец от годината при плавно управление на осветителната уредба. Използва се усреднена месечна крива на изменение на дневната естествена осветеност вътре в помещението. Зададена е експлоатационната осветеност  $E_m$ .

Площите  $ACC_1$  и  $BD_1D$  отговарят на количеството изкуствено осветление, за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление, съответно за първата и втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление.



**Фиг. 3. Определяне на използваното количество дневно естествено осветление и на количеството изкуствено осветление, допълващо естественото осветление, през периоди с недостатъчно естествено осветление при плавно регулиране на светлинния поток**

Използваният потенциал на дневното естествено осветление, в периода когато се използва смесено осветление, при плавно управление е равно на наличният потенциал на дневното естествено осветление вътре в помещението:

- За първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{\text{ДЕОизп.пл}} = Q_{\text{ДЕОАА}_1}, \text{lxh} . \quad (10)$$

- За втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q'_{\text{ДЕОизп.пл}} = Q_{\text{ДЕОВ}_1\text{В}}, \text{lxh} . \quad (11)$$

- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{\text{ДЕОизп.пл}} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{\text{ДЕОизп.пл}} + \sum_{i=1}^{12} Q'^i_{\text{ДЕОизп.пл}}, \text{lxh} . \quad (12)$$

Количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление може да се определи по следните формули:

- За първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{\text{ИОАА}_1} = Q_{\text{АСС}_1} = Q_{\text{АА}_1\text{С}_1} - Q_{\text{АА}_1\text{С}_1} = E_m \cdot T_{\text{АА}_1} - \int_{T_A}^{T_{\text{А}_1}} 10^{(b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0)} \cdot edt, \text{lxh} . \quad (13)$$

- За втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{ИО_{B,B}} = Q_{BDD_1} = Q_{BB_1D_1D} - Q_{BB_1D_1} = E_m \cdot T_{BB_1} - \int_{T_{B1}}^{T_B} 10^{(b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0)} \cdot dt, lxh. \quad (14)$$

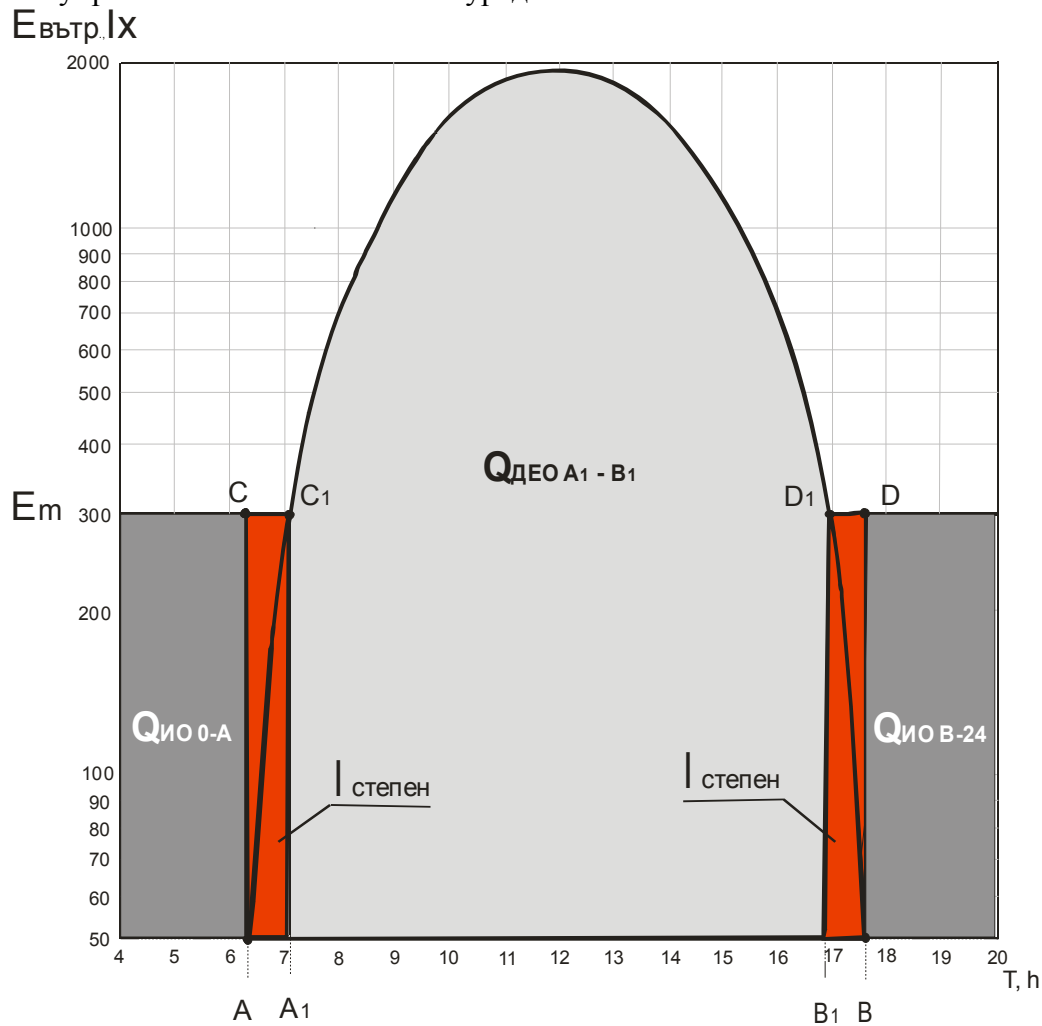
- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{ИО_{III}} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{ИО_{AA_1}} + \sum_{i=1}^{12} Q^i_{ИО_{B_1B}}, lxh. \quad (15)$$

