

**ПЛАМЕН ЦАНКОВ**

**МИЛКО ЙОВЧЕВ**

# **ОСВЕТИТЕЛНА И ИНСТАЛАЦИОННА ТЕХНИКА**

**РЪКОВОДСТВО  
за курсова работа**



УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО  
**Г**  
ГАБРОВО  
2022



**ПЛАМЕН ЦАНКОВ**

**МИЛКО ЙОВЧЕВ**

# **ОСВЕТИТЕЛНА И ИНСТАЛАЦИОННА ТЕХНИКА**

## **РЪКОВОДСТВО ЗА КУРСОВА РАБОТА**



УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО  
**“ВАСИЛ АПРИЛОВ”**  
ГАБРОВО, 2022

Ръководството за курсова работа по Осветителна и инсталационна техника е предназначено за студенти от специалности „Електроенергетика и електрообзавеждане“, „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ и „Възобновяеми енергийни източници и енергийна ефективност“ при Технически университет – Габрово, както и за инженери, проектанți и специалисти в областта на електропроектирането и осветителната техника.

В ръководството се представя методология за проектиране на осветителна и електрическа инсталация на етаж от обществена сграда, която включва: аналитични светлотехнически изчисления на количествени и качествени показатели за едно помещение; автоматизирани светлотехнически изчисления на всички помещения със специализиран софтуерен продукт; проектиране на осветителна и силова инсталация на етаж от сградата, което се състои в определяне на местоположението и броя на разпределителните табла, групиране на осветителните и контактните излази по токови кръгове, определяне на електрическите товари на токовите кръгове за осветление и контакти и на разпределителните табла, избор на защитна апаратура, избор на сечение на проводници и кабели; графична част с инсталационен план на осветителната уредба и еднолинейна схема на разпределителното табло.

Ръководството е съставено на база на актуални литературни източници: основни учебни пособия по дисциплината в университетите в България, национални и международни нормативни документи, техническа и проектантска справочна литература, специализирани светлотехнически софтуерни продукти, ръководства по осветителни и електрически инсталации и уредби на водещи фирми в областта на електрическото осветление и електроснабдителни системи.

За успешно изпълнение на курсовата работа е необходима предварителна теоретична подготовка. Разработената курсова работа се представя за защита пред ръководителя, не по-късно от края на учебния семестър.

© Пламен Ценков Цанков – автор, 2022

© Милко Тодоров Йовчев – автор, 2022

Рецензент: доц. д-р инж. Ива Петринска

Печат: Университетско издателство “Васил Априлов” – Габрово, 2022

ISBN: 978-954-683-669-4

## С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Използвани съкращения .....</b>                                                                                         | <b>5</b>  |
| <b>Техническо задание .....</b>                                                                                            | <b>6</b>  |
| <b>Глава I. Аналитични светлотехнически изчисления на количествени и качествени показатели за едно помещение .....</b>     | <b>8</b>  |
| 1.1. Избор на помещение. Характеристика на помещението .....                                                               | 8         |
| 1.2. Определяне на експлоатационната осветеност .....                                                                      | 9         |
| 1.3. Избор на осветител в помещението .....                                                                                | 11        |
| 1.4. Определяне на експлоатационния фактор на помещението .....                                                            | 15        |
| 1.5. Определяне на интегралните коефициенти на отражение .....                                                             | 16        |
| 1.6. Определяне на индекса на помещението и коефициентите на използване на светлинния поток .....                          | 17        |
| 1.6.1. Определяне на индекса на помещението .....                                                                          | 17        |
| 1.6.2. Определяне на коефициента на използване на светлинния поток на осветителната уредба .....                           | 19        |
| 1.7. Определяне на необходимия светлинен поток и необходимия брой осветители в помещението .....                           | 21        |
| 1.8. Определяне на средната осветеност и яркост на работна повърхност, стени и таван в помещението .....                   | 22        |
| 1.9. Определяне на разположението на осветителите в помещението .....                                                      | 24        |
| 1.10. Определяне на показателя обобщена степен на заслепяване в помещението .....                                          | 26        |
| <b>Глава II. Автоматизирани светлотехнически изчисления със специализиран софтуер .....</b>                                | <b>39</b> |
| 2.1. Нормиране на количествените и качествените показатели на осветлението и моделиране на елементите на помещението ..... | 39        |
| 2.2. Избор на осветител .....                                                                                              | 41        |
| 2.3. Определяне на експлоатационния фактор и необходимия брой осветители .....                                             | 42        |
| 2.4. Светлотехнически изчисления на количествени и качествени показатели на осветлението .....                             | 43        |

|                                                                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава III. Проектиране на осветителна и силова инсталация</b>                                                          | <b>47</b>  |
| 3.1. Основни термини и етапи на проектиране на осветителна и силова инсталация                                            | 47         |
| 3.2. Определяне на броя, местоположението и мощността на осветителите, ключовете за осветление и контактите в помещенията | 49         |
| 3.2.1. Осветителна инсталация                                                                                             | 49         |
| 3.2.2. Силова инсталация с контактни излази                                                                               | 50         |
| 3.3. Определяне на местоположението и броя на разпределителните табла                                                     | 52         |
| 3.4. Групиране на осветителни и контактни излази по токови кръгове                                                        | 55         |
| 3.5. Определяне на електрическите товари на токовите кръгове за осветление и контакти, и на разпределителните табла       | 58         |
| 3.6. Избор на защитна апаратура на токови кръгове и разпределителни табла                                                 | 65         |
| 3.7. Избор на сечение на проводници и кабели                                                                              | 74         |
| 3.7.1. Определяне на сечението на проводници и кабели за ниско напрежение по допустимо нагряване при нормален режим       | 76         |
| 3.7.2. Съгласуване на сечението със защитния апарат                                                                       | 77         |
| 3.7.3. Проверка на сечението на проводниците по допустима загуба на напрежение                                            | 78         |
| <b>Задание и примерно изпълнение на курсова работа по осветителна и инсталационна техника</b>                             | <b>81</b>  |
| <b>Приложения</b>                                                                                                         | <b>96</b>  |
| <b>Литература</b>                                                                                                         | <b>100</b> |

## ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

БДС – Български държавен стандарт;  
ГРТ – Главно разпределително табло;  
ДТЗ – Дефектнотокова защита;  
ЕПРА – Електронна пусково регулираща апаратура;  
ЗУТ – Закон за устройство на територията;  
КРУ – Крайно разпределително табло;  
ЛЛ – Луминесцентна лампа;  
МРТ – Междинно разпределително табло;  
МХЛ – Металхалогенна лампа;  
НЛВН – Натриева лампа с високо налягане;  
РТ – Разпределително табло;  
СРК – Светлоразпределителна крива;  
LED – Light Emitting Diode (Светодиод);  
UGR – Unified Glare Rating (Обобщена степен на заслепяване)

## ТЕХНИЧЕСКО ЗАДАНИЕ

Техническото задание за изпълнение на курсовата задача по Осветителна и инсталационна техника включва данни за архитектурния план на етаж от сграда, работно напрежение, система на осветление и нормативни документи.

Архитектурният план на етаж от обществена сграда (фиг. 1.1) се представя в (.dwg) файлов формат в мащаб 1:100 с размер на работния лист А3. В архитектурната основа се посочват броя, местоположението, дължината  $x$ , широчината  $y$ , респ. площта  $A$ , и функционалното предназначение на помещенията, разположението на вратите, прозорците, дебелината на стените, височината на тавана  $H$  и коефициентите на отражение на таван  $\rho_t$ , стени  $\rho_{ст}$ , под  $\rho_{п}$  и работна повърхност  $\rho_{рп}$ .

Електрозахранването на електрическата уредба, включваща осветителната и силовата инсталация на сградата, се осъществява по схема TN-S или TN-C-S. При схема TN неутралата на източника на захранване е свързана директно със земя, а достъпните токопроводими части на уредбата са свързани към неутралата чрез защитни проводници; при схема TN-S по цялата дължина на мрежата защитният (PE) и неутралният (N) проводник са разделени; при схема TN-C-S функциите на защитния и неутралния проводник са обединени и се осъществяват от един проводник (PEN), от източника на захранване само за част от дължината на мрежата. Електрозахранването се осъществява от трифазна (петпроводна) и еднофазна (трипроводна) мрежа 400/230 V с честота  $f = 50$  Hz. Допуска се при захранване на еднофазни потребители в сградата от трифазна разпределителна мрежа различни групи еднофазни потребители да имат общи (N) и (PE) проводници (при петпроводна схема), положени директно от захранващия възел.

Системата на осветление на закрито се изпълнява по два основни начина: *общо равномерно осветление* и *комбинирано* (общо и местно осветление на работните места). Общото равномерно осветление се прилага в помещения, където се извършва еднотипна работна и за работна зона се приема цялата хоризонтална повърхност на помещението. Комбинирано осветление се прилага в помещения, за които се изисква светлинно акцентирание върху определени зони (например в санитарни възли). *Работното осветление* е необходимо за извършване на основната зрителна задача, *аварийното* – за продължаване на работата до приключване на важни дейности, а *евакуационното* – за безопасна евакуация на хора от помещенията при отпадане на работното осветление.

В настоящото ръководство при проектиране на електрическо осветление за работна зона се приема цялата хоризонтална повърхност на помещенията. Не се отчита пропускането на дневна светлина от прозорците и не се разглежда изчисляване на естествено осветление в помещенията.

В процеса на проектиране на осветителната и силова инсталация на обекти е необходимо да се спазват действащите наредби и нормативни документи. Отношение в процеса на проектиране имат следните документи:

- Наредба № 3 от 9 юни 2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии;
- Наредба № 1 от 27 май 2010 г. за проектиране, изграждане и поддържане на електрически уредби за ниско напрежение в сгради;
- БДС EN 12464-1:2021 - Светлина и осветление. Осветление на работни места. Част 1: Работни места на закрито;
- БДС EN 15193-1:2017+A1:2021 - Енергийни характеристики на сгради. Енергийни изисквания за осветление. Част 1: Спецификации, модул M9;
- БДС EN 60947-1:2007 – Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 1: Общи правила. (IEC 60947-1:2020);
- БДС EN 60947-2:2018 – Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 2: Автоматични прекъсвачи (IEC 60947-2:2016 + Cor 1:2016).

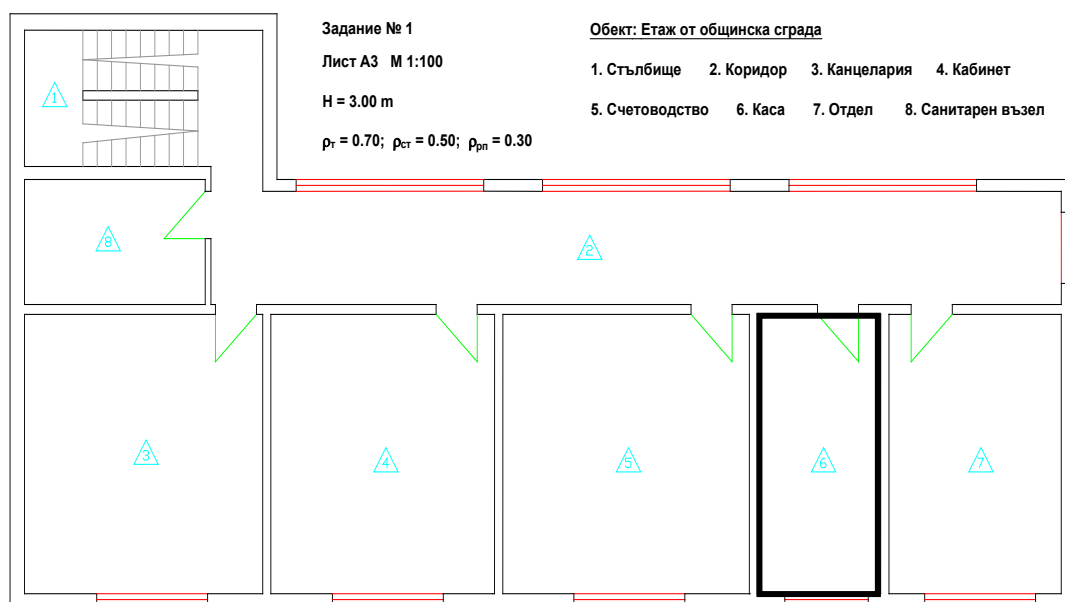


## Г Л А В А I

# АНАЛИТИЧНИ СВЕЛОТЕХНИЧЕСКИ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА КОЛИЧЕСТВЕНИ И КАЧЕСТВЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ЕДНО ПОМЕЩЕНИЕ

## 1.1. Характеристика на помещението

Помещението е част от етаж на обществена сграда – фиг. 1.1 (условно избраното помещение е оградено с плътна непрекъсната черна линия), като е посочено неговото функционално предназначение, съгласно техническото задание. Средата в помещението е невзриво- и пожароопасна. В помещението липсват условия, създаващи повишена или особена опасност за поражения от електрически ток. Приема се, че помещението е сухо, с относителна влажност на въздуха  $\leq 75 \%$ , и температура в диапазона  $(10 \div 30) ^\circ\text{C}$ . При светлотехническите изчисления не се отчита количеството постъпваща дневна светлина и се пренебрегват оптичните характеристики на прозорците.



Фиг. 1.1. Архитектурна основа на етаж от сграда – избор на помещение за аналитични светлотехнически изчисления

Предварително е зададена височината  $H$  от пода на помещението, а площта  $A$  в  $[\text{m}^2]$  се определя по формулата:

$$A = xy, \quad (1.1)$$

където  $x$  и  $y$  са съответно дължина и ширина на помещението в  $[\text{m}]$ , измерени от архитектурния план със зададен мащаб 1:50 или 1:100.

Обемът на аналитичните изчисления за избраното помещение се определя от неговата площ и предназначение, нормирана осветеност и необходимия брой осветители в него.

## 1.2. Определяне на експлоатационната осветеност

Експлоатационната (нормирана) осветеност  $\bar{E}_m$  [lx] е поддържаната осветеност, определена да удовлетворява нуждите от визуален комфорт и производителност, която трябва да се поддържа през времето на цялата техническа експлоатация, независимо от възрастта и състоянието на инсталацията. Стойността на  $\bar{E}_m$  е тази, под която средната осветеност за определена повърхност не трябва да пада. Експлоатационната осветеност е основен количествен показател за нормиране на вътрешното осветление, като стойността ѝ е посочена в БДС EN 12464-1 в зависимост от функционалното предназначение на помещението. Скалата на  $\bar{E}_m$  задава препоръчителните стъпки на нарастване на нормената осветеност, които са в съответствие с БДС EN 12665 за да се създаде различно зрително възприятие: 5 – 7,5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000 – 7 500 – 10 000 lx.

В табл. 1.1 са показани изискванията по БДС EN 12464-1 за осветление на работно пространство, осветеност на стаята и околното пространство. Експлоатационната осветеност  $\bar{E}_m$  се отнася за работната повърхност, която може да бъде хоризонтална, вертикална или наклонена. Стойността на  $\bar{E}_m$  в колона 1 (а) от табл. 1.1 е в сила за нормални зрителни (работни) условия, като са взети под внимание: психофизиологичните аспекти, като зрителен комфорт и чувство за удобство; изискванията за зрителни задачи; ергономия на зрението; практически опит; икономичност. Препоръчва се увеличаване на експлоатационната осветеност  $\bar{E}_m$  с една или две стъпки в скалата на осветеност – колона 2 (б) от табл. 1.1, при наличие на утежняващи нормалната зрителна задача условия, например: визуалната работа е критична; коригирането на грешки в продукцията е скъпо; повишената концентрация и точността са от голямо значение; детайлите на задачите са с необичайно малък размер или нисък контраст; задачата се извършва за необичайно дълго време; зрителният капацитет на работника е под нормалното. Стойността на  $\bar{E}_m$  в колона 2 не трябва да се разглежда като горна граница [1].

Освен експлоатационната осветеност върху работната повърхност  $\bar{E}_m$ , за изкуственото осветление по БДС EN 12464-1 (табл. 1.1, колони 3÷8) се нормират и: равномерност на осветеността  $U_o$  (отношението на минималната към средната осветеност –  $E_{\min}/E_{cp}$ ); индекс на цвето предаване  $R_a$ ; гранична стойност на показателя обобщена степен на заслепяване  $R_{UGL}$ ;

експлоатационна цилиндрична осветеност  $\bar{E}_{m,z}$ ; експлоатационна осветеност върху стени  $\bar{E}_{m,wall}$ ; експлоатационна осветеност върху таван  $\bar{E}_{m,ceiling}$ .

Таблица 1.1. Нормативни светлотехнически изисквания на работно пространство, осветеност на стаята и околното пространство

| Работно пространство (зрителна задача)                                            |     |       |       |           | Изисквания към помещението                       |                                            |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|-------|-----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
| Изисквания, свързани с работното пространство, зрителна задача или дейност        |     |       |       |           | За визуална комуникация и разпознаване на обекти | Осветеност на пространството в помещението |                               |
| $\bar{E}_m$<br>[lx]                                                               |     | $U_o$ | $R_a$ | $R_{UGL}$ | $\bar{E}_{m,z}$<br>[lx]                          | $\bar{E}_{m,wall}$<br>[lx]                 | $\bar{E}_{m,ceiling}$<br>[lx] |
| (a)                                                                               | (b) |       |       |           | $U_o \geq 0,10$                                  |                                            |                               |
| 1                                                                                 | 2   | 3     | 4     | 5         | 6                                                | 7                                          | 8                             |
| (a) – задължителна минимална стойност на $\bar{E}_m$ за нормални зрителни условия |     |       |       |           |                                                  |                                            |                               |
| (b) – увеличаване на $\bar{E}_m$ при промяна на нормалните зрителни условия       |     |       |       |           |                                                  |                                            |                               |

В табл. 1.2 са показани нормативни изисквания по БДС EN 12464-1 за най-често срещаните в курсовата работа помещения.