При плавно управление на осветителната уредба недостатъчното дневно естествено осветление вътре в помещението се допълва с изкуствено осветление (периода на използване на смесено осветление) само, колкото е необходимо. По такъв начин наличното дневно естествено осветление се използва напълно.

- **Определяне на използваното количество дневно естествено осветление и на количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление – при едностепенно управление на вътрешни осветителни уредби**

На диаграмата на фиг. 4 е представено разпределението на зоните на използвания потенциал на дневното естествено осветление и количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление за един месец от годината при едностепенно управление на осветителната уредба.



**Фиг. 4. Определяне на използваното количество дневно естествено осветление и на количеството изкуствено осветление, допълващо естественото, през периоди с недостатъчна естествена осветеност, при едностепенно управление на осветителната уредба**



Площите  $AA_1CC_1$  и  $B_1BD_1D$  отговарят на количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление при едностепенно управление на осветителната уредба - съответно за първата и втората половина от денонощието в частта на смесеното осветление.

Използваният потенциал на дневното естествено осветление в периода когато се използва смесено осветление при едностепенно управление е равен на нула ( $Q_{ДЕОизп.ед.ст.} = 0, lxh$ ;  $Q'_{ДЕОизп.ед.ст.} = 0, lxh$  ;).

$$Q^Г_{ДЕОизп.ед.ст.} = \sum_{j=1}^{12} Q^i_{ДЕОизп.ед.ст.} + \sum_{j=1}^{12} Q'^i_{ДЕОизп.ед.ст.}, lxh \quad (16)$$

Количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление при едностепенно управление може да се определи по следните формули:

- За първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{AA_1C_1C} = E_m \cdot T_{AA_1}, lxh. \quad (17)$$

- За втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{B_1BDD_1} = E_m \cdot T_{BB_1}, lxh. \quad (18)$$

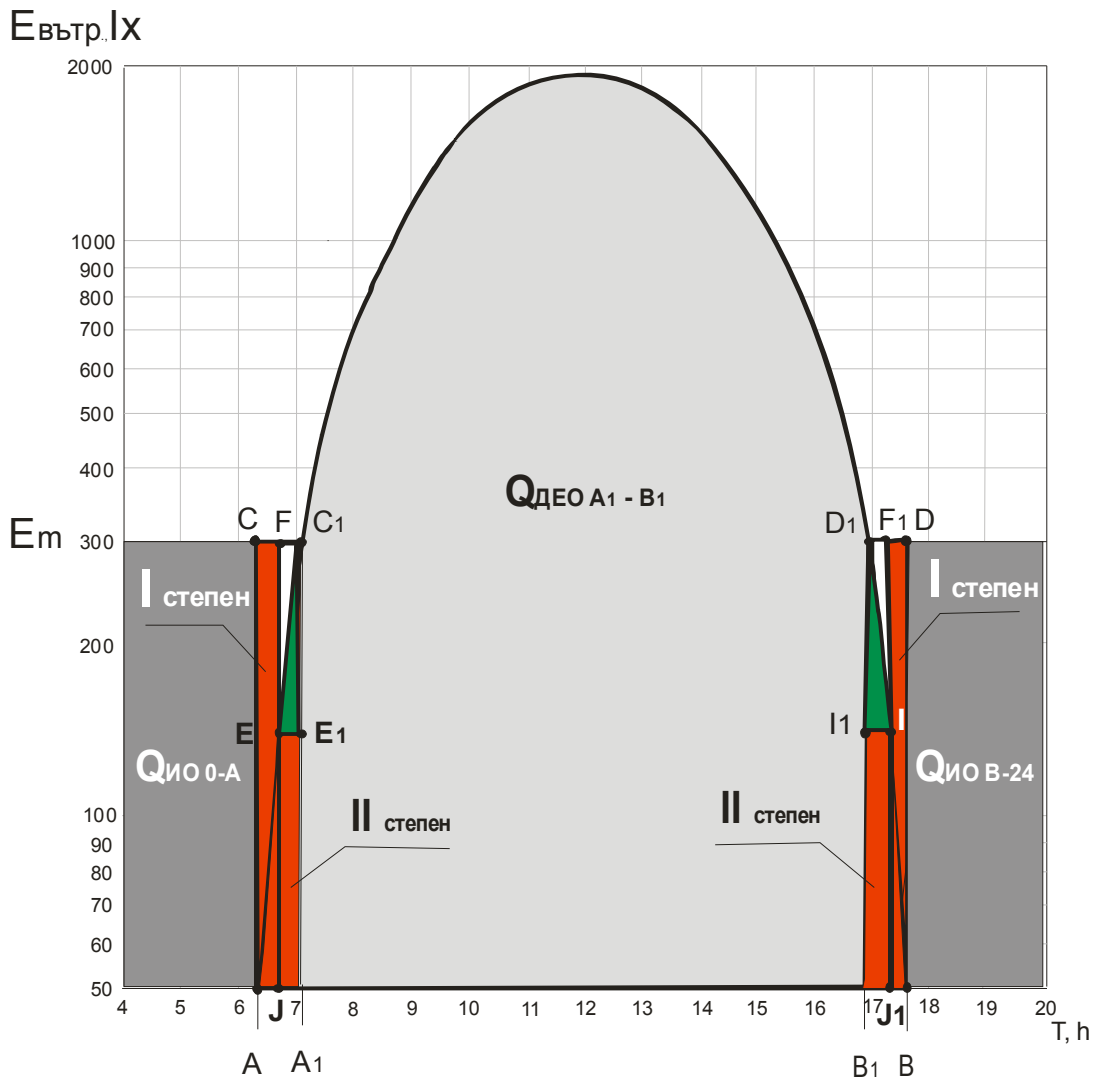
- Общо за годината:

$$Q^Г_{НОед.ст.} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{AA_1C_1C} + \sum_{i=1}^{12} Q^i_{B_1BDD_1}, lxh. \quad (19)$$

При този вид управление, изключването (сутрин) и включването (вечер) на осветителната уредба се извършва в моментите на достигане на  $E_m$ . Площта, представлява използваното количество дневно естествено осветление, изцяло се покрива от площта на количеството изкуствено осветление, за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление, през периода на смесеното осветление. Това показва, че при едностепенно управление практически не се използва разполагаемият потенциал на дневното естествено осветление вътре в помещението.