Таблица 1.2. Нормативни светлотехнически изисквания за някои типични помещения (повърхности), зрителни задачи и дейности

| Тип помещение, зрителна задача или дейност    | $\bar{E}_m$<br>[lx] |       | $U_o$ | $R_a$ | $R_{UGL}$ | $\bar{E}_{m,z}$<br>[lx] | $\bar{E}_{m,wall}$<br>[lx] | $\bar{E}_{m,ceiling}$<br>[lx] |
|-----------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                                               | (a)                 | (b)   |       |       |           | $U_o \geq 0,10$         |                            |                               |
| Коридори и зони за движения                   | 100                 | 150   | 0,40  | 40    | 28        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Стълби и ескалатори                           | 100                 | 150   | 0,40  | 40    | 25        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Каси, рецепции                                | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Умивални, бани, тоалетни                      | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 25        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Складови помещения                            | 100                 | 150   | 0,40  | 80    | 25        | 100                     | 50                         | 30                            |
| Преснемане, копиране и др.                    | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Писане, машинопис, четене, обработка на данни | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Конферентни зали, заседания                   | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Приемни гишета                                | 300                 | 750   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Архиви                                        | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 25        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Кухня                                         | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Детски ясли                                   | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Класни стаи - общи дейности                   | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Аудитории, зали за четене                     | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 50                            |
| Помещения за ръчен труд                       | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 100                        | 100                           |
| Библиотека - читални                          | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 50                            |
| Спортни зали и гимнастика                     | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 75                         | 30                            |
| Отделения за обикновени медицински прегледи   | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Операционни зали                              | 1 000               | 1 500 | 0,60  | 90    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Шев и фино плетиво                            | 750                 | 1 500 | 0,70  | 80    | 22        | 150                     | 150                        | 100                           |

В прил. 1 са представени нормативните изисквания за помещения в общински, образователни, здравни, финансови, търговски, спортни и други сгради, съгласно изискванията на БДС EN 12464-1:2021 [1].

### 1.3. Избор на осветител в помещението

Изборът на осветител и лампите (светлинни източници) в него са важен етап от процеса на проектиране. Светлотехническите показатели на осветителите определят количествените, качествените и икономическите показатели на осветителните уредби [16]. При избора трябва да се удовлетворяват изискванията на стандарта към степента на заслепяване  $R_{UGL}$ , корелираната цветна температура  $T_c$  (цвета на светлината) и индекса на цветопрераждане  $R_a$  за зрителни задачи в съответния вид помещение. Максималната стойност на  $R_a$  е 100. В помещения с продължителен престой, където се извършва основната зрителна задача, индексът на цветопрераждане трябва да бъде  $R_a \geq 80$ . В зависимост от тона на бялата светлината, лампите се разделят на три групи:

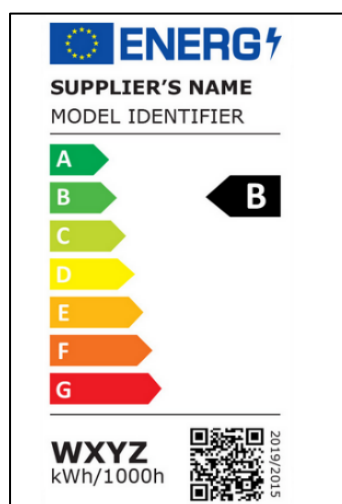
- топъл –  $T_c < 3\,300$

K, при  $\bar{E}_m < 200$  lx;

- неутрален –  $T_c = (3\,300 \div 5\,300)$  K, при  $\bar{E}_m = (200 \div 500)$  lx;

- студен –  $T_c > 5\,300$  K, при  $\bar{E}_m > 500$  lx.

При избора на осветител, в зависимост от приложението и характеристиките на околната среда в помещението, се съобразяват: светлоразпределителна крива (СРК), степен на защита IP, защитен ъгъл, максимален интензитет на светлината, яркост, коефициент на полезно действие, свет-



Фиг. 1.2. Енергиен етикет

лоотдаване (наричано още светлинен добив или ефикасност)  $\eta$  и др. Енергийната ефективност на осветителната уредба пряко зависи от светлоотдаването на светлинния източник. Съгласно директива на Европейския съюз от 01.09.2021 г., лампите, захранвани директно от мрежата, трябва да са обозначени с етикет за консумацията на електрическа енергия – фиг. 1.2. На енергийния етикет се посочват: производител и модел; енергиен клас – от A (най-ефективен) до G (най-неефективен); енергийна консумация за 1000 h използваемост; QR код (в базата данни на Европейския регистър на продуктите за енергийно етикетиране). Енергийният клас се определя от светлоотдаването на светлинните източници – табл. 1.3 [9]. Осветителите, които се избират

за помещенията, трябва да удовлетворяват светлотехническите изисквания за дадена зрителна задача или пространство без преразход на електрическа енергия. Същевременно не трябва да се нарушават зрителните изисквания

към осветителите само за да се намали консумацията на енергия. Съвременните ефективни осветители имат светлоотдаване над 100 lm/W.

Таблица 1.3. Класове на енергийната ефективност на светлинни източници

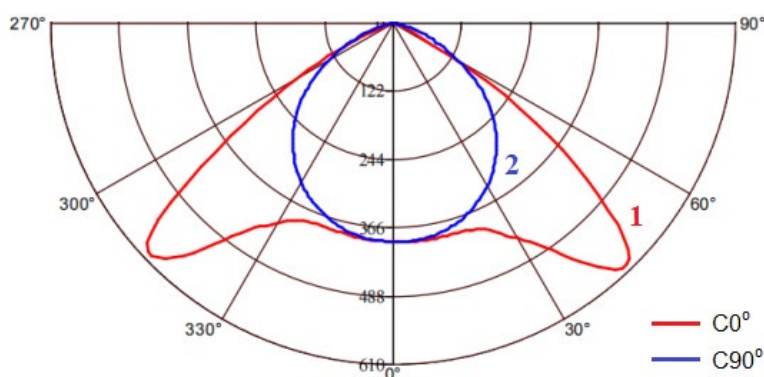
| Клас на енергийна ефективност | Общо светлоотдаване $\eta$ [lm/W] |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| A                             | $210 \leq \eta$                   |
| B                             | $185 \div 210$                    |
| C                             | $160 \div 185$                    |
| D                             | $135 \div 160$                    |
| E                             | $110 \div 135$                    |
| F                             | $85 \div 110$                     |
| G                             | $\eta < 85$                       |

За помещения с височина  $H \leq 6$  m в административни и обществени сгради, при които тавана, стените и работната повърхност имат високи коефициенти на отражение  $\rho$  и се предявяват повишени изисквания към качеството на осветлението, се препоръчва да се използват осветители с директна или разсеяна светлина, а при специални случаи, например в болнични помещения с престой на пациенти – с предимно отразена светлина. Като светлинни източници в осветителите за помещения в такъв тип обекти се използват светодиодни (LED) и луминесцентни лампи. Осветителите с LED лампи се характеризират с по-дълъг в сравнение с луминесцентните лампи експлоатационен срок, приблизително 30 000 часа, и непрекъснато увеличаващо се светлоотдаване.

Светлоразпределителната крива е много важна фотометрична характеристика на осветителя, тъй като от нейната форма зависи степента на заслепяване, комфорта на светлинната среда и общата равномерност на осветеността  $U_o$  в помещението. СРК се състоят от набор от стойности на интензитета на светлината  $I_\gamma$  в различни посоки от пространството, получени чрез преки фотометрични лабораторни измервания. При фотометриране на осветителите най-често се използва фотометричната C- $\gamma$  координатна система за представяне на СРК. В зависимост от нивото на ограничаване на степента на заслепяване  $R_{UGL}$  и отразения блясък от огледално отразяващи повърхности в помещенията с височина  $H \leq 6$  m, подходящи за използване са осветители с косинусна ( $I_\gamma = I_{\max} \cos \gamma$ ) и полуширока светлоразпределителна крива – фиг. 1.3. Показаните на фиг. 1.3 СРК (полуширока-1 и косинусна-2), измерени за един осветител, са симетрични по отношение на меридиалните две фотометрични C-равнини – C0° и C90°, при вертикални фотометрични ъгли  $\gamma = 0^\circ \div 90^\circ$ .

За помещения с височина  $H = (6 \div 12)$  m – например производствени халета, физкултурни салони, се използват осветители с дълбоко и косинусно светлоразпределение; за помещения с височина  $H > 12$  m са подходящи осветители с концентрирана и дълбока СРК.





Фиг. 1.3. Полуширока (1) и косинусна (2) светлоразпределителна крива



Фиг. 1.4. Осветител-1, модел ЛЛ-4x18W-5400lm



Фиг. 1.5. Осветител-2, модел LED-28W-4000lm

Таблица 1.4. Технически характеристики на разглежданите осветители

| Показател                                                                                          | Осветител-1  | Осветител-2 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|
| Захранващо напрежение [V] / честота [Hz]                                                           | 230 / 50     | 230 / 50    |
| Тип на лампите (светлинните източници)                                                             | ЛЛ           | LED         |
| Тип на луминесцентните лампи (диаметър на тръбата)                                                 | T8 (Ø 26 mm) |             |
| Брой и мощност на луминесцентните лампи $P_L$ [W]                                                  | 4x18         | LED матрица |
| Мощност на осветителя $P_o$ [W]                                                                    | 79           | 28          |
| Тип на баластното устройство в осветителя                                                          | електронна   | електронна  |
| Коефициент на пусково-регулирущата апаратура $k_{ПРА}$                                             | 1,05÷1,15    | 1,00        |
| Оптична система на осветителя                                                                      | отражател    | разсейвател |
| Светлинен поток на една луминесцентна лампа                                                        | 1 350        | -           |
| Светлинен поток на осветителя $\Phi_{осв}$ [lm]                                                    | 5 400        | 4 000       |
| Светлоотдаване на осветителя $\eta$ [lm/W]                                                         | 68           | 143         |
| Енергиен клас                                                                                      | G            | D           |
| Корелирана цветна температура $T_c$ [K]                                                            | 4 000        | 4 000       |
| Индекс на цвето предаване на осветителя $R_a$                                                      | 85           | 90          |
| Експлоатационен срок на осветителя [h]                                                             | 10 000       | 50 000      |
| Намаляване на светлинния поток в края на живота на осветителя спрямо първоначалния светлинен поток | -            | L80 (20%)   |
| Степен на защита от прах и влага                                                                   | IP20         | IP20        |
| Степен на защита срещу механични удари                                                             | -            | IK02        |
| *Дължина на осветителя $l_{осв}$ [mm]                                                              | 615          | 1 130       |
| *Ширина на осветителя $w_{осв}$ [mm]                                                               | 615          | 297         |
| Височина (провес) на осветителя $h_{осв}$ [mm]                                                     | 89           | 79          |
| Тип на монтажа върху тавана                                                                        | повърхностен | вграден     |

\* Светещата повърхност на осветителя се приема за равна на габаритната площ на осветителя.

На фиг. 1.4 и 1.5 са показани външния вид на два осветителя, които са подходящи за приложения в помещения в административни и обществени сгради. Условно осветителите са означени като *Осветител-1* и *Осветител-2*, съответно с луминесцентни (ЛЛ) и LED светлинни източници. Техническите характеристики на двата осветителя са показани в табл. 1.4.

Таблица 1.5. Фотометрични данни на разглежданите осветители

| Интензитет на светлината $I$ за условен светлинен поток 1 000 lm [cd/klm] |                                 |                                                             |                                 |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                           |                                 |                                                             |                                 |                                   |
| СРК на <i>Осветител-1</i> , модел ЛЛ-4x18W-5400lm (фиг. 1.4)              |                                 | СРК на <i>Осветител-2</i> , модел LED-28W-4000lm (фиг. 1.5) |                                 |                                   |
| $\gamma$ [°]                                                              | C0°–C180° ( $\varphi=0^\circ$ ) | C90°–C270° ( $\varphi=90^\circ$ )                           | C0°–C180° ( $\varphi=0^\circ$ ) | C90°–C270° ( $\varphi=90^\circ$ ) |
| 0                                                                         | 255,31                          | 255,32                                                      | 513,45                          | 513,45                            |
| 5                                                                         | 269,92                          | 253,91                                                      | 512,26                          | 512,05                            |
| 10                                                                        | 302,91                          | 249,82                                                      | 506,86                          | 506,86                            |
| 15                                                                        | 330,52                          | 241,81                                                      | 496,35                          | 495,92                            |
| 20                                                                        | 365,61                          | 230,51                                                      | 479,02                          | 478,32                            |
| 25                                                                        | 397,02                          | 217,04                                                      | 452,73                          | 451,81                            |
| 30                                                                        | 390,41                          | 201,62                                                      | 416,33                          | 415,63                            |
| 35                                                                        | 325,11                          | 184,82                                                      | 370,27                          | 369,62                            |
| 40                                                                        | 217,02                          | 166,61                                                      | 315,72                          | 315,21                            |
| 45                                                                        | 129,22                          | 145,53                                                      | 239,86                          | 238,36                            |
| 50                                                                        | 61,61                           | 116,53                                                      | 158,66                          | 158,13                            |
| 55                                                                        | 12,31                           | 78,42                                                       | 90,58                           | 90,61                             |
| 60                                                                        | 2,12                            | 39,81                                                       | 51,46                           | 50,98                             |
| 65                                                                        | 1,21                            | 9,32                                                        | 27,63                           | 27,35                             |
| 70                                                                        | 0,42                            | 1,61                                                        | 20,06                           | 19,99                             |
| 75                                                                        | 0,21                            | 0,73                                                        | 13,88                           | 13,82                             |
| 80                                                                        | 0,11                            | 0,31                                                        | 8,56                            | 8,48                              |
| 85                                                                        | 0,01                            | 0,11                                                        | 3,92                            | 3,86                              |
| 90                                                                        | 0,00                            | 0,00                                                        | 0,14                            | 0,00                              |

В табл. 1.5 за *Осветител-1* и *Осветител-2* са представени светлоразпределителните криви и стойностите на интензитета на светлината  $I_\gamma$  за условен светлинен поток  $\Phi = 1\,000$  lm за две взаимно перпендикулярни меридиални С-равнини при вертикални фотометрични ъгли  $\gamma = 0^\circ \div 90^\circ$  през

интервал  $\Delta\gamma = 5^\circ$ . СРК са симетрични за  $C0^\circ$ – $C180^\circ$  ( $\varphi = 0^\circ$ ) и  $C90^\circ$ – $C270^\circ$  ( $\varphi = 90^\circ$ ); за *Осветител-1* СРК е несиметрична за  $C90^\circ$  по отношение на  $C0^\circ$ , тъй като се използва двойнопараболичен алуминиев отражател.

Стойностите на  $I_\gamma$  могат да се използват при изчисляване на показателя обобщена степен на заслепяване  $R_{UG}$  и сравняването му с граничната стойност  $R_{UGL}$ , което се разглежда в точка 1.10.

#### 1.4. Определяне на експлоатационния фактор на помещението

Осветителната уредба трябва да се проектира, като се отчита общия експлоатационен фактор  $f_m$  (maintenance factor), изчислен за избраните осветители, околната среда в помещението и зададения график за поддържане на зрителната задача и дейност. Изискванията за осветеност за всяка зрителна задача (дейност), посочени в БДС EN 12464-1, табл. 1.2 и прил. 1, са дадени като стойности на експлоатационна осветеност  $\bar{E}_m$ . Първоначалната осветеност  $\bar{E}_i$  се изчислява с отношението на експлоатационната осветеност  $\bar{E}_m$  в даден етап на експлоатация на осветителната уредба към експлоатационния фактор  $f_m$ :

$$\bar{E}_i = \frac{\bar{E}_m}{f_m}, \quad (1.2)$$

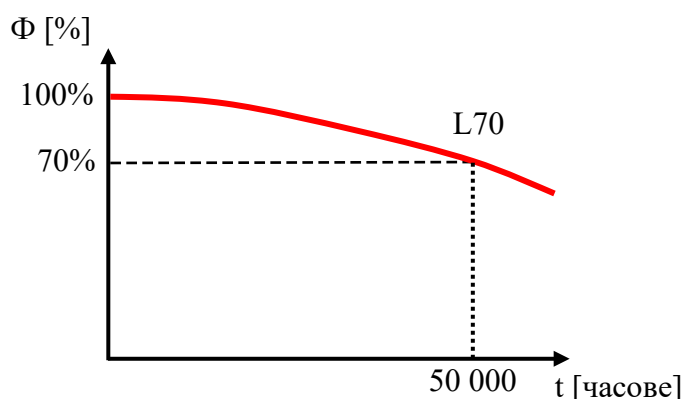
Експлоатационният фактор има голямо влияние върху електроенергийната ефективност, тъй като чрез него се залага степен на преоразмеряване на инсталираната електрическа мощност на осветителите с цел осветеността в даден етап от срока на експлоатация на осветителната уредба да не бъде по-ниска от нормираната осветеност  $\bar{E}_m$ . Експлоатационният фактор се определя в публикацията на ISO/CIE TS 22012 по следната формула:

$$f_m = f_{LF} f_S f_{LM} f_{SM}, \quad (1.3)$$

където:  $f_{LF}$  (luminous flux factor) – коефициент, отчитащ намаляване на светлинния поток на лампите (осветителите) с течение на времето и се обявява от производителя на осветителя;  $f_S$  (survival factor) – коефициент, отчитащ повредените осветители преди изтичане живота на осветителната уредба;  $f_{LM}$  (luminaire maintenance factor) – коефициент на замърсяване на осветителите;  $f_{SM}$  (surface maintenance factor) – коефициент на замърсяване на повърхностите на помещението.

На фиг. 1.6 е показан графичен вид на намаляване на светлинния поток на LED осветител – в края на обявения живот на осветителя светлинният поток е 70% от първоначалния –  $f_{LF} = 0,70$ , което е отбелязано с L70. Срокът на експлоатация на осветители с LED източници означава времето в часове между началото на тяхното използване и момента, когато при 50%

от определения брой светлинни източници светлинният поток постепенно се е понижил до стойност под 70% от първоначалния светлинен поток.



Фиг. 1.6. Намаляване на светлинния поток на LED осветител

За приблизителни изчисления (с достатъчна точност за курсовата работа) на експлоатационния фактор  $f_m$  или когато подробна информация не е налична, може да се използва една от стойностите, посочени в табл. 1.6 за помещения с различна запрашеност при различен интервал на почистване на осветителите.

Таблица 1.6. Стойности на  $f_m$  за помещения с различна запрашеност при различен интервал на почистване на осветителите

| Условия в помещението | Интервал на почистване на осветителите [години] |      |      |      |      |
|-----------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                       | 1                                               | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Много чисто           | 0,96                                            | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,87 |
| Чисто                 | 0,93                                            | 0,89 | 0,85 | 0,82 | 0,77 |
| Нормално              | 0,89                                            | 0,84 | 0,79 | 0,75 | 0,67 |
| Замърсено             | 0,83                                            | 0,78 | 0,73 | 0,69 | 0,62 |

Например за осветителна уредба без поддръжка се препоръчва използване на експлоатационен фактор  $f_m = 0,67$ .

### 1.5. Определяне на интегралните коефициенти на отражение

Отразяващите свойства на материалите се оценяват чрез показателя интегрален коефициент на отражение на светлината  $\rho$  [20]. Когато са известни спектралната интензивност на лъчистия поток  $\varphi(\lambda)$ , относителната спектрална чувствителност на зрителния анализатор при фотопична светлина  $V(\lambda)$  и спектралния коефициент на отражение на материалите  $\rho(\lambda)$ , интегралният коефициент на отражение се определя по следната формула:

$$\rho = \frac{\int_{\lambda=380nm}^{\lambda=760nm} \varphi(\lambda)V(\lambda)\rho(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda=380nm}^{\lambda=760nm} \varphi(\lambda)V(\lambda)d\lambda}. \quad (1.4)$$

Интегралният коефициент на отражение  $\rho$  зависи както от свойствата на материала и цвета на предметите в помещението, така и от спектралния състав на светлинните източници.

Възприеманата яркост на пространството е важна за зрителния комфорт на хората в помещението. В зрителното поле възприеманата яркост е резултат от взаимодействието между осветеност и отражателни свойства на предмети и повърхности на помещението. При проектиране на електрическото осветление в помещението трябва да се отчита влиянието на коефициентите на отражение на обектите върху заслепяващото въздействие от лампите в осветителите – колкото по-ниски са коефициентите на отражение, толкова по-висока е степента на заслепяване и обратно.

Препоръчителните обхвати на използване на интегралните коефициенти на дифузно отражение за основните вътрешни повърхности са следните: таван:  $\rho_T = 0,70 \div 0,90$ ; стени:  $\rho_{ст} = 0,50 \div 0,80$ ; под:  $\rho_{п} = 0,20 \div 0,40$ ; работна повърхност:  $\rho_{рп} = 0,20 \div 0,70$ .

## 1.6. Определяне на индекса на помещението и коефициентите на използване на светлинния поток

### 1.6.1. Определяне на индекса на помещението

Индексът на помещението  $i$  числено се определя от геометричната конфигурация и изчислителната височина по следната формула:

$$i = \frac{xy}{h(x+y)} = \frac{A}{h(x+y)}, \quad (1.5)$$

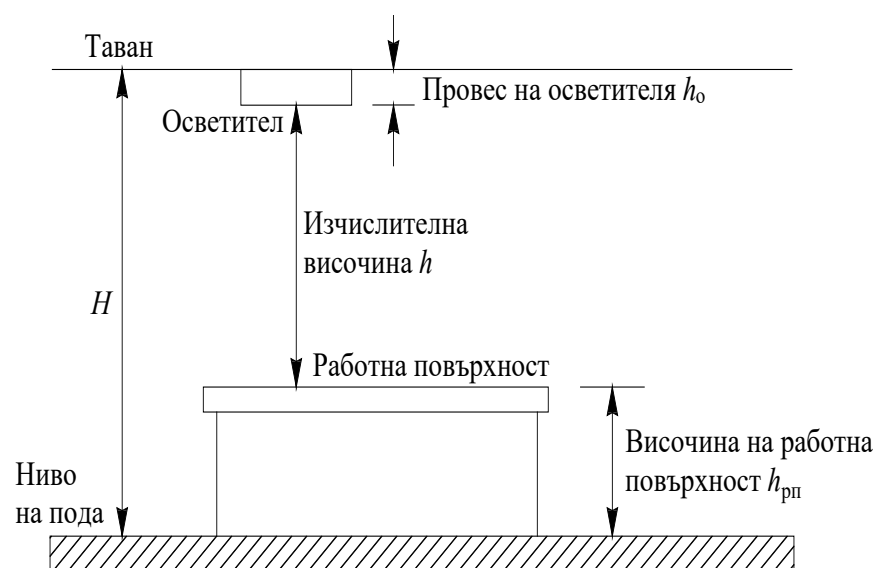
където:  $x$  – дължина на помещението [m];  $y$  – широчина на помещението [m];  $A$  – площ на помещението [m<sup>2</sup>];  $h$  – изчислителна височина [m]. За квадратни помещения ( $x = y$ ) уравнение (1.5) придобива вида [10,25]:

$$i = \frac{x}{2h}. \quad (1.6)$$

Изчислителната височина  $h$  е разстоянието между светещата повърхност на осветителя и работната повърхност – фиг. 1.7. Изчислителната височина се определя от разликата между височината от пода до тавана  $H$ , височината на работната повърхност  $h_{рп}$  и разстоянието (провес) между светещата повърхност на осветителя и тавана  $h_o$ :

$$h = H - h_{\text{rp}} - h_0. \quad (1.7)$$

Разстоянието между осветителите и тавана се определя от конструктивните особености на тавана, изискванията за експлоатация, нормираните качествени показатели и др. При таван от тип растерен окачен, осветителите се вграждат в него (*Осветител-2* – фиг. 1.5) и  $h_0 = 0$  m. В помещения с продължителен престой на хора в легнало положение, например в болнични стаи и стаи за отдых, най-често се проектират осветители с голям провес  $h_0$ , тъй като имат светлоразпределение в горната оптична ос:  $\gamma = 90^\circ \div 180^\circ$ , и се реализира отразена (индиректна) светлина, в резултат на което се ограничава заслепяването.



Фиг. 1.7. Геометрична постановка на изчислителната височина

В помещения, където зрителната дейност обичайно се извършва в седнало положение на наблюдателя, височината на работната повърхност е  $h_{\text{rp}} = (0,75 \div 0,8)$  m. В помещения, като коридори, стълбища (ескалатори), фойета, санитарни възли, физкултурни салони и пр., работната повърхност е нивото на пода, т.е.  $h_{\text{rp}} = 0$  m.

**Пример 1.1.** Офисно помещение има дължина  $x = 4$  m, ширина  $y = 5$  m, височина от пода до тавана  $H = 3$  m, височина на работната повърхност  $h_{\text{rp}} = 0,75$  m и растерен таван, в който осветителите са вградени, т.е.  $h_0 = 0$  m. Да се определи индексът на помещението  $i$ .

*Решение.* От формула (1.1) първоначално се определя площта на помещението:  $A = xy = 4 \cdot 5 = 20$  m<sup>2</sup>. Изчислителната височина  $h$ , съгласно формула (1.6), е:  $h = H - h_{\text{rp}} - h_0 = 3 - 0,75 - 0 = 2,25$  m. Индексът на помещението се изчислява по формула (1.5) и се приема най-близката стойност по скалата на  $i$  от табл. 1.7 и 1.8:



$$i = \frac{xy}{h(x+y)} = \frac{A}{h(x+y)} = \frac{4.5}{2,25(4+5)} = \frac{20}{20,25} = 0,99 \Rightarrow i = 1,00.$$

### 1.6.2. Определяне на коефициента на използване на светлинния поток на осветителната уредба

Коефициентът на използване на светлинния поток  $UF$  (utilization factor) на една осветителна уредба се определя чрез отношението на светлинният поток, попадащ върху работната повърхност  $\Phi_{\text{рп}}$ , към сумата от светлинните потоци на отделните светлинни източници (лампи)  $\Phi_{\text{л},i}$  в уредбата:

$$UF = \frac{\Phi_{\text{рп}}}{\sum_{i=1}^n \Phi_{\text{л},i}} = \frac{\Phi_{\text{рп,дир}} + \Phi_{\text{рп,отр}}}{\sum_{i=1}^n \Phi_{\text{л},i}}, \quad (1.8)$$

където:  $\Phi_{\text{рп,дир}}$  – светлинен поток [lm], излъчен от лампите на осветителите и директно попадащ върху работната повърхност;  $\Phi_{\text{рп,отр}}$  – светлинен поток [lm], попадащ върху работната повърхност след многократно отражение от таван, стени и под [7,25].

Таблица 1.7. Коефициенти на използване на светлинния поток на таван  $UF_{\text{т}}$ , стени  $UF_{\text{ст}}$  и работна повърхност  $UF_{\text{рп}}$  за Осветител-1 (фиг. 1.4)

|      |                    |      |      |      |      |
|------|--------------------|------|------|------|------|
| $i$  | $\rho_{\text{т}}$  | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,50 |
|      | $\rho_{\text{ст}}$ | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 0,50 |
|      | $\rho_{\text{рп}}$ | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,30 |
| 0,50 | $UF_{\text{т}}$    | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,07 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,55 | 0,46 | 0,44 | 0,53 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,32 | 0,31 | 0,29 | 0,32 |
| 0,60 | $UF_{\text{т}}$    | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,08 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,46 | 0,35 | 0,37 | 0,44 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,38 | 0,37 | 0,35 | 0,38 |
| 0,70 | $UF_{\text{т}}$    | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,09 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,41 | 0,30 | 0,33 | 0,39 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,42 | 0,39 | 0,38 | 0,41 |
| 0,80 | $UF_{\text{т}}$    | 0,09 | 0,05 | 0,07 | 0,09 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,37 | 0,27 | 0,31 | 0,35 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,44 | 0,41 | 0,41 | 0,43 |
| 0,90 | $UF_{\text{т}}$    | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,10 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,34 | 0,24 | 0,29 | 0,32 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,46 | 0,43 | 0,43 | 0,45 |
| 1,00 | $UF_{\text{т}}$    | 0,11 | 0,05 | 0,08 | 0,10 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,32 | 0,22 | 0,27 | 0,30 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,47 | 0,44 | 0,44 | 0,46 |

|      |                    |      |      |      |      |
|------|--------------------|------|------|------|------|
| $i$  | $\rho_{\text{т}}$  | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,50 |
|      | $\rho_{\text{ст}}$ | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 0,50 |
|      | $\rho_{\text{рп}}$ | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,30 |
| 1,25 | $UF_{\text{т}}$    | 0,12 | 0,05 | 0,09 | 0,11 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,27 | 0,17 | 0,23 | 0,25 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,50 | 0,47 | 0,47 | 0,49 |
| 1,50 | $UF_{\text{т}}$    | 0,12 | 0,05 | 0,10 | 0,12 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,23 | 0,14 | 0,20 | 0,21 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,53 | 0,48 | 0,50 | 0,51 |
| 2,00 | $UF_{\text{т}}$    | 0,14 | 0,05 | 0,12 | 0,12 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,19 | 0,11 | 0,17 | 0,17 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,55 | 0,50 | 0,53 | 0,53 |
| 2,50 | $UF_{\text{т}}$    | 0,15 | 0,05 | 0,13 | 0,14 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,15 | 0,09 | 0,14 | 0,14 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,57 | 0,51 | 0,55 | 0,55 |
| 3,00 | $UF_{\text{т}}$    | 0,15 | 0,05 | 0,14 | 0,15 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,13 | 0,07 | 0,12 | 0,12 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,58 | 0,52 | 0,56 | 0,56 |
| 4,00 | $UF_{\text{т}}$    | 0,16 | 0,05 | 0,15 | 0,15 |
|      | $UF_{\text{ст}}$   | 0,10 | 0,05 | 0,10 | 0,09 |
|      | $UF_{\text{рп}}$   | 0,60 | 0,53 | 0,58 | 0,57 |

Таблица 1.8. Коефициенти на използване на светлинния поток на таван  $UF_T$ , стени  $UF_{CT}$  и работна повърхност  $UF_{RP}$  за Осветител-2 (фиг. 1.5)

|      |             |      |      |      |      |
|------|-------------|------|------|------|------|
| $i$  | $\rho_T$    | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,50 |
|      | $\rho_{CT}$ | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 0,50 |
|      | $\rho_{RP}$ | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,30 |
| 0,50 | $UF_T$      | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,08 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,61 | 0,53 | 0,49 | 0,59 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,29 | 0,28 | 0,26 | 0,29 |
| 0,60 | $UF_T$      | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,08 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,53 | 0,44 | 0,43 | 0,51 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,35 | 0,33 | 0,31 | 0,34 |
| 0,70 | $UF_T$      | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,09 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,48 | 0,39 | 0,39 | 0,46 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,38 | 0,36 | 0,34 | 0,37 |
| 0,80 | $UF_T$      | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,10 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,47 | 0,35 | 0,37 | 0,42 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,41 | 0,38 | 0,37 | 0,39 |
| 0,90 | $UF_T$      | 0,11 | 0,06 | 0,07 | 0,10 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,41 | 0,31 | 0,34 | 0,39 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,43 | 0,40 | 0,39 | 0,41 |
| 1,00 | $UF_T$      | 0,11 | 0,06 | 0,08 | 0,11 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,38 | 0,29 | 0,32 | 0,36 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,44 | 0,42 | 0,41 | 0,43 |

|      |             |      |      |      |      |
|------|-------------|------|------|------|------|
| $i$  | $\rho_T$    | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,50 |
|      | $\rho_{CT}$ | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 0,50 |
|      | $\rho_{RP}$ | 0,30 | 0,10 | 0,30 | 0,30 |
| 1,25 | $UF_T$      | 0,12 | 0,06 | 0,09 | 0,12 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,32 | 0,23 | 0,28 | 0,30 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,48 | 0,44 | 0,44 | 0,46 |
| 1,50 | $UF_T$      | 0,13 | 0,06 | 0,10 | 0,12 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,28 | 0,20 | 0,25 | 0,26 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,51 | 0,47 | 0,47 | 0,49 |
| 2,00 | $UF_T$      | 0,14 | 0,06 | 0,12 | 0,14 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,22 | 0,15 | 0,10 | 0,21 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,54 | 0,49 | 0,51 | 0,52 |
| 2,50 | $UF_T$      | 0,15 | 0,06 | 0,13 | 0,14 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,19 | 0,12 | 0,17 | 0,17 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,57 | 0,51 | 0,54 | 0,54 |
| 3,00 | $UF_T$      | 0,16 | 0,06 | 0,14 | 0,15 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,16 | 0,10 | 0,15 | 0,15 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,58 | 0,52 | 0,56 | 0,55 |
| 4,00 | $UF_T$      | 0,17 | 0,06 | 0,15 | 0,16 |
|      | $UF_{CT}$   | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,11 |
|      | $UF_{RP}$   | 0,60 | 0,53 | 0,58 | 0,57 |

Коефициентът на използване на светлинния поток оценява ефективността на използване на светлинния поток на светлинните източници в дадена повърхност и зависи от индекса на помещението  $i$ , вида на светлоразпределителната крива на осветителите ( $I_{C,y}$ ), отношението от разстоянието между осветителите  $l_{x,y}$  към изчислителната височина ( $l_{x,y}/h$ ) и коефициентите на отражение на тавана  $\rho_T$ , стените  $\rho_{CT}$ , пода  $\rho_P$  и работната повърхност  $\rho_{RP}$  [10,25]. Коефициентът на използване на светлинния поток  $UF$  може да се определи таблично, ако са известни типа и светлоразпределението на осветителя в помещението: за *Осветител-1* от фиг. 1.4 – табл. 1.7; за *Осветител-2* от фиг. 1.5 – табл. 1.8 [10].

**Пример 1.2.** Правоъгълно помещение, тип офис, има характеристики: дължина  $x = 4$  m, ширина  $y = 5$  m, височина  $H = 3$  m, изчислителна височина  $h = 2,25$  m, изчислен индекс на помещението  $i = 0,99 \approx 1,00$  и коефициенти на отражение на таван  $\rho_T = 0,70$ , стени  $\rho_{CT} = 0,50$  и работна повърхност  $\rho_{RP} = 0,30$ . Избира се осветител в помещението от типа *Осветител-1* (фиг. 1.4).

Да се определят таблично коефициентите на използване на светлинния поток относно таван, стени и работна повърхност.

*Решение.* Съгласно табл. 1.7 и определените коефициенти на отражение  $\rho$  и индекс на помещението  $i$ , за коефициентите на използване на светлинния поток се получава:  $UF_T = 0,11$ ,  $UF_{ст} = 0,32$  и  $UF_{рп} = 0,47$ .

### 1.7. Определяне на необходимия светлинен поток и необходимия брой осветители в помещението

Когато осветителят е със сменяеми лампи, например луминесцентни и металхалогенни, и светлинният поток на лампите  $\Phi_L$  е известен, то светлинният поток на осветителя  $\Phi_{осв}$  се определя с израза:

$$\Phi_{осв} = n\Phi_L, \quad (1.9)$$

където  $n$  – брой на лампите в осветителя.