➤ **Определяне на използваното количество дневно естествено осветление и на количеството изкуствено осветление, за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление, при двустепенно управление на вътрешни осветителни уредби**

На диаграмата на фиг. 5 е представено графично количеството използвано дневно естествено осветление и количеството изкуствено осветление, за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление, за един месец от годината при двустепенно управление на осветителната уредба. Площите  $AJCF$  и  $J_1BF_1D$  отговарят на използваното количество изкуствено осветление за първата степен, а  $JA_1EE_1$  и  $B_1J_1\Pi_1$  отговарят на количеството използвано изкуствено осветление за втората степен – съответно за първата и втората половина от денонощието в частта на използване на смесеното осветление.



**Фиг. 5. Определяне на използваното количество дневно естествено осветление и на количеството изкуствено осветление, допълващо естественото осветление през периоди с недостатъчна естествена осветеност, при двустепенно управление на осветителната уредба**

При този вид управление се приема условно, че отделните степени на осветителната уредба са с равен брой осветители и осветеността получавана от едната степен е равна на половината на експлоатационната осветеност ( $E_I = E_{II} = E_m/2$ ).

Изключването (сутрин) на втората степен и включването (вечер) на първата степен на осветителната уредба става при достигане на ниво на осветеност  $E_m/2$ . При достигане на ниво на осветеност  $E_m$  се изключва първата степен (сутрин) и се включва втората степен (вечер).

Използваният потенциал на дневното естествено осветление в периода, когато се използва смесено осветление, при двустепенно управление е:

➤ *За първа степен:*

- За първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{ДЕОизп.дв.ст.1} = 0, lxh . \quad (20)$$

- За втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q'_{ДЕОизп.дв.ст.1} = 0, lxh . \quad (21)$$

- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{ДЕОизп.дв.ст.1} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{ДЕОизп.дв.ст.1} + \sum_{i=1}^{12} Q'^i_{ДЕОизп.дв.ст.1}, lxh . \quad (22)$$

➤ *За втора степен:*

- За първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{\text{ДЕОизп.дв.ст.п}} = Q_{\text{ДЕО}_{E_{E_1C_1}}} = \int_{T_J}^{T_{J_1}} 10^{(b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0)} \cdot edt - \frac{E_m}{2} \cdot T_{J_{A_1}}, l x h . \quad (23)$$

- За втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q'_{\text{ДЕОизп.дв.ст.п}} = Q'_{\text{ДЕО}_{E_{B_1D_1}}} = \int_{T_{B_1}}^{T_{J_1}} 10^{(b_2 \cdot T^2 + b_1 \cdot T + b_0)} \cdot edt - \frac{E_m}{2} \cdot T_{B_1 J_1}, l x h . \quad (24)$$

- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{\text{ДЕОизп.дв.ст.п}} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{\text{ДЕОизп.дв.ст.п}} + \sum_{i=1}^{12} Q'^i_{\text{ДЕОизп.дв.ст.п}}, l x h . \quad (25)$$

➤ *Общо за годината за двете степени:*

$$Q^{\Gamma}_{\text{ДЕОизп.дв.ст.}} = Q^{\Gamma}_{\text{ДЕОизп.дв.ст.1}} + Q^{\Gamma}_{\text{ДЕОизп.дв.ст.п}} . \quad (26)$$

Количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление при двустепенно управление може да се определи по следните формули:

➤ *За първа степен:*

- През първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{\text{ИО}_I} = E_m \cdot T_{AJ}, l x h . \quad (27)$$

- През втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q'_{\text{ИО}_I} = E_m \cdot T_{J_B}, l x h . \quad (28)$$

- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{\text{ИО}_I} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{\text{ИО}_I} + \sum_{i=1}^{12} Q'^i_{\text{ИО}_I}, l x h . \quad (29)$$

➤ *За втора степен:*

- През първата половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q_{\text{ИО}_{II}} = E_{AE} \cdot T_{J_{A_1}}, l x h . \quad (30)$$

- През втората половина от денонощието, в която се използва смесено осветление:

$$Q'_{\text{ИО}_{II}} = E_{B_1 I_1} \cdot T_{B_1 J_1}, l x h . \quad (31)$$

- Общо за годината:

$$Q^{\Gamma}_{\text{ИО}_{II}} = \sum_{i=1}^{12} Q^i_{\text{ИО}_{II}} + \sum_{i=1}^{12} Q'^i_{\text{ИО}_{II}}, l x h . \quad (32)$$