Светлинният поток на една луминесцентна лампа зависи от нейните мощност, светлоотдаване, диаметър на тръбата ( $\varnothing 26$  mm – тип T8, или  $\varnothing 16$  mm – тип T5) и корелирана цветна температура – табл. 1.9 [7,11]. За помещения в обществени сгради с експлоатационни осветености между 300 lx и 500 lx е препоръчително да се използват светлинни източници с неутрално бяла светлина с  $T_c = (4\,000 \div 5\,500)$  K. Светлоотдаването на обикновените луминесцентни лампи, тип T8, е  $(60 \div 70)$  lm/W; за триивичните лампи, тип T5, той е по-висок – достига до 90 lm/W.

Таблица 1.9. Светлотехнически характеристики на луминесцентна лампа

| Луминесцентна лампа с диаметър $\varnothing 26$ mm (T8) и мощност 36 W | Корелирана цветна температура $T_c$ [K] | Светлинен поток на лампата $\Phi_L$ [lm] |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                                        | 3 000 (топлобяла светлина)              | 2 800                                    |
|                                                                        | 4 000 (неутрално бяла светлина)         | 2 800                                    |
|                                                                        | 4 200 (неутрално бяла светлина)         | 2 700                                    |
|                                                                        | 6 500 (студенобяла светлина)            | 2 300                                    |

Производителите на LED осветители обявяват изходящия светлинен поток на осветителя  $\Phi_{осв}$ . Светодиодните източниците в този тип осветители са херметизирани и технологично несменяеми, и липсва информация за светлинния поток на единичен LED източник.

Необходимият за постигане на нормираната осветеност  $\bar{E}_m$  светлинен поток се определя по метода на коефициента на използване на светлинния поток на осветителната уредба. Необходимият светлинен поток  $\Phi$  [lm] в помещението с отчитане на експлоатационния фактор  $f_m$  и коефициента на използване на осветителната уредба за работната повърхност  $UF_{рп}$  се изчислява с израза:

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m A}{f_m UF_{рп}}, \quad (1.10)$$

където  $A$  – площ на помещението [10].

Необходимият брой осветители  $N$  за постигане на нормираната осветеност в помещението се определя с отношението на необходимия светлинен поток към светлинния поток на един осветител:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{осв}}} = \frac{\bar{E}_m A}{n \Phi_{\text{л}} f_m UF_{\text{рп}}}. \quad (1.11)$$

**Пример 1.3.** Учителска стая има следните характеристики: дължина  $x = 4$  m, ширина  $y = 5$  m, височина  $H = 3$  m, изчислителна височина  $h = 2,25$  m, експлоатационен фактор  $f_m = 0,67$ , коефициент на използване на светлинния поток на работната повърхност  $UF_{\text{рп}} = 0,47$  и нормирана осветеност  $\bar{E}_m = 300$  lx. В помещението се използва осветител с луминесцентни лампи (*Осветител-1*, фиг. 1.4 и табл. 1.5) със светлинен поток на осветителя  $\Phi_{\text{осв}} = 5\,400$  lm.

Да се определят необходимия светлинен поток  $\Phi$  и необходимия брой осветители  $N$  в помещението.

*Решение.* Първоначално се определя необходимия светлинен поток, съгласно израз (1.10):

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m A}{f_m UF_{\text{рп}}} = \frac{300 \cdot 4 \cdot 5}{0,67 \cdot 0,47} = 19\,053,67 \text{ lm}.$$

Необходимият брой LED осветители в учителската стая, при който се изпълнява нормираната осветеност ( $\bar{E}_m = 300$  lx), се определя с израз (1.11):

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{осв}}} = \frac{19053,67}{5400} = 3,53 \Rightarrow \text{приема се цяло по-голямо число: } N = 4.$$

### 1.8. Определяне на средната осветеност и яркост на работна повърхност, стени и таван в помещението

След определяне на необходимия брой осветители  $N$ , експлоатационния фактор  $f_m$  и коефициентите на използване на светлинния поток  $UF_{\text{рп}}$ ,  $UF_{\text{т}}$  и  $UF_{\text{ст}}$  се извършва изчисляване на средната реализирана осветеност на работна повърхност, стени и таван в помещението [10,22,25].

Средната реализирана осветеност на работната повърхност  $E_{\text{ср,рп}}$  [lx] се определя със следния израз:

$$E_{\text{ср,рп}} = \frac{N \Phi_{\text{осв}} f_m UF_{\text{рп}}}{A}, \text{ като } E_{\text{ср,рп}} \geq \bar{E}_m. \quad (1.12)$$

Средната реализирана осветеност на стените  $E_{\text{cp,ct}}$  [lx] се определя с отчитане на изчислителната височина  $h$  в помещението:

$$E_{\text{cp,ct}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}} f_m UF_{\text{ct}}}{2h(x+y)}, \text{ като } E_{\text{cp,ct}} \geq \bar{E}_{\text{m,wall}}. \quad (1.13)$$

Средната реализирана осветеност на тавана  $E_{\text{cp,t}}$  [lx] в помещението се определя с израза:

$$E_{\text{cp,t}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}} f_m UF_{\text{t}}}{A}, \text{ като } E_{\text{cp,t}} \geq \bar{E}_{\text{m,ceiling}}. \quad (1.14)$$

При определени коефициенти на отражение в помещението  $\rho_{\text{rp}}$ ,  $\rho_{\text{ct}}$  и  $\rho_{\text{t}}$  и изчислени средни осветености  $E_{\text{cp,rp}}$ ,  $E_{\text{cp,ct}}$  и  $E_{\text{cp,t}}$ , за яркостите на работната повърхност  $L_{\text{rp}}$ , стените  $L_{\text{ct}}$  и тавана  $L_{\text{t}}$  в [cd/m<sup>2</sup>] се получава:

$$L_{\text{rp}} = \frac{\rho_{\text{rp}} E_{\text{cp,rp}}}{\pi}, \quad L_{\text{ct}} = \frac{\rho_{\text{ct}} E_{\text{cp,ct}}}{\pi} \text{ и } L_{\text{t}} = \frac{\rho_{\text{t}} E_{\text{cp,t}}}{\pi}. \quad (1.15)$$

**Пример 1.4.** Учителска стая има следните характеристики: дължина  $x = 4$  m, ширина  $y = 5$  m, височина на работната повърхност  $h_{\text{rp}} = 0,75$  m, изчислителна височина  $h = 2,25$  m, експлоатационен фактор  $f_m = 0,67$ , коефициенти на отражение  $\rho_{\text{rp}} = 0,30$ ,  $\rho_{\text{ct}} = 0,50$  и  $\rho_{\text{t}} = 0,70$ , коефициенти на използване на светлинния поток  $UF_{\text{rp}} = 0,47$ ,  $UF_{\text{ct}} = 0,32$  и  $UF_{\text{t}} = 0,11$ . Броят на осветителите е  $N = 4$ , светлинният поток на един осветител (*Осветител-1*, табл. 1.5) е  $\Phi_{\text{осв}} = 5\,400$  lm.

Забележка. Площта на работната повърхност се приема за равна на площта на помещението, тъй като местоположението и размера на работните зони не са предварително зададени.

Да се определят средните осветености  $E_{\text{cp,rp}}$ ,  $E_{\text{cp,ct}}$ ,  $E_{\text{cp,t}}$  и яркости  $L_{\text{rp}}$ ,  $L_{\text{ct}}$ ,  $L_{\text{t}}$  на работната повърхност, стените и тавана в помещението.

*Решение.* Нормираните осветености за учителска стая, съгласно БДС EN 12464-1:2021, прил. 1 и табл. 1.2, са: за работна повърхност  $\bar{E}_{\text{m}} = 300$  lx; за стени  $\bar{E}_{\text{m,wall}} = 100$  lx и таван  $\bar{E}_{\text{m,ceiling}} = 50$  lx.

Средните осветености на работната повърхност  $E_{\text{cp,rp}}$ , стените  $E_{\text{cp,ct}}$  и тавана  $E_{\text{cp,t}}$  се изчисляват с изразите (1.12 ÷ 1.14) и след заместване се получава:

$$E_{\text{cp,rp}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}} f_m UF_{\text{rp}}}{A} = \frac{4 \cdot 5400 \cdot 0,67 \cdot 0,47}{20} = 340,09 \text{ lx} > \bar{E}_{\text{m}} = 300 \text{ lx};$$

$$E_{\text{cp,ct}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}} f_m UF_{\text{ct}}}{2h(x+y)} = \frac{4.5400.0,67.0,32}{2.2,25(4+5)} = 114,35 \text{ lx} > \bar{E}_{\text{m,wall}} = 100 \text{ lx};$$

$$E_{\text{cp,t}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}} f_m UF_{\text{t}}}{A} = \frac{4.5400.0,67.0,11}{20} = 79,60 \text{ lx} > \bar{E}_{\text{m,ceiling}} = 50 \text{ lx}.$$

Яркостите на работната повърхност  $L_{\text{rp}}$ , стените  $L_{\text{ct}}$  и тавана  $L_{\text{t}}$  се изчисляват с израз (1.15) и след заместване се получава:

$$L_{\text{rp}} = \frac{\rho_{\text{rp}} E_{\text{cp,rp}}}{\pi} = \frac{0,3.340,09}{3,14} = 32,49 \text{ cd/m}^2;$$

$$L_{\text{ct}} = \frac{\rho_{\text{ct}} E_{\text{cp,ct}}}{\pi} = \frac{0,5.114,35}{3,14} = 18,21 \text{ cd/m}^2; \quad L_{\text{t}} = \frac{\rho_{\text{t}} E_{\text{cp,t}}}{\pi} = \frac{0,7.79,6}{3,14} = 17,75 \text{ cd/m}^2.$$

### 1.9. Определяне на разположението на осветителите в помещението

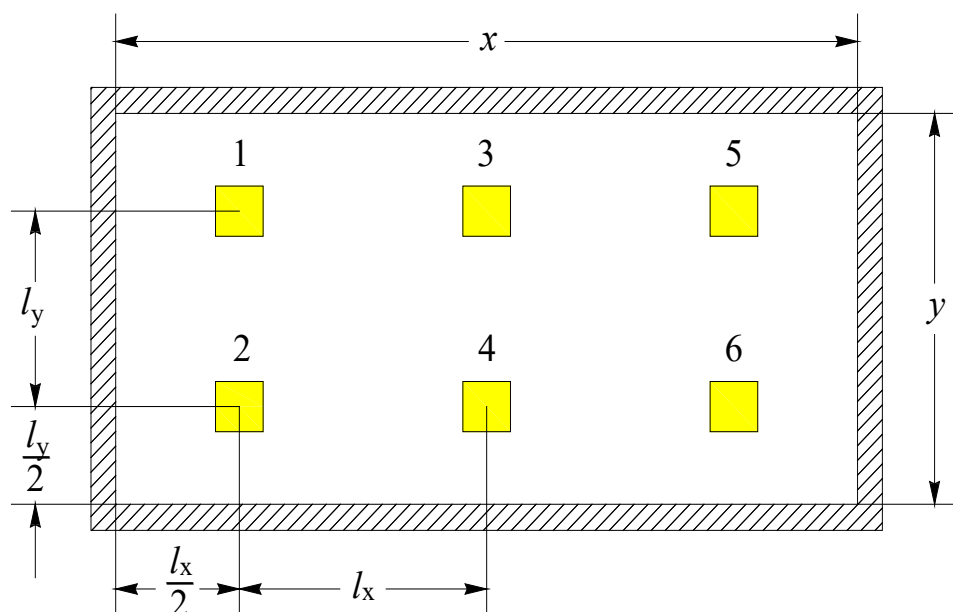
Разположението на осветителите в помещението зависи от редица фактори: от геометричната конфигурация на помещението и разположението на работното пространство; от системата на осветление – общо равномерно или комбинирано; от нормираните осветености  $\bar{E}_{\text{m}}$ ,  $\bar{E}_{\text{m,wall}}$  и  $\bar{E}_{\text{m,ceiling}}$ , обща равномерност на осветеността  $U_0$  и заслепяване  $R_{\text{UGL}}$ ; от светлоразпределителната крива, светлинния поток  $\Phi_{\text{осв}}$  и размера на осветителите [7,10,15]. Най-чувствителен от начина на разположение на осветителите в помещението е показателят обща равномерност  $U_0$ .

Осветителите се разполагат чрез окачване или вграждане към тавана или в равнина, успоредна на тавана на помещението [15]. Когато се реализира общо равномерно осветление, осветителите се разполагат в редици на еднакви разстояния едно от друго, а разстоянието между редиците е еднакво – фиг. 1.8. Разстоянието между крайните осветители и стените по осите  $x$  и  $y$  е два пъти по-малко от разстоянието  $l_x$  и  $l_y$  между всеки два съседни осветители.

Най-висока равномерност на осветеността  $U_0$  в помещението се получава, когато осветителите се разполагат във върховете на квадрат ( $l_x = l_y$ ) или във върховете на ромб ( $l_x = \sqrt{3}l_y$ ) при отношение на разстоянието между осветителите  $l_x$  към изчислителната височина  $h$ :  $\frac{l_x}{h} = 1,5$  [7]. Когато

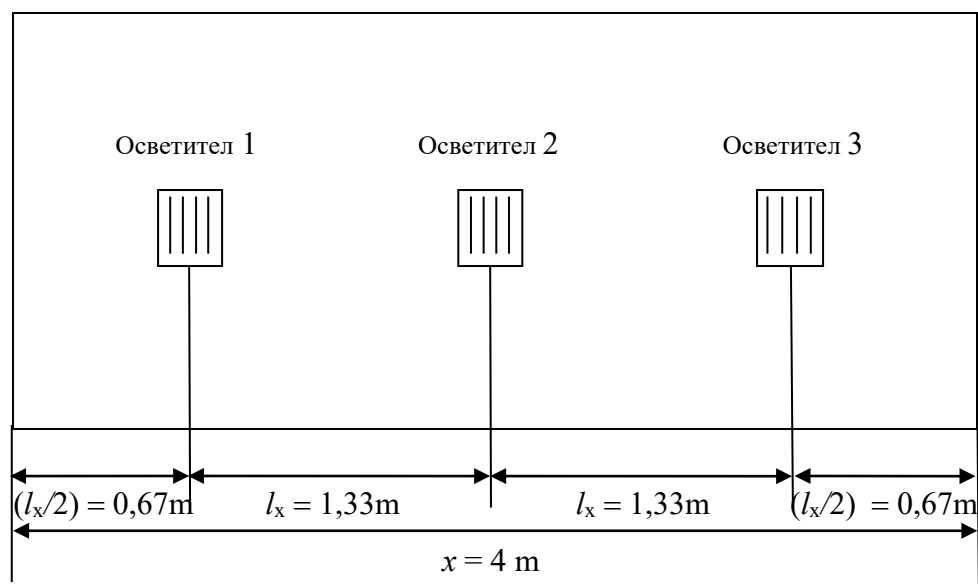
осветителите се разполагат във върховете на правоъгълник се препоръчва

$\frac{l_x}{l_y} \leq 1,5$  – фиг. 1.7 [10].



Фиг. 1.8. Определяне на разположението на осветителите

На фиг. 1.9 е показано разположение на три осветителя в една редица в правоъгълно помещение с дължина на дългата страна  $x = 4$  m.



Фиг. 1.9. Разположение на осветителите в помещение



### 1.10. Определяне на показателя обобщена степен на заслепяване в помещението

Заслепяване може да се причини както от естествени, така и от изкуствени източници на светлина. Заслепяване от електрическо осветление се получава, когато големи яркости от светещи повърхности на осветителите попаднат в зрителното поле на наблюдателя. Заслепяване може да се причини и от отраженията на огледални повърхности, наречени воалиращи отражения или отразен блясък. Заслепяването има неблагоприятен ефект върху наблюдателя и може да намали видимостта на обектите. То може да се прояви като дискомфортно (психологическо), т.е. яркостен дискомфорт, или като физиологично заслепяване.

В настоящото ръководство се разглежда заслепяването, причинено от електрическото осветление на закрито.

Изборът на подходящи осветители за осветителната инсталация в дадено пространство на закрито се определя от дискомфортното заслепяване, което причиняват осветителите, като се използва табличен метод на Международната комисия по осветление (CIE) Unified Glare Rating (UGR) [1]. Табличният метод се основава на прилагане на формула (1.16) при зададени стандартни условия (позиция на наблюдателя, размери на помещението и коефициенти на отражение):

$$R_{UG} = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L_{осв}^2 \varpi}{p^2} \right), \quad (1.16)$$

където:  $R_{UG}$  – обобщена степен на заслепяване (UGR);  $L_B$  – яркост на фона (адаптационна яркост) в  $[cd/m^2]$ , изчислена като  $\frac{E_{ind}}{\pi}$ , където  $E_{ind}$  е верти-

калната индиректна осветеност прямо окото на наблюдателя;  $L_{осв}$  – яркост на светещите площи на всеки осветител в посока на окото на наблюдателя в  $[cd/m^2]$  (габаритна яркост);  $\varpi$  – пространствен ъгъл в  $[sr - \text{стерадиани}]$ , под който светещите площи на всеки осветител се виждат от окото на наблюдателя;  $p$  – позиционен индекс на Guth за всеки индивидуален осветител, свързано с неговото разположение по отношение на линията на зрителната ос (погледа) на наблюдателя.

Когато характерът на зрителната задача в помещението изисква погледът на наблюдателя да бъде насочен предимно към работната повърхност, може да се приеме, че  $L_B = L_{rp}$ .