➤ *Общо за годината за двете степени:*

$$Q^{\Gamma}_{\text{ИО}_{\text{дв.ст.}}} = Q^{\Gamma}_{\text{ИО}_I} + Q^{\Gamma}_{\text{ИО}_{II}}, l x h . \quad (33)$$

При двустепенно управление на осветителната уредба количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление, в сравнение с едностепенното е по-малко, а използваният потенциал на дневното естествено осветление не се усвоява пълноценно. Следва да се отбележи, че при увеличаване на броя на степените ефективността на този вид управление ще нарасне.

Крайните резултати от направените премятия, за конкретно помещение в град Русе, са дадени в табл. 1.

Чрез приложение на гореизложения метод е оценена ефективността на различни видове управления на вътрешни осветителни уредби в условията на областните градове в България. Резултатите са изведени за помещение с критична естествена осветеност 5000 lx и са представени чрез картова визуализация на фиг. 6...9.

Таблица 1

**Данни за потенциала на дневното естествено осветление и неговото използване, и за използването на допълнително изкуствено осветление при различни видове управления на осветителните уредби (плавно и степенно) за помещения с критична осветеност 5000 lx в района на град Русе**

№ по ред	Показател	Количество осветление, lx.h	Стойности на относителните показатели
1	2	3	4
1	Разполагам потенциал на дневното естествено осветление през периодите от денонощието с недостатъчно естествено осветление (когато естественото осветление се допълва с допълнително изкуствено осветление – прилага се смесено осветление) (отнесено към показателя по т. 1).	$Q^{\Gamma}_{ДЕО} = 1831,04 \text{ lxh}$	1,0
2	Използвано количество дневно естествено осветление при плавно регулиране на светлинния поток на осветителната уредба (отнесено към показателя по т. 1).	$Q^{\Gamma}_{ДЕОизп.пл} = 1831,04 \text{ lxh}$	1,0
3	Използвано количество дневно естествено осветление при едностепенно управление на осветителната уредба (отнесено към показателя по т.1).	$Q^{\Gamma}_{ДЕОизп.ед.ст.} = 0 \text{ lxh}$	0,0
4	Използвано количество дневно естествено осветление при двустепенно управление на осветителната уредба (отнесено към показателя по т. 1): - за I степен - за II степен - общо за двете степени	$Q^{\Gamma}_{ДЕОизп.дв.ст.1} = 0 \text{ lxh}$ $Q^{\Gamma}_{ДЕОизп.дв.ст.2} = 360,58 \text{ lxh}$ $Q^{\Gamma}_{ДЕОизп.дв.ст.} = 360,58 \text{ lxh}$	0,0 0,197 0,197
5	Сумарно количество използвано дневно естествено осветление и допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление – при плавно регулиране на светлинния поток (по т. 2 и 6) (отнесено към показателя по т. 5).	$Q^{\Gamma}_{СО} = 3627,95 \text{ lxh}$	1,0
6	Използвано количество допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при плавно регулиране на светлинния поток на осветителната уредба (отнесено към показателя по т. 5).	$Q^{\Gamma}_{ИО_{пл}} = 1796,91 \text{ lxh}$	0,495
7	Използвано количество допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при едностепенно управление на осветителната уредба (отнесено към показателя по т. 5).	$Q^{\Gamma}_{ИО_{ед.ст.}} = 3627,95 \text{ lxh}$	1,0
8	Използвано количество допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при двустепенно управление на осветителната уредба (отнесено към показателя по т. 5): за I степен за II степен общо за двете степени	$Q^{\Gamma}_{ИО_1} = 2015,55 \text{ lxh}$ $Q^{\Gamma}_{ИО_2} = 806,20 \text{ lxh}$ $Q^{\Gamma}_{ИО_{дв.ст.}} = 2821,75 \text{ lxh}$	0,556 0,222 0,777