Стойността на  $R_{UG}$  на осветителната уредба не трябва да превишава стойността  $R_{UGL}$ , дадена в точка 7.2 на БДС EN 12464-1:2021, както и в прил. 1 и в табл. 1.2. Препоръчителните ограничителни стойности на  $R_{UGL}$  образуват скала, чиито степени характеризират значителни промени в зас-

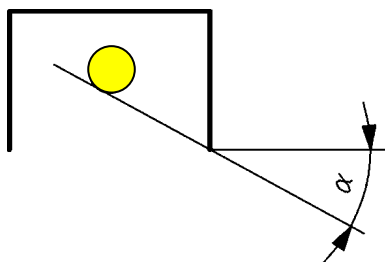
лепяването. Скалата на  $R_{UGL}$  е 16, 19, 22, 25, 28, където ниска стойност означава „малка вероятност от дискомфортно заслепяване“, а висока стойност означава „голяма вероятност за дискомфортно заслепяване“ [1].

Ограничаване на заслепяването може да се постигне чрез подходящо екраниране на лампите в осветителите. Въвежда се т.нар. минимален защитен ъгъл  $\alpha$ . За конвенционални осветители, например осветители с луминесцентни лампи и оптична система с насочено (огледално) отражение, при които източникът на светлина се вижда директно, минималните защитни ъгли в зрителното поле се прилагат за определени стойности на яркостта на светлинния източник, посочени в табл. 1.10 и илюстрирано на фиг. 1.10 [1].

За осветители, например LED осветители, при които директният изглед към светлинните източници се екранира посредством оптична система с дифузно разсейване на светлината, се прилага максимална средна яркост на осветителя за стойности на вертикалния фотометричен ъгъл  $\gamma$ , посочени в табл. 1.11 и илюстрирано за LED осветител на фиг. 1.11 [1].

Таблица 1.10. Минимални защитни ъгли за определени яркости на лампите в осветителя

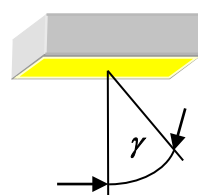
| Яркост на лампата, [kcd/m <sup>2</sup> ] | Минимален защитен ъгъл $\alpha$ |
|------------------------------------------|---------------------------------|
| 20 до < 50                               | 15°                             |
| 50 до < 500                              | 20°                             |
| $\geq 500$                               | 30°                             |



Фиг. 1.10. Напречно сечение на конвенционален осветител с отделна лампа и минимален защитен ъгъл

Таблица 1.11. Максимална средна яркост на светещ оптичен елемент при определени вертикални ъгли

| Вертикален фотометричен ъгъл $\gamma$ | Максимална средна яркост на светещ оптичен елемент, [kcd/m <sup>2</sup> ] |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| $75^\circ \leq \gamma < 90^\circ$     | $\leq 20$                                                                 |
| $70^\circ \leq \gamma < 75^\circ$     | $\leq 50$                                                                 |
| $60^\circ \leq \gamma < 70^\circ$     | $\leq 500$                                                                |

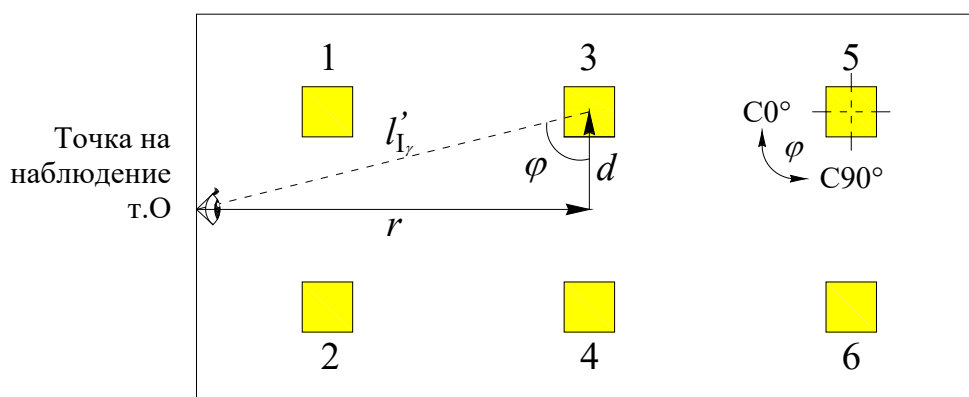


Фиг. 1.11. Напречно сечение на светеща част от LED осветителя и вертикален фотометричен ъгъл

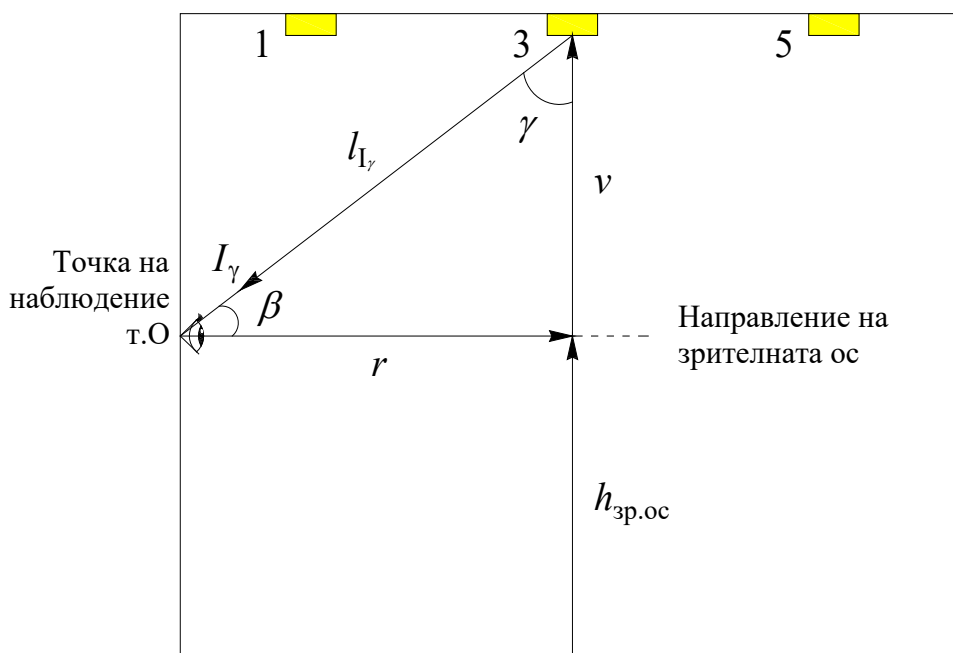
Табличният метод за определяне на степента на заслепяване може да се приложи, когато са налице следните условия: помещението е с правоъгълна форма и симетрично на тавана са разположени еднотипни осветители с еднакво светлоразпределение, еднаква ориентация по фотометрична система  $C-\gamma$  и с еднакъв провес  $h_0$ . Формула (1.16) е приложима, когато позицията на наблюдателя и посоката му на наблюдение по отношение на координатите на осветителите в помещението са известни. Стойностите на

$R_{UG}$ , изчислени по формулата, се използват за определяне на оптимална позиция на наблюдателя в помещението по отношение на заслепяването (позицията с  $R_{UG} = \min$ ) [1].

Геометричните параметри, които определят взаимното местоположение на наблюдателя и всеки един от осветителите, са показани за помещение с изглед отгоре – фиг. 1.12, и изглед от страни – фиг. 1.13. Представеното помещение на двете фигури е с правоъгълна форма, като дългата страна е два пъти по-голяма от късата страна. Използва се общо равномерно осветление с 6 осветителя, които са разпределени в 2 редици по начин на разположение, указан в точка 1.9. В точката на наблюдение – т.О на фиг. 1.12 и 1.13, се намира зрителният анализатор (очите) на наблюдател, разположен в средата на късата страна на помещението, където може да се очаква най-висока стойност на обобщената степен на заслепяване  $R_{UG}$ . Означенията в двете фигури имат следния смисъл:  $r$  – разстояние между точката на наблюдение – т.О, и вертикалната равнина, успоредна на късата страна на помещението и минаваща през оптичния център на осветителя, в [m];  $d$  – разстояние между хоризонталната права  $r$ , минаваща през точката на наблюдение – т.О, успоредно на дългата страна на помещението, и вертикалната ос на симетрия на осветителя, в [m];  $v$  – разстояние между повърхността на осветителя и хоризонталната равнина, върху която лежи т.О, в [m];  $l_{I\gamma}$  – разстояние, което интензитетът на светлината  $I_{\gamma,\phi}$  изминава от центъра на светещата площ на осветителя до точката на наблюдение – т.О, в [m];  $l'_{I\gamma}$  – проекцията на разстояние  $l_{I\gamma}$ , в [m];  $h_{зр.ос}$  – височина на зрителната ос от пода, в [m];  $\gamma$  – вертикален фотометричен ъгъл между вертикалната оптичната ос на осветителя и разстоянието  $l_{I\gamma}$ , в  $[\circ]$ ;  $\phi$  – хоризонтален ъгъл между двете взаимно перпендикулярни С-равнини на СРК –  $C0^\circ$  и  $C90^\circ$  – при асиметрично светлоразпределение, в  $[\circ]$ ;  $\beta$  – ъгъл между линията на зрителната ос  $r$  и разстоянието  $l_{I\gamma}$  от осветителя до наблюдателя в т.О.



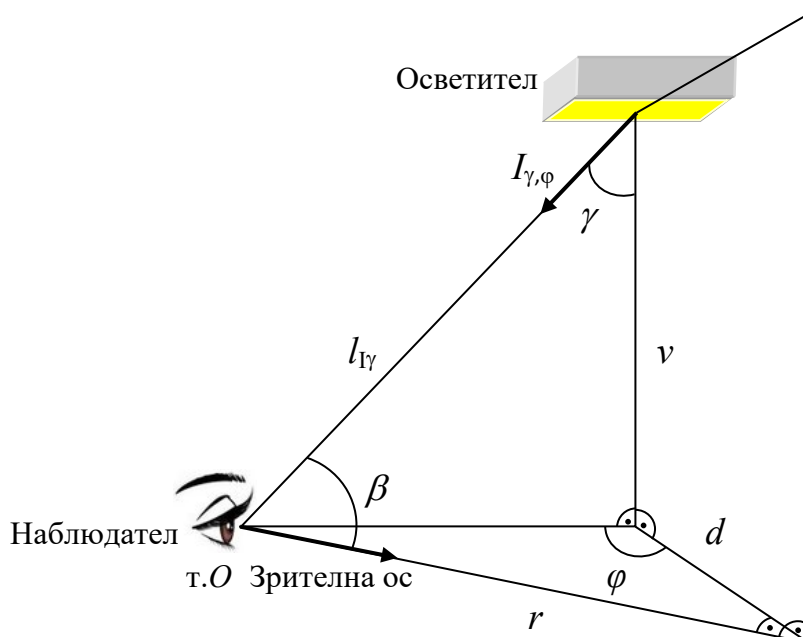
Фиг. 1.12. Взаимно местоположение на наблюдател и осветител – изглед отгоре



Фиг. 1.13. Взаимно местоположение на наблюдател и осветител – изглед от страни

Височината на зрительната ос може да приема две стойности в зависимост от положението на наблюдателя: за седнал наблюдател  $h_{зр.ос} = 1,2 \text{ m}$  (например в помещения, където се извършва работна дейност в седнало или наведено положение); за прав наблюдател  $h_{зр.ос} = 1,6 \text{ m}$  (например коридори, санитарни помещения, чакални, физкултурни салони и пр.).

При изчисляване на геометричните показатели, определящи взаимното местоположение на зрительния анализатор и осветителя, може да се използва и графичната интерпретация на фиг. 1.14.



Фиг. 1.14. Към изчисляване на геометричните показатели

Когато осветителите са разположени в една редица над зрителната ос и успоредна на дългата страна на помещението, то  $d = 0$  m, а в зависимост от ориентацията на осветителите спрямо оптичната им ос,  $\varphi = 0^\circ$  или  $\varphi = 90^\circ$ . При изчисленията осветителите в помещението могат да се приемат за точковидни, когато  $l_{ly} > 2d_{\text{осв,мак}}$  ( $d_{\text{осв,мак}}$  – най-големия линеен размер на осветителя) [10,15].

Геометричните разстояния  $v$  и  $l_{ly}$  и необходимите ъгли  $\gamma$ ,  $\varphi$  и  $\beta$  при известна височина  $H$  от пода до тавана на помещението се определят със следните зависимости:

$$v = H - h_{\text{зр.ос}} - h_o; \quad (1.17)$$

$$l_{ly} = \sqrt{r^2 + d^2 + v^2}; \quad (1.18)$$

$$\gamma = \arctg \frac{\sqrt{r^2 + d^2}}{v}; \quad \cos \gamma = \frac{v}{l_{ly}}; \quad \varphi = \arctg \frac{r}{d}; \quad \beta = \arccos \frac{r}{l_{ly}}. \quad (1.19)$$

Интензитетът на светлината  $I_{\gamma,\varphi}$  в [cd] в посока към окото на наблюдателя за действителния светлинен поток на осветителя  $\Phi_{\text{осв}}$  се изчислява по формулата:

$$I_{\gamma,\varphi} = I'_{\gamma,\varphi} \frac{\Phi_{\text{осв}}}{1000}, \quad (1.20)$$

където  $I'_{\gamma,\varphi}$  – интензитет на светлината в [cd/klm] в посока към окото на наблюдателя, представен в относителни единици за условен светлинен поток 1000 lm и определен от светлоразпределителните криви в табличен вид на осветителя за точно определени стойности на вертикалния ъгъл  $\gamma$  за фотометрични равнини  $C0^\circ$  ( $\varphi = 0^\circ$ ) и  $C90^\circ$  ( $\varphi = 90^\circ$ ). Стойността на  $I'_{\gamma,\varphi}$  се получава чрез линейна интерполация след използване на фотометричните данни на един от осветителите – *Осветител-1* или *Осветител-2*, посочени в табл. 1.5, ако вертикалният фотометричният ъгъл  $\gamma$  и ъгъл  $\varphi$  се получават между табличните стойности.

Когато и двата ъгъла –  $\gamma$  и  $\varphi$ , аргументи на  $I'_{\gamma,\varphi}$ , се намират между две съседни таблични стойности, за които са известни стойностите на функцията  $I'(\gamma, \varphi)$ , се използва двойна линейна интерполация от вида:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0), \quad (1.21)$$

където:  $x$  – изчислената стойност на вертикалния фотометричен ъгъл  $\gamma$  в съответствие с фиг. 1.12 и 1.13, в зависимост от позицията на наблюдателя спрямо осветителя, т.е.  $x \equiv \gamma$ ;  $x_0$  – най-близката по-малка таблична стойност на вертикалния ъгъл  $\gamma_0$ , за която е известна стойността на интензитета на светлината  $I'_{\gamma,\varphi}$ , т.е.  $f(x_0)$ ;  $x_1$  – най-близката по-голяма таблична стойност на вертикалния ъгъл  $\gamma_1$ , за която е известна стойността на интензитета на светлината  $I'_{\gamma,\varphi}$ , т.е.  $f(x_1)$ .

Когато позицията на наблюдателя е такава, че  $\varphi > 0^\circ$  и  $\varphi < 90^\circ$  и осветителите са с асиметрично светлоразпределение между отделните фотометрични С-равнини, израз (1.21) за изчисляване  $I'_{\gamma,\varphi}$  се използва по отделно за  $\varphi = 0^\circ$  (C0°) и  $\varphi = 90^\circ$  (C90°). Ако осветителите имат симетрична фотометрична обвивка се извършва единична интерполация, тъй като интензитетът на светлината се явява функция само на вертикалния фотометричен ъгъл  $\gamma - I'(\gamma)$ , и е един и същ за различните фотометрични С-равнини за отделните  $\gamma$  ъгли, т.е.  $I'_{\gamma,\varphi} = \text{const.}$  в интервала  $\varphi = 0^\circ \div 360^\circ$ .

Резултатите от изчисленияте стойности на геометричните показатели и интензитета на светлината, свързани с местоположението на наблюдателя по отношение на всеки един осветител, се представят в табл. 1.12.

Таблица 1.12. Таблично представяне на изчислените разстояния, ъгли и интензитет

| Осветител | $r$ | $d$ | $v$ | $l_\gamma$ | $\cos \gamma$ | $\gamma$ | $\varphi$ | $\beta$ | $I'_{\gamma,\varphi}$ | $I_{\gamma,\varphi}$ |
|-----------|-----|-----|-----|------------|---------------|----------|-----------|---------|-----------------------|----------------------|
|           | [m] | [m] | [m] | [m]        | -             | [°]      | [°]       | [°]     | [cd/klm]              | [cd]                 |
| №         |     |     |     |            |               |          |           |         |                       |                      |

Когато дължината  $l_{\text{осв}}$  и широчината  $w_{\text{осв}}$  на светещата част на осветителя са известни, то неговата светеща площ е:

$$A_{\text{осв}} = l_{\text{осв}} w_{\text{осв}}. \quad (1.22)$$

За всеки осветител се изчислява видимата светеща площ, която наблюдателя вижда под определен ъгъл  $\gamma$  в зависимост от неговото местоположение. При липса на вертикални светещи повърхности, видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв}}$  се изчислява с изказа:

$$A'_{\text{осв}} = A_{\text{осв}} \cos \gamma. \quad (1.23)$$

От израз (1.23) следва, че видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв}}$  е максимална при  $\gamma = 0^\circ$ , т.е.  $A'_{\text{осв}} = A_{\text{осв}}$ ; с увеличаване на вертикалния фотометричен ъгъл  $\gamma$  видимата хоризонтална светеща площ на осветителя намалява.