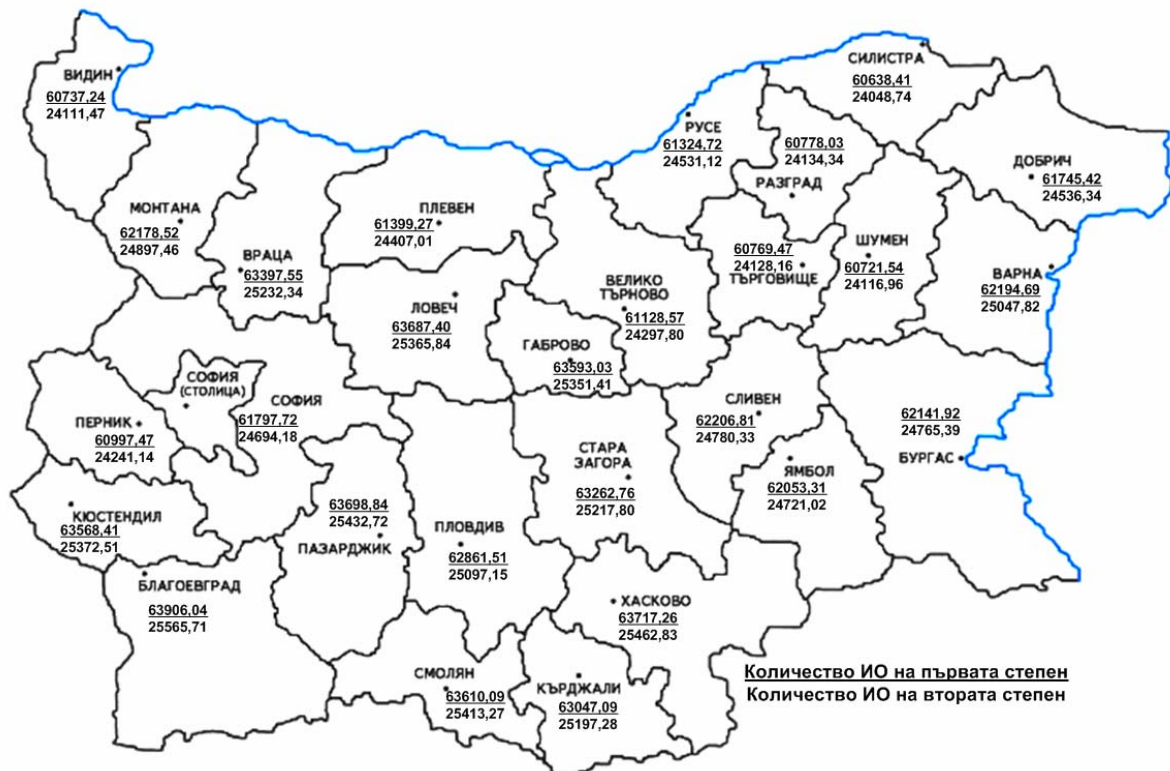
**Фиг. 6. Разпределение на стойностите на разполагаемия потенциал на дневното естествено осветление вътре в помещението през периода от денонощието, когато дневното естествено осветление се допълва с изкуствено (за помещение с критична естествена осветеност 5000 lx в различни географски пунктове в България)**



**Фиг. 7. Разпределение на стойностите на количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление при плавно управление на вътрешни осветителни уредби в периода, когато се използва смесено осветление (за помещение с критична естествена осветеност 5000 lx в различни географски пунктове в България)**



**Фиг. 8. Разпределение на стойностите на количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление при едностепенно управление на вътрешни осветителни уредби в периода, когато се използва смесено осветление (за помещение с критична естествена осветеност 5000 lx в различни географски пунктове в България)**



**Фиг. 9. Разпределение на стойностите на количеството изкуствено осветление за допълване на недостатъчното дневно естествено осветление при двустепенно управление на вътрешни осветителни уредби в периода, когато се използва смесено осветление (за помещение с критична естествена осветеност 5000 lx в различни географски пунктове в България)**

От анализа на получените резултати се вижда, че най-големи и най-малки стойности на показателите се получават съответно за районите на Благоевград и Силистра, разположени в южната и северната части на България.. Относителните стойности на показателите са дадени в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнителни данни за показателите на използваемостта на естественото и изкуственото осветление в различни райони на страната**

№ по ред	Показател	Географски пункт		Увеличение (+), намаление (-), на показателя за Благоевград спрямо Силистра,%
		Благоевград	Силистра	
1	2	3	4	5
1	Разполагам потенциал на дневното естествено осветление през периода, през който дневната естествена осветеност вътре в помещението е по-голяма от експлоатационната осветеност на помещението (светла част от денонощието, когато $E_{ДЕО} > E_m$ ). През този период не се използва изкуствено осветление.	8049218,82 lxh	7644274,31 lxh	+ 5,03
2	Разполагам потенциал на дневното естествено осветление през периодите от денонощието с недостатъчно естествено осветление $0 < E < E_m$ (когато естественото осветление се допълва с допълнително изкуствено осветление – прилага се смесено осветление), $Q^Г_{ДЕО}, lxh$	58015,27 lxh	54911,00 lxh	+ 5,35
3	Разполагам потенциал на дневното естествено осветление през периода от залез до изгрев на Слънцето (тъмна част от денонощието, когато $E_{ДЕО} = 0$ ). През този период се използва само изкуствено осветление.	0	0	0
4	Необходимо количество осветление за цялото денонощие (24h. $E_m$ – приема се $E_m = 300lx$ ) $24.300.365=26028000$	26028000 lxh	26028000 lxh	0
5	Използвано количество допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при плавно регулиране на светлинния поток на осветителната уредба, $Q^Г_{ИО_{пл}}, lxh$	57027,38 lxh	54123,20 lxh	+5,1
6	Използвано количество допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при едностепенно управление на осветителната уредба, $Q^Г_{ИО_{ед.ст.}}, lxh$	115042,65 lxh	109034,20 lxh	+5,2
7	Използвано количество допълнително изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при двустепенно управление на осветителната уредба:			
	- за I степен, $Q^Г_{ИО_I}, lxh$	63906,04 lxh	60638,41 lxh	+5,1
	- за II степен, $Q^Г_{ИО_{II}}, lxh$	25565,71 lxh	24048,74 lxh	+5,9
	- общо за двете степени, $Q^Г_{ИО_{дв.ст.}}, lxh$	89471,75 lxh	84687,15 lxh	+5,3
8	Използвано количество изкуствено осветление през периода от залез до изгрев на Слънцето (тъмна част от денонощието, когато $E_{ДЕО} = 0$ ). През този период се използва само изкуствено осветление.	1354301,62 lxh	1360661,13 lxh	-0,47
9	Спестено (икономисано) количество изкуствено осветление чрез използване на потенциала на дневното естествено осветление при:			
	➤ плавно регулиране на светлинния поток	1217070,73 lxh	1213513,97 lxh	+0,29
	➤ едностепенно управление на осветителната уредба	1159055,46 lxh	1158602,97 lxh	+0,04
	➤ двустепенно управление на осветителната уредба	1170441,50 lxh	1169341,04 lxh	+0,09

Неголямата разлика в резултатите се дължи на това, че България е разположена в сравнително тесни географски граници.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработен е метод за количествена оценка на използването на дневното естествено и изкуственото осветление при плавно, едностепенно и двустепенно управление на вътрешни осветителни уредби. Оценката е базирана на определянето на количеството осветление:

- разполагам потенциал на дневното естествено осветление през периодите от денонощието с недостатъчно естествено осветление (когато естественото осветление се допълва с допълнително изкуствено осветление, т.е. се прилага смесено осветление);

- използвано количество дневно естествено осветление;

- използвано количество изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление.

2. Методът се базира на използване на усреднени месечни криви на изменение на вътрешната дневна естествена осветеност и позволява оценка на количеството осветление за: конкретно помещение и конкретна зрителна работа; конкретен географски пункт; конкретен вид управление на осветителната уредба.

3. За конкретен пункт в страната (района на град Русе) и за характерни помещение и зрителна работа (критична осветеност 5000 lx) са определени стойностите на цитираните в извод 1 показатели.