Габаритната яркост на осветителя  $L_{\text{осв}}$  в посока на окото на наблюдателя, който вижда светещата площ под ъгъл  $\gamma$ , се определя с израз:

$$L_{\text{осв}} = \frac{I_{\gamma, \varphi}}{A'_{\text{осв}}}. \quad (1.24)$$

Пространственият ъгъл  $\varpi$  в [sr], под който се вижда светещата площ на всеки осветител, се определя с израз:

$$\varpi = \frac{A'_{\text{осв}}}{l_{\gamma}^2}, \quad (1.25)$$

където  $l_{\gamma}$  – разстояние, което интензитетът на светлината  $I_{\gamma, \varphi}$  изминава от центъра на видимата хоризонтална светещата площ на осветителя до точката на наблюдение.

Позиционният индекс на Guth  $p$  е отношението на действителната яркост на осветителя към яркостта на осветителя по посока на линията на наблюдение, т.е. отчита позицията на наблюдателя и посоката на зрителната ос спрямо местоположението на осветителя [25]. Позиционният индекс може да се определи аналитично, графично и таблично, ако са известни геометричните размери  $r$ ,  $d$  и  $v$  и ъглите  $\gamma$  и  $\beta$ , определящи взаимното местоположение на наблюдателя и осветителя.

Аналитичното определяне на позиционния индекс на Guth  $p$  при известни ъгли  $\gamma$  и  $\beta$  се извършва със следната формула [26,29]:

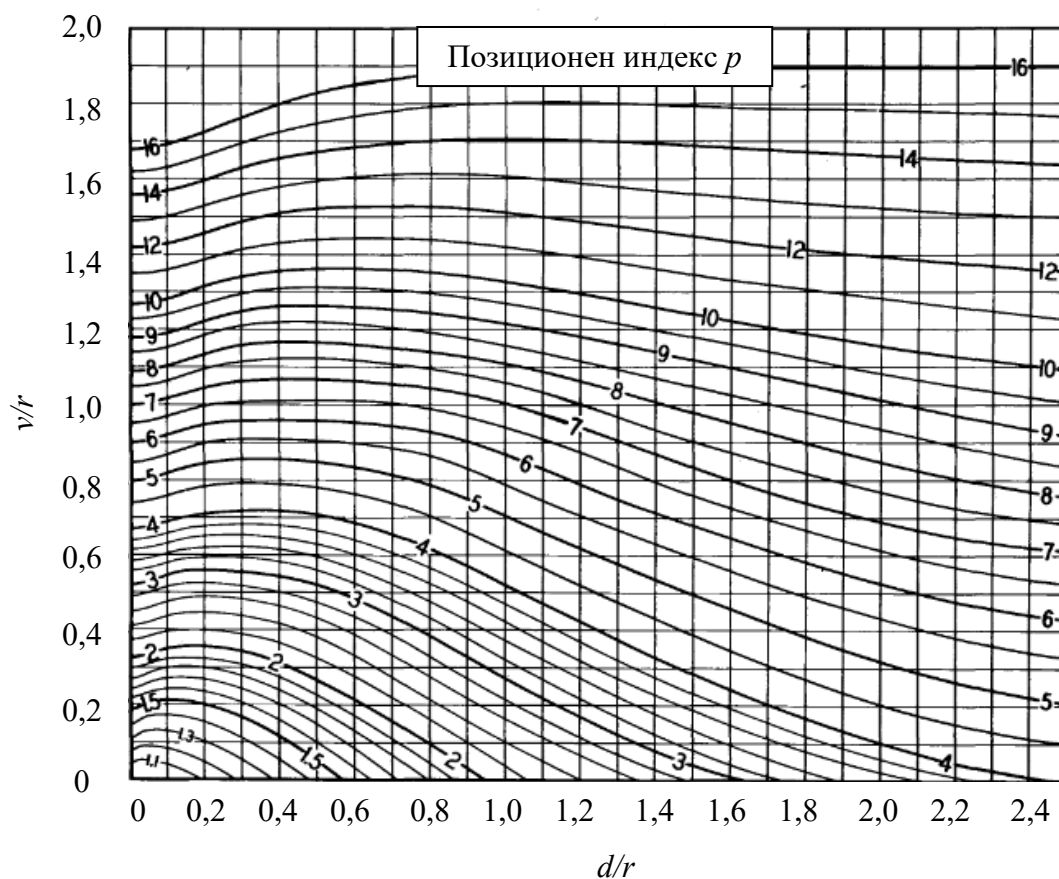
$$p = \exp \left[ \left( 35,2 - 0,31889\gamma - 1,22e^{\frac{2\gamma}{9}} \right) 10^{-3} \beta + (21 + 0,26667\gamma - 0,0029663\gamma^2) 10^{-5} \beta^2 \right]. \quad (1.26)$$

Функционалната зависимост  $p = f(d/r, v/r)$  може да се представи графично с номограмата на фиг. 1.15 за приблизително определяне на позиционния индекс  $p$ , където значението на геометричните размери  $r$ ,  $d$  и  $v$  е съгласно интерпретацията от фиг. 1.12, 1.13 и 1.14 [28].

Зависимостта  $p = f(d/r, v/r)$  може да се определи таблично, когато са известни геометричните размери  $r$ ,  $d$  и  $v$ , а от там и отношенията  $d/r$  и  $v/r$  – прил. 2 [10].

При отношение  $(v/r) > 1,9$  или отношение  $(d/r) > 3,0$  се приема, че осветителят не създава дискомфортно заслепяване.

Резултатите от изчисленияте геометрични отношения, видима светеща площ, габаритна яркост, пространствен ъгъл и определен позиционен индекс за всеки осветител се представят в табл. 1.13.



Фиг. 1.15. Номограма за определяне на позиционния индекс  $p$

Таблица 1.13. Таблично представяне на изчислените показатели

| Осветител | $d/r$ | $v/r$ | $A'_{осв}$        | $L_{осв}$            | $\varpi$ | $p$ | $\frac{L_{осв}^2 \varpi}{p^2}$ |
|-----------|-------|-------|-------------------|----------------------|----------|-----|--------------------------------|
|           | -     | -     | [m <sup>2</sup> ] | [cd/m <sup>2</sup> ] | [sr]     | -   | -                              |
| №         |       |       |                   |                      |          |     |                                |

Получените стойности на отношението  $\frac{L_{осв}^2 \varpi}{p^2}$ , което се сумира от всеки един осветител, позволяват да се изчисли по формула (1.16) показателя обобщена степен на заслепяване  $R_{UG}$ , който осветителите причиняват в посока на зрителното поле на наблюдателя.

**Пример 1.5.** Учителска стая има следните характеристики: дължина  $x = 6$  m, ширина  $y = 3$  m, височина от пода до тавана  $H = 3$  m, височина на зрителната ос на седнал наблюдател  $h_{зр.ос} = 1,2$  m, който се намира в средата на тясната страна на помещението. Нормативните стойности на осветеността и равномерността се постигат чрез използване на два вградени в тавана LED осветителя – (1) и (2) – фиг. 1.16, със система на разположение от типа общо равномерно, позиционирани по дължината на зрител-



ната ос, т.е.  $d = 0$  m и  $\varphi = 0^\circ$ . Яркостта на фона се приема за равна на яркостта на работната повърхност:  $L_B = L_{\text{pp}} = 32,49$  cd/m<sup>2</sup>.

Указание: Техническите и фотометрични данни на осветителите са дадени на фиг. 1.5 и табл. 1.4 и 1.5 – използва се тип *Осветител-2*, модел *LED-28W-4000lm*, със симетрично светлоразпределение и интензитетът на светлината е функция само на вертикалния фотометричен ъгъл  $\gamma - I'(\gamma)$ .

Да се определи обобщената степен на заслепяване  $R_{UG}$ , която осветителите причиняват в посока на зрителната ос на седналия наблюдател.

*Решение.* Първоначално се изчисляват геометричните показатели, свързани с местоположението на наблюдателя спрямо разположението на осветители (1) и (2). Разстоянията  $r_1$  и  $r_2$  между точката на наблюдение, разположена в средата на късата страна на помещението, и вертикалните равнини  $v_1$  и  $v_2$ , успоредни на късата страна на помещението и минаващи през оптичния център съответно за LED осветител (1)  $v_1$  и LED осветител (2)  $v_2$  (фиг. 1.16) се изчисляват по следния начин:

- за LED осветител (1)  $r_1$  е разликата на дължината на дългата страна на помещението  $x$ , разстоянието между двата осветителя  $l_{x1-2}$  и разстоянието между втория осветител до стената  $\frac{l_{x2}}{2}$ , при това  $r_1 = \frac{l_{x1}}{2} = \frac{l_{x2}}{2}$ :

$$r_1 = \frac{l_{x1}}{2} = x - \frac{l_{x2}}{2} - l_{x1-2} = 6 - 1,5 - 3 = 1,5 \text{ m};$$

- за LED осветител (2)  $r_2$  е разликата на дължината на дългата страна на помещението  $x$  и разстоянието между втория осветител до стената  $\frac{l_{x2}}{2}$ :

$$r_2 = x - \frac{l_{x2}}{2} = 6 - 1,5 = 4,5 \text{ m}.$$

Вертикалното разстояние  $v_1$  между повърхността на осветител (1) и зрителната ос и вертикалното разстояние  $v_2$  между повърхността на осветител (2) и същата зрителна ос са равни, т.е.  $v_1 = v_2 = v$ . Тъй като осветителите са вградени в тавана и нямат провес –  $h_o = 0$  m, за  $v$  се получава:

$$v_1 = v_2 = v = H - h_{\text{зр.ос}} = 3 - 1,2 = 1,8 \text{ m}.$$

На фиг. 1.16 е показано взаимното местоположение на наблюдателя и LED осветителите (1) и (2) в учителската стая (изглед отстрани) със стойностите на зададените и изчислени разстояния (катети).

Тъй като няма разположени осветители вляво и вдясно на зрителната ос, т.е.  $d = 0$  m и ъгъл  $\varphi = 0^\circ$ , се получават два правоъгълни триъгълника:

- за осветител (1) страните на триъгълника са  $r_1$ ,  $v$  и  $l_{\gamma1}$ ;
- за осветител (2) страните на триъгълника са  $r_2$ ,  $v$  и  $l_{\gamma2}$ .

Разстоянията (хипотенузите)  $l_{\gamma1}$  и  $l_{\gamma2}$  от светещата повърхност съответно на LED осветители (1) и (2) до наблюдателя в т.О се определят с израз (1.18) при  $d = 0$  m:

$$l_{IY1} = \sqrt{r_1^2 + v^2} = \sqrt{1,5^2 + 1,8^2} = 2,34 \text{ m}; \quad l_{IY2} = \sqrt{r_2^2 + v^2} = \sqrt{4,5^2 + 1,8^2} = 4,85 \text{ m}.$$

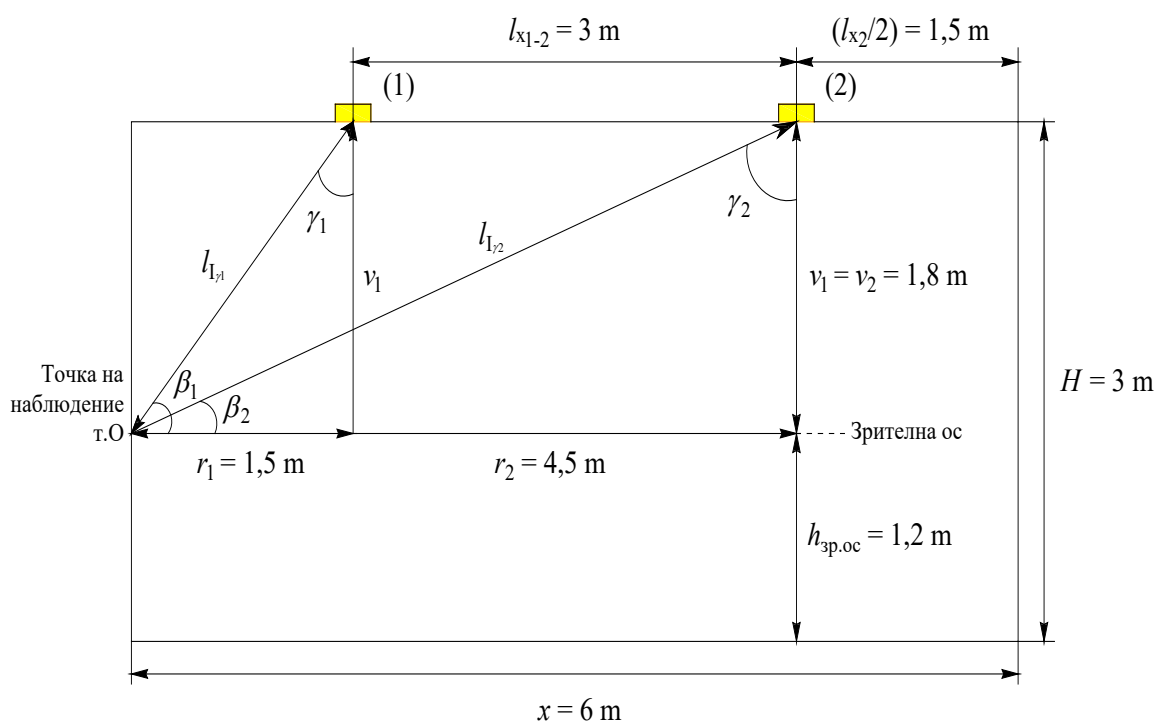
За ъглите  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , които се сключват между оптичните оси  $v_1$  и  $v_2$  на осветители (1) и (2) и разстоянията  $l_{IY1}$  и  $l_{IY2}$  до наблюдателя, и техните тригонометрични зависимости, съгласно израз (1.19), се получава:

$$\gamma_1 = \arctg \frac{r_1}{v} = \arctg \frac{1,5}{1,8} = 39,81^\circ; \quad \cos \gamma_1 = \frac{v}{l_{IY1}} = \frac{1,8}{2,34} = 0,80;$$

$$\gamma_2 = \arctg \frac{r_2}{v} = \arctg \frac{4,5}{1,8} = 68,20^\circ; \quad \cos \gamma_2 = \frac{v}{l_{IY2}} = \frac{1,8}{4,85} = 0,37.$$

За ъгли  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , които се сключват между зрителната ос по направление  $r$  и правите  $l_{IY1}$  и  $l_{IY2}$ , свързващи зрителния анализатор и осветителите (1) и (2), се получава:

$$\beta_1 = \arccos \frac{r_1}{l_{IY1}} = \arccos \frac{1,5}{2,34} = 50,13^\circ; \quad \beta_2 = \arccos \frac{r_2}{l_{IY2}} = \arccos \frac{4,5}{4,85} = 21,90^\circ.$$



Фиг. 1.16. Взаимното местоположение на наблюдателя и осветители (1) и (2)

Интензитетите на светлината  $I(\gamma_1)$  и  $I(\gamma_2)$  на осветители (1) и (2) в посока към окото на наблюдателя в т.О (правите  $l_{IY1}$  и  $l_{IY2}$  на фиг. 1.16) се определят от светлоразпределителните криви на осветителите, тип *Осветител-2*, модел *LED-28W-4000lm*, в табличен вид – табл. 1.5, на които те са представени в относителни единици за условен светлинен поток 1000 lm [cd/klm]. Тъй като в табличното представяне на СРК на двата LED осветителя (1) и (2) в помещението отсъстват точните стойности на  $I(\gamma_1)$  и  $I(\gamma_2)$ ,

за изчислените ъгли  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  (при  $\varphi = 0^\circ$ ) е необходимо да се извърши единична линейна интерполация.

За LED осветител (1) при  $\varphi = 0^\circ$  е изчислен вертикалният фотометричен ъгъл  $\gamma_1 = 39,81^\circ$ . От табл. 1.5 за *Осветител-2* най-близката по-малка стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{1_0} = 35^\circ$  – съответства на интензитет на светлината  $I'(\gamma_{1_0} = 35^\circ) = 370,27 \text{ cd/klm}$ ; най-близката по-голяма стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{1_1} = 40^\circ$  – съответства на  $I'(\gamma_{1_1} = 40^\circ) = 315,72 \text{ cd/klm}$ . Съгласно израз (1.21) за  $I'(\gamma_1 = 39,81^\circ)$  се получава:

$$I'(\gamma_1) = I'(\gamma_{1_0}) + \frac{I'(\gamma_{1_1}) - I'(\gamma_{1_0})}{\gamma_{1_1} - \gamma_{1_0}}(\gamma_1 - \gamma_{1_0}),$$

$$I'(\gamma_1 = 39,81^\circ) = 370,27 + \frac{315,72 - 370,27}{40^\circ - 35^\circ}(39,81^\circ - 35^\circ) = 317,79 \text{ cd/klm}.$$

Интензитетът на светлината  $I(\gamma_1)$  в [cd] в посока към окото на наблюдателя за действителния светлинен поток на осветителя  $\Phi_{\text{осв},(1)} = 4000 \text{ lm}$  се изчислява по формула (1.20) и след заместване се получава:

$$I(\gamma_1) = I'(\gamma_1) \frac{\Phi_{\text{осв},(1)}}{1000} = 317,79 \frac{4000}{1000} = 1271,16 \text{ cd}.$$

За LED осветител (2) при  $\varphi = 0^\circ$  е изчислен вертикалният фотометричен ъгъл  $\gamma_2 = 68,20^\circ$ . От табл. 1.5 за *Осветител-2* най-близката по-малка стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{2_0} = 65^\circ$  – съответства на интензитет на светлината  $I'(\gamma_{2_0} = 65^\circ) = 27,63 \text{ cd/klm}$ ; най-близката по-голяма стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{2_1} = 70^\circ$  – съответства на  $I'(\gamma_{2_1} = 70^\circ) = 20,06 \text{ cd/klm}$ . Съгласно израз (1.21) за  $I'(\gamma_2 = 68,20^\circ)$  се получава:

$$I'(\gamma_2) = I'(\gamma_{2_0}) + \frac{I'(\gamma_{2_1}) - I'(\gamma_{2_0})}{\gamma_{2_1} - \gamma_{2_0}}(\gamma_2 - \gamma_{2_0}),$$

$$I'(\gamma_2 = 68,20^\circ) = 27,63 + \frac{20,06 - 27,63}{70^\circ - 65^\circ}(68,20^\circ - 65^\circ) = 22,79 \text{ cd/klm}.$$

Интензитетът на светлината  $I(\gamma_2)$  в [cd] в посока към окото на наблюдателя за действителния светлинен поток на осветителя  $\Phi_{\text{осв},(2)} = 4000 \text{ lm}$  е:

$$I(\gamma_2) = I'(\gamma_2) \frac{\Phi_{\text{осв},(2)}}{1000} = 22,79 \frac{4000}{1000} = 91,16 \text{ cd}.$$

Резултатите от изчислените стойности на геометричните показатели и интензитетът на светлината, свързани с местоположението на наблюдате-

ля по отношение на всеки един осветител от двата осветителя (1) и (2) в учителската стая, се представят в табл. 1.14.

Таблица 1.14. Таблично представяне на изчислените разстояния, ъгли, тригонометрични функции и интензитет на светлината

| LED осветител | $r$<br>[m] | $d$<br>[m] | $v$<br>[m] | $l_{\gamma}$<br>[m] | $\cos\gamma$<br>- | $\gamma$<br>[°] | $\varphi$<br>[°] | $\beta$<br>[°] | $I(\gamma)$<br>[cd/klm] | $I(\gamma)$<br>[cd] |
|---------------|------------|------------|------------|---------------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| (1)           | 1,5        | 0          | 1,8        | 2,34                | 0,80              | 39,81           | 0                | 50,13          | 317,79                  | 1271,16             |
| (2)           | 4,5        | 0          | 1,8        | 4,85                | 0,37              | 68,20           | 0                | 21,90          | 22,79                   | 91,16               |

Светещата площ на двата LED осветителя се определя с израз (1.22). Дължината  $l_{\text{осв}}$  и широчината  $w_{\text{осв}}$  на Осветител-2 са посочени в табл. 1.4 –  $l_{\text{осв}} = 1,13 \text{ m}$ ;  $w_{\text{осв}} = 0,297 \text{ m} \Rightarrow A_{\text{осв}} = l_{\text{осв}} w_{\text{осв}} = 1,13 \cdot 0,297 = 0,33561 \text{ m}^2$ .

Видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв},(1)}$  на LED осветител (1) спрямо т.О (фиг. 1.16), при изчислени  $\gamma_1 = 39,81^\circ$  и  $\cos\gamma_1 = 0,80$  се определя по формула (1.23):  $A'_{\text{осв},(1)} = A_{\text{осв}} \cos\gamma_1 = 0,33561 \cdot 0,80 = 0,26849 \text{ m}^2$ .

Видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв},(2)}$  на LED осветител (2) спрямо същата точка на наблюдение – т.О, при изчислени  $\gamma_2 = 68,20^\circ$  и  $\cos\gamma_2 = 0,37$  е:  $A'_{\text{осв},(2)} = A_{\text{осв}} \cos\gamma_2 = 0,33561 \cdot 0,37 = 0,12418 \text{ m}^2$ .

Габаритната яркост на LED осветител (1)  $L_{\text{осв},(1)}$  в посока на окото на наблюдателя, който вижда светещата площ  $A'_{\text{осв},(1)}$  под ъгъл  $\gamma_1$ , се определя с израз (1.24):

$$L_{\text{осв},(1)} = \frac{I(\gamma_1)}{A'_{\text{осв},(1)}} = \frac{1271,16}{0,26849} = 4734,48 \text{ cd/m}^2.$$

Габаритната яркост на LED осветител (2)  $L_{\text{осв},(2)}$  в посока на окото на наблюдателя, който вижда светещата площ  $A'_{\text{осв},(2)}$  под ъгъл  $\gamma_2$ , е:

$$L_{\text{осв},(2)} = \frac{I(\gamma_2)}{A'_{\text{осв},(2)}} = \frac{91,16}{0,12418} = 734,10 \text{ cd/m}^2.$$

Пространствените ъгли  $\varpi_1$  и  $\varpi_2$  в [sr], под които се виждат светещите площи  $A'_{\text{осв},(1)}$  и  $A'_{\text{осв},(2)}$  съответно на LED осветители (1) и (2), се определят с израз (1.25). След заместване се получава:

$$\varpi_1 = \frac{A'_{\text{осв},(1)}}{l_{\gamma 1}^2} = \frac{0,26849}{2,34^2} = 0,04903 \text{ sr}; \quad \varpi_2 = \frac{A'_{\text{осв},(2)}}{l_{\gamma 2}^2} = \frac{0,12418}{4,85^2} = 0,00528 \text{ sr}.$$

Използва се табличния метод за определяне на позиционния индекс на Guth  $p$ . Тъй като са известни геометричните размери  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $d = 0 \text{ m}$ ,  $v$  и отношенията  $d/r_1$  и  $v/r_2$ , то зависимостта  $p = f(d/r, v/r)$  за двата LED осветителя (1) и (2) може да се определи от прил. 2:

- за LED осветител (1)  $\frac{d}{r_1} = 0; \frac{v}{r_1} = \frac{1,8}{1,5} = 1,20 \Rightarrow p_1 = 9,25;$

- за LED осветител (2)  $\frac{d}{r_2} = 0; \frac{v}{r_2} = \frac{1,8}{4,5} = 0,40 \Rightarrow p_2 = 2,35.$

За отношението  $\frac{L_{\text{осв}}^2 \varpi}{p^2}$  на двата LED осветителя се получава:

$$\frac{L_{\text{осв},(1)}^2 \varpi_1}{p_1^2} = \frac{1271,16^2 \cdot 0,04903}{9,25^2} = 925,93; \quad \frac{L_{\text{осв},(2)}^2 \varpi_2}{p_2^2} = \frac{734,10^2 \cdot 0,00528}{2,35^2} = 515,24.$$

Резултатите от изчислените стойности на геометричните отношения, видимите светещи площи, габаритните яркости, пространствените ъгли и определените позиционни индекси за всеки един от двата LED осветителя в учителската стая се представят в табл. 1.15.

Таблица 1.15. Таблично представяне на изчислените показатели

| LED осветител | $d/r$ | $v/r$ | $A'_{\text{осв}}$ | $L_{\text{осв}}$     | $\varpi$ | $p$  | $\frac{L_{\text{осв}}^2 \varpi}{p^2}$ |
|---------------|-------|-------|-------------------|----------------------|----------|------|---------------------------------------|
|               | -     | -     | [m <sup>2</sup> ] | [cd/m <sup>2</sup> ] | [sr]     | -    | -                                     |
| (1)           | 0     | 1,20  | 0,26849           | 1271,16              | 0,04903  | 9,25 | 925,93                                |
| (2)           | 0     | 0,40  | 0,12849           | 734,10               | 0,00528  | 2,35 | 515,24                                |

Граничната стойност на показателя обобщена степен на заслепяване за учителска стая, съгласно БДС EN 12464-1, е  $R_{\text{UGL}} = 19$ . Показателят обобщена степен на заслепяване  $R_{\text{UG}}$ , който двата LED осветителя (1) и (2) причиняват в посока на наблюдателя, се определя по формула (1.16):

$$R_{\text{UG}} = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_{\text{B}}} \sum \frac{L_{\text{осв}}^2 \varpi}{p^2} \right) = 8 \log_{10} \left[ \frac{0,25}{L_{\text{пп}}} \left( \frac{L_{\text{осв},(1)}^2 \varpi_1}{p_1^2} + \frac{L_{\text{осв},(2)}^2 \varpi_2}{p_2^2} \right) \right];$$

$$R_{\text{UG}} = 8 \log_{10} \left[ \frac{0,25}{32,49} (925,93 + 515,24) \right] = 8,36 < R_{\text{UGL}} = 19 \text{ (няма заслепяване).}$$

## Г Л А В А II

АВТОМАТИЗИРАНИ СВЕЛЛОТЕХНИЧЕСКИ ИЗЧИСЛЕНИЯ СЪС  
СПЕЦИАЛИЗИРАН СОФТУЕР

Един от най-важните етапи от процеса на проектиране на вътрешни осветителни уредби е изчисляването на количествените и качествените показатели на вътрешното осветление при спазване на изискванията, посочени в БДС EN 12464-1:2021 [20].

Светлотехническите изисквания се определят чрез удовлетворяване на три основни човешки потребности: *зрителен комфорт*, при който наблюдателите имат усещането за удобство и той по косвен начин също допринася за по-високо ниво на продуктивност и по-високо качество на работа; *зрителна работоспособност*, при която наблюдателите са в състояние да изпълняват своите зрителни задачи, дори при тежки обстоятелства и за продължителни периоди от време; *безопасност*.

Основните параметри, които определят светлинната среда по отношение на изкуственото осветление, са: разпределение на яркостта и осветеността; насочването на светлината; цветопредаването и тона на светлината; заслепяването и пулсациите на светлинния поток. Тези параметри подробно се разглеждат в [10,11,20,22].

Съществуват съвременни светлотехнически програмни продукти – Relux, DIALux evo, OxyTech и др., които предлагат автоматизирано изчисляване на количествените и качествените показатели на вътрешното осветление в съответствие със стандартите и същевременно предлагат триизмерна реалистична визуализация на проектираната осветителна уредба.

В настоящото ръководство се разглеждат основните етапи на автоматизираното изчисляване на показателите на вътрешното осветление със светлотехнически софтуерен продукт Relux .

## 2.1. Нормиране на количествените и качествените показатели на осветлението и моделиране на елементите на помещението



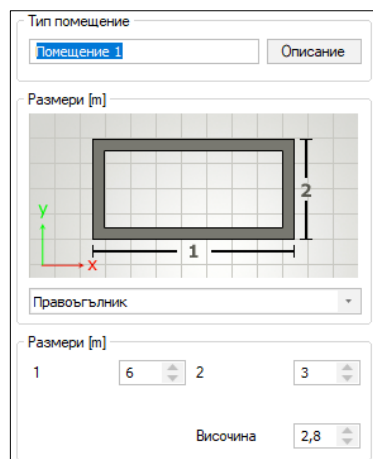
След стартиране на светлотехническата програма Relux (версия 2022.3.2.0), в началния ѝ екран се избира модула за работа с вътрешно осветление *Interior* – фиг. 2.1.



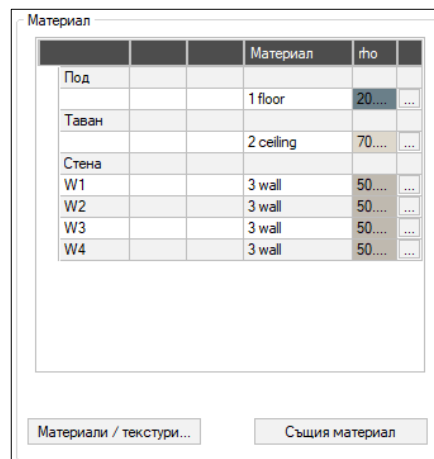
Фиг. 2.1. Избор на модул за вътрешно осветление

Въвеждат се размерите на помещението в [m] – дължина, широчина и височина – фиг. 2.2, както и височина на работната повърхност.

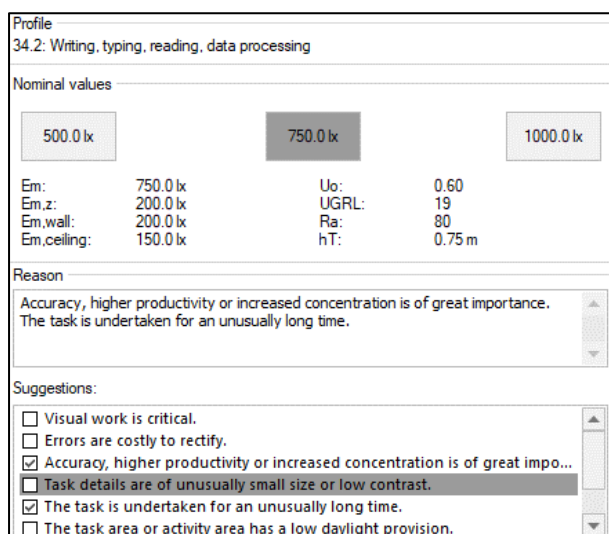
Задават се коефициентите на отражение на под, таван и стени на помещението – фиг. 2.3. От *Материали/текстури* може да се избере конкретен материал със съответните отражателни характеристики.



Фиг. 2.2. Задаване на геометрични размери на помещението



Фиг. 2.3. Задаване на коефициенти на отражение



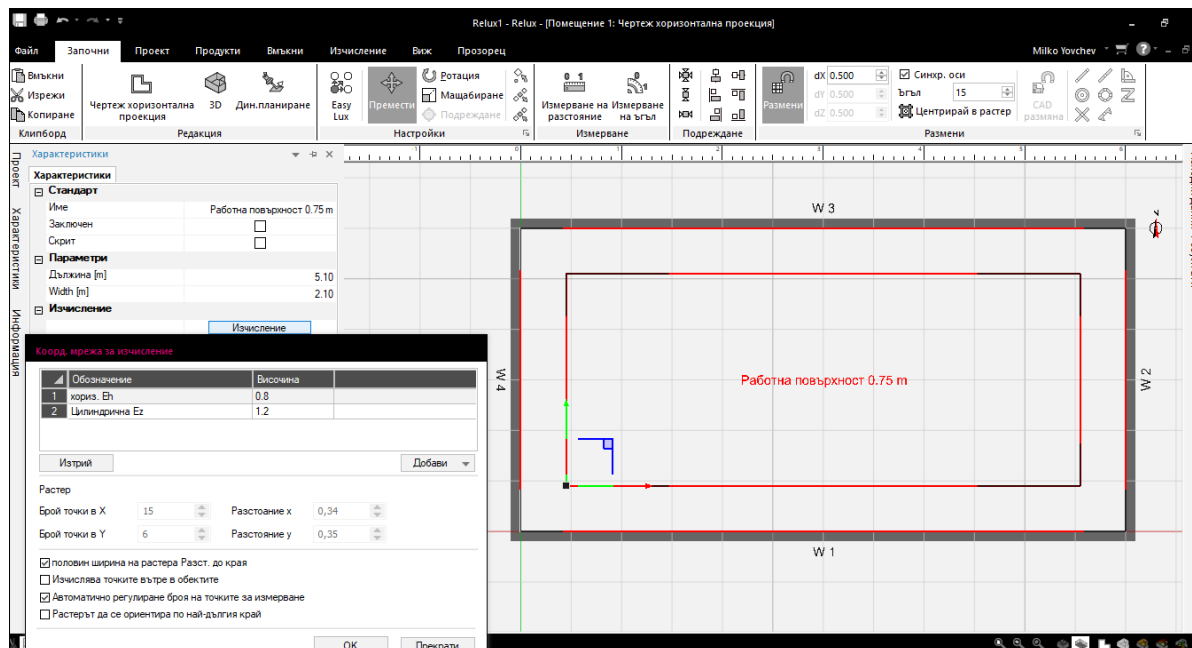
Фиг. 2.4. Въвеждане на утежняващи нормалната зрителна задача условия

В поле *Номинални стойности* се избира типа на помещението и нормираните светлотехнически стойности – например офис с дейности писане, четене и обработка на данни (табл. 1.2, прил. 1) – фиг. 2.4. Програмата предлага при необходимост и съгласно стандарта възможност за въвеждане на условия, утежняващи нормалната зрителна задача. Въвеждат се примерни две условия: точност и повишена концентрация, и задачата се извършва за необичайно дълъг период от време, при което нормираната осветеност

може да се увеличи с една или две стъпки – от примера на фиг. 2.4 с въведените две утежняващи условия, нормираната осветеност се увеличава с една стъпка –  $\bar{E}_m = 750 \text{ lx}$ .

Регулирането на характеристиките на изчислителните повърхности – работна повърхност, таван и стени, е възможно при активиране на подменю *Проект* от меню *Прозорец*. Характеристиките на изчислителната работна повърхност – дължина, широчина, разстояние до стените, брой на изчислителните точки и височина на изчисляване на експлоатационната (хоризонтална)  $\bar{E}_m$  и цилиндрична осветеност  $\bar{E}_{m,z}$ , са показани на фиг. 2.5.

Когато липсват данни за елементи на обзавеждане в помещението, цялата хоризонтална площ се приема за изчислителна хоризонтална повърхност.



Фиг. 2.5. Въвеждане на характеристики на изчислителната работна повърхност

Лентата до стените може да се изключи от изчислението, ако зоната на зрителната задача не се простира в нея – фиг. 2.5. Широчината на тази лента се определя като 15 % от най-малкия размер на разглежданата площ или 0,5 m, което от двете е по-малко [1].

## 2.2. Избор на осветител

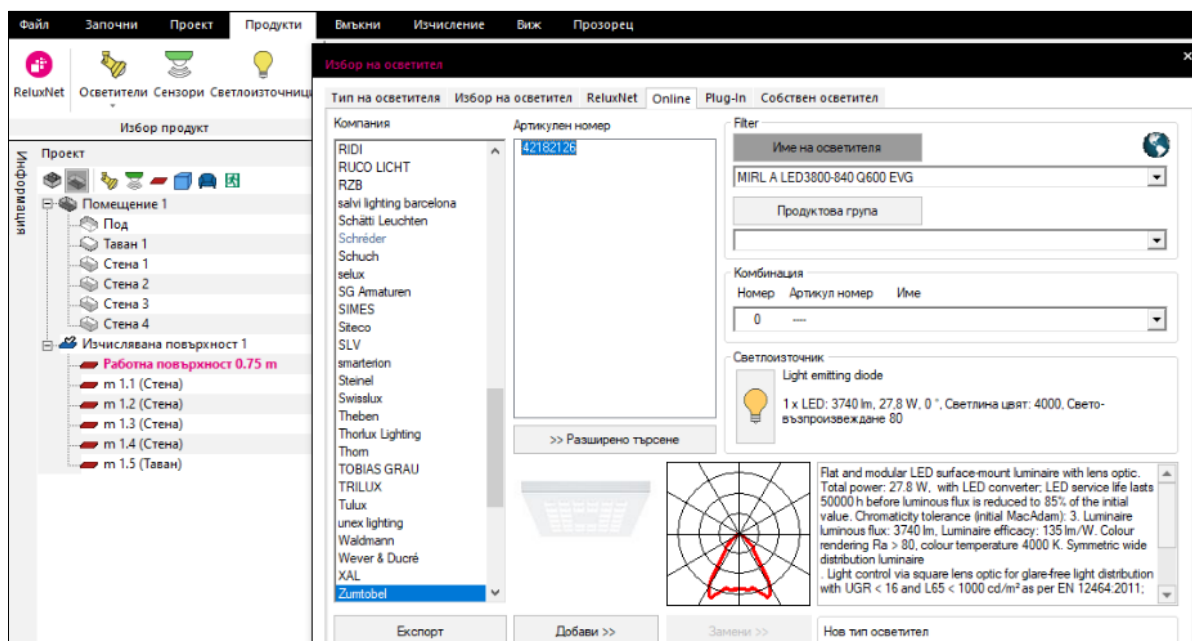
Изборът на осветител е важен етап при автоматизираното изчисляване на светлотехническите показатели. В този етап трябва да се спазват изискванията на стандарта към индекса на цветопрераждане  $R_a$  и корелираната цветна температура  $T_c$  на светлинните източници в осветителите за съответния вид помещение [20]. Електроенергийната ефективност на осветителната уредба пряко зависи от светлоотдаването на осветителите. Непрекъснато повишаващите се изисквания към ефективността на осветителните уредби е предпоставка да се използват осветители с LED източници, които имат светлоотдаване над 100 lm/W.

При избора на осветител, в зависимост от приложението и характеристиките на околната среда в помещението, се съобразяват: светлоразпределение, максимален интензитет на светлината, яркост, минимален защитен ъгъл, максимална средна яркост за вертикални фотометрични ъгли, коефициент на полезно действие, степен на защита (IP) и др. [20].

В софтуерен продукт Relux избора на светлинен източник и осветител се извършва от меню *Продукти* с функцията *Осветители* в специали-



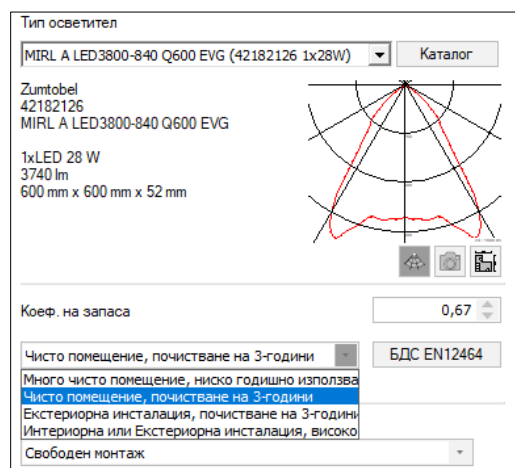
зиран модул *Избор на осветител*, позволяващ добавяне към проекта на светлотехнически характеристики на осветители от предварително инсталирани фирмени бази данни, онлайн или от стандартни фотометрични файлови формати (IES, Eulumdat и др.) – фиг. 2.6. Чрез функцията *Добави >>* от модул *Избор на осветител* на фиг. 2.6 се добавя избрания модел осветител.



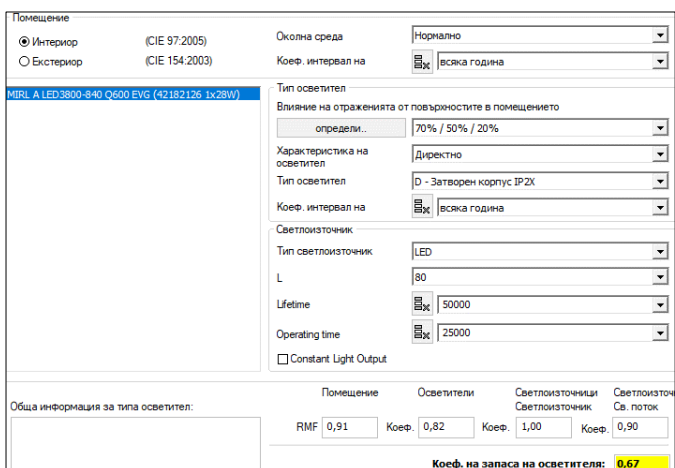
Фиг. 2.6. Избор и добавяне на осветител

### 2.3. Определяне на експлоатационния фактор и необходимия брой осветители

В светлотехническата програма Relux се предвижда както модул за опростено определяне на експлоатационния фактор  $f_m$  – фиг. 2.7, така и за детайлно определяне, съгласно БДС EN 12464-1 и CIE 97-2005, който се активира от опция *БДС EN12464* в опростения модул – фиг. 2.8.

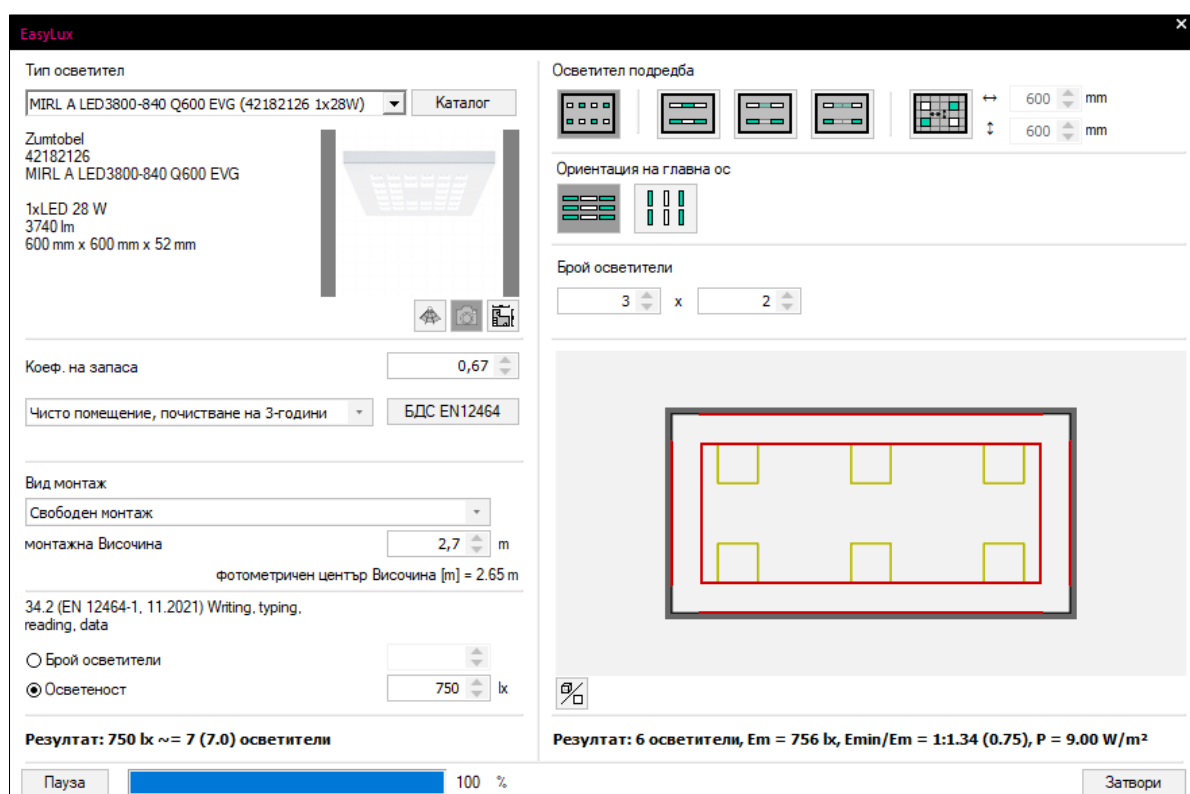


Фиг. 2.7. Опростено определяне на  $f_m$



Фиг. 2.8. Детайлно определяне на  $f_m$

Определянето на необходимия брой осветители за реализиране на нормираната осветеност  $\bar{E}_m$  се извършва от специализиран модул за опростени светлотехнически изчисления *EasyLux*, активиран от меню *Започни*. След определяне на експлоатационния фактор, избиране на вида на монтажа и задаване на стойността на нормираната осветеност в модула, се извършват бързи приблизителни изчисления, като се представя вариант с регулярно разположени LED осветители, при който се получава най-близката реализирана осветеност, по-голяма от нормираната – показано за  $\bar{E}_m = 750$  lx (при две утежняващи нормалната зрителна задача условия) на фиг. 2.9



Фиг. 2.9. Определяне на необходимия брой осветители при зададени нормирана осветеност и експлоатационен фактор

При потвърждаване на предложения брой осветители, същите се разполагат автоматизирано върху тавана на помещението.

## 2.4. Светлотехнически изчисления на количествени и качествени показатели на осветлението

Стартирането на светлотехническите изчисления в софтуерен продукт *Relux* се извършва след избор на функционалния бутон *Затвори* в модула *EasyLux* (фиг. 2.9).

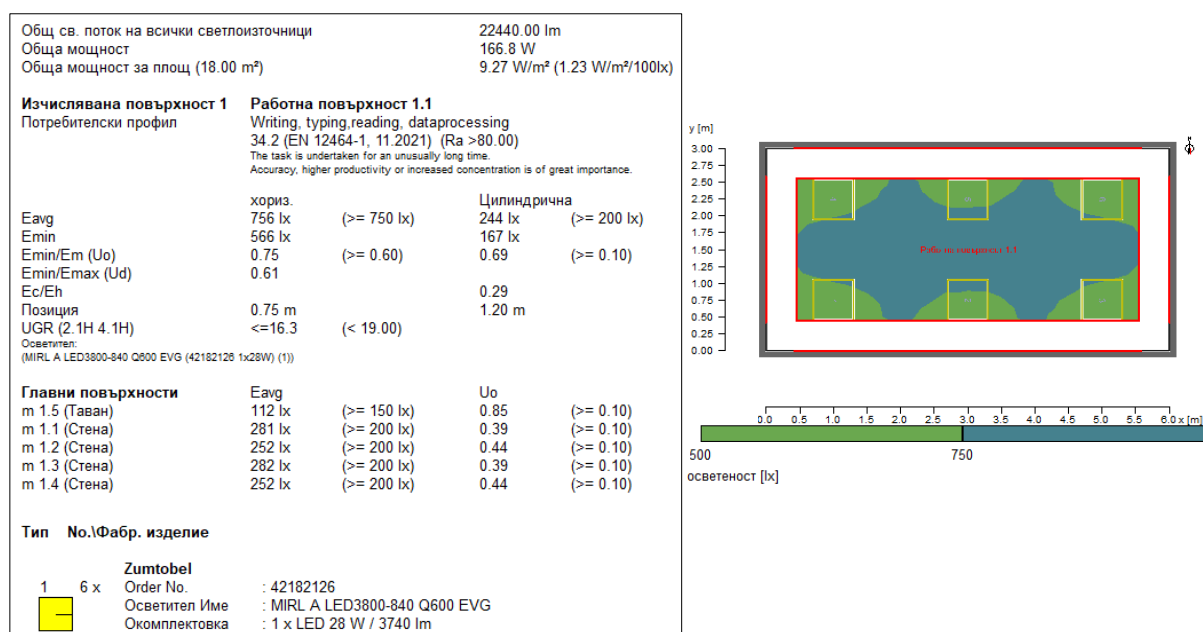
Подробно представяне на резултатите от изчисленията се получава в меню *Резултат* чрез функционалния бутон *Обзор* и екранен прозорец *Обзор резултати* – фиг. 2.10, в който се представят:

- общи за помещението резултати – сумарна инсталирана мощност за осветление [W], специфична мощност за осветление [ $W/m^2$ ] и нормализирана плътност на мощността за осветлението [ $W/m^2/100\text{ lx}$ ] [2]. За съвременните осветители се препоръчва нормализираната плътност на мощността за осветлението да бъде по-малка от  $2\text{ W/m}^2/100\text{ lx}$ ;

- резултати за работната повърхност – реализирана осветеност (означена на фиг. 2.10 като  $E_{avg}$ ), цилиндрична осветеност, обща равномерност ( $U_o$ ) и обобщена степен на заслепяване (означена като UGR), които са сравнени с нормативните стойности в зависимост от типа на помещението;

- резултати за главните повърхности (стени и таван) в помещението – реализирана осветеност  $E_{avg}$  и обща равномерност  $U_o$ , сравнени с нормативните стойности.

В екранния прозорец *Обзор резултати* се показват също и изборния експлоатационен фактор, височината на окачване на осветителя и неговия модел, както и визуализиране чрез псевдо-цветове на реализираната върху работната повърхност осветеност (фиг. 2.10).

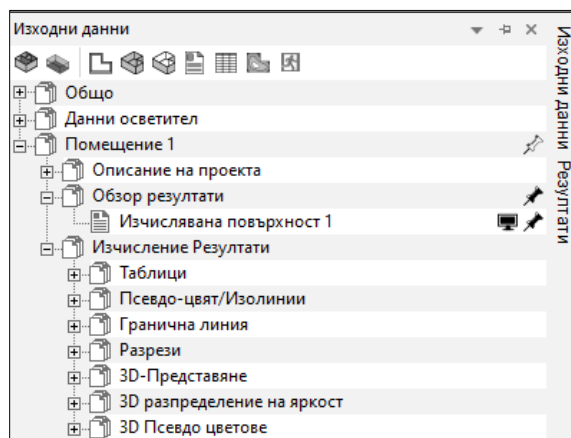


Фиг. 2.10. Реализирани светлотехнически изчисления и графично представяне на разпределението на осветеността в помещението

В поле *Изходни данни* – фиг. 2.11, визуализирането на желаните резултати се извършва чрез избор-маркиране на съответната позиция от дървовидната структура на възможните за представяне резултати: данни за осветител, реализирани стойности на светлотехническите показатели в табличен и графичен вид и визуализация на реалистични симулации на осветеността и яркостта в помещението, като всяка избрана позиция се визуализира на самостоятелен екранен прозорец.

В поле *Резултати* – фиг. 2.12, се представят резултатите от реализираните светлотехнически показатели за работната повърхност, стените и

тавана в помещението, като се сравняват с нормираните стойности. Маркираните със зелен цвят клетки от фиг. 2.12 показват, че реализираните стойности на съответния светлотехнически показател изпълняват нормативните; ако клетките са оцветени в червен цвят – нормативните стойности не са изпълнени.

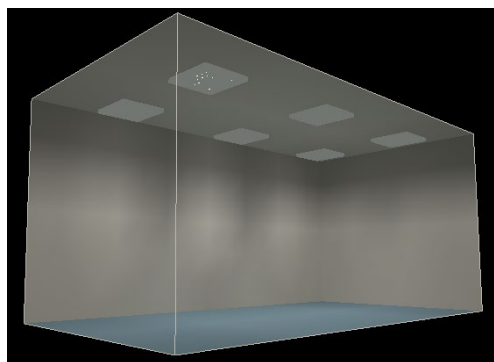


Фиг. 2.11. Исходни данни

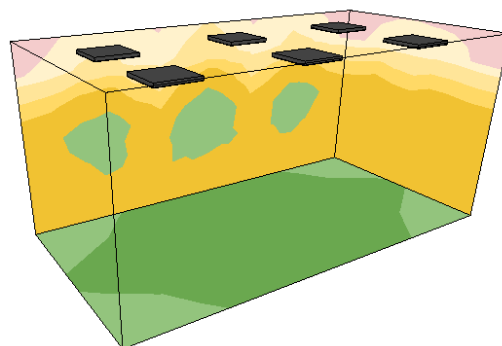
| Резултат                                       | Стойност | Задължителна... |
|------------------------------------------------|----------|-----------------|
| <b>Работна повърхност 1.1</b>                  |          |                 |
| <b>хориз. осветеност <math>E_h</math></b>      |          |                 |
| Eavg                                           | 755.9 lx | $\geq 750$ lx   |
| Emin                                           | 565.8 lx |                 |
| Emax                                           | 930.3 lx |                 |
| Uo                                             | 0.75     | $\geq 0.60$     |
| Ud                                             | 0.61     |                 |
| <b>Цилиндрична осветеност <math>E_z</math></b> |          |                 |
| Eavg                                           | 243.8 lx | $\geq 200$ lx   |
| Emin                                           | 167.3 lx |                 |
| Emax                                           | 288.3 lx |                 |
| Uo                                             | 0.69     | $\geq 0.10$     |
| Ud                                             | 0.58     |                 |

Фиг. 2.12. Резултати

Триизмерни реалистични визуализации на разпределението на яркостта и осветеността в помещението, в резултат на автоматизираните светлотехнически изчисления с Relux, са показани на фиг. 2.13 и 2.14.



Фиг. 2.13. Разпределение на яркостта



Фиг. 2.14. Разпределение на осветеността

След извършване на автоматизираните светлотехнически изчисления, резултатите се систематизират в табличен вид. Етапите на автоматизираните светлотехнически изчисления, разглеждани