4. Използването на разполагаемия потенциал на дневното естествено осветление през периода на недостатъчно естествено осветление, допълвано с изкуствено осветление (използване на смесено осветление) при различни видове управление на осветителните уредби е:

- плавно управление (плавно регулиране на светлинния поток) – 1,0 (100 %);
- едностепенно управление – 0 (0 %);
- двустепенно управление – 0,197 (19,7 %).

5. Използването на изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление при различните видове управление на осветителните уредби е:

- плавно управление (плавно регулиране на светлинния поток) – 0,495 (49,5%);
- едностепенно управление – 1,0 (100 %);
- двустепенно управление – 0,777 (77,7%);

6. За целите на енергийното одитиране на осветителни уредби, чрез картова визуализация, са представени стойностите на показателите съгласно извод 1 за различни географски пунктове на страната, за помещения с критична осветеност 5000 lx и за различни видове управления на осветителните уредби.

7. Установява се, че максималните и минималните стойности на показателите за различните райони на страната (северни и южни) се различават незначително. Така например за плавното регулиране на светлинния поток:

- разполагам потенциал на дневното естествено осветление – 5,35 %;
- използвано количество изкуствено осветление за допълване на недостатъчното естествено осветление – 5,1 %

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Георгиев В., И. Петринска, Оценка на ефективността на системите за управление според разходите за осветление в обществени сгради, XII Национална конференция по осветление с международно участие 'Осветление' 2007, Варна, 2007
- [2] Костов К., Естествената осветеност на територията страната. София, Хидрология и метеорология, 1966, № 5
- [3] Костов К., По външната осветеност в района на София. София, Хидрология и метеорология, 1965, № 1
- [4] Кючуков Р. Използваемост на осветителните уредби в различни райони на България. XI национална конференция с международно участие "Осветление '93", Варна, 1993



- [5] Кючуков Р., П. Петков. Модели на изменението на дневната естествена осветеност. Енергиен форум 2005, Доклади том 2, Варна, 2005.
- [6] Кючуков Р. , О. Петров. Метод и алгоритъм за автоматично степенно управление за осветителни уредби за смесено осветление. XII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление' 2007, Варна, 2007
- [7] Кючуков Р., И. Евстатиев, О. Петров. Система за автоматично степенно управление на осветителни уредби за смесено осветление. Енергиен форум 2007, Варна, 2007
- [8] Кючуков Р. Дневно естествено осветление, Русенски университет „Ангел Кънчев”, Русе, 2007
- [9] Караколева С., Велева Е., Висша математика 3. Практикум по „Числени методи” с Matlab, Русенски университет „Ангел Кънчев”, Русе, 2004
- [10] Пачаманов А. Управление на осветителни уредби в обществени сгради по годишни календари на естествената осветеност. София, АВС-Техника, Осветителни системи, 2004, № 2
- [11] Пачаманов А., И. Петринска., Н. Янева. Годишно изменение на коефициентите на естествено осветление за помещения с различно географско изложение, XII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2007, Варна, 2007
- [12] Стефанов Ст., Р. Кючуков , В. Русева. Електроснабдяване. Ръководство за лабораторни упражнения. Русе, Русенски университет “Ангел Кънчев”, 2003
- [13] Йорданов, Й. Приложение на Matlab в инженерните изследвания, Университетско издателство „Ангел Кънчев”, Русе, 2004
- [14] Faires, J. Douglas, Burden, R. Numerical Methods, 2nd ed., Brooks / Cole Publishing Company, USA, 1998

#### **ЗА КОНТАКТИ:**

маг. инж. Садетин Басри, Русенски университет “Ангел Кънчев”,  
 тел.: 082 888 319; E-mail: sbasri@uni-ruse.bg; boks\_@abv.bg  
 ас. д-р инж. Орлин Петров, Русенски университет “Ангел Кънчев”,  
 тел.: 082 888 301; E-mail: opetrov@uni-ruse.bg  
 маг. инж.-диз. Теодор Кючуков, Русенски университет “Ангел Кънчев”,  
 тел.: 082 888 319; E-mail: teodor\_mbg@yahoo.com

Изследванията са подкрепени по договор № **BG051PO001-3.3.04/28**, „Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите”. **Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.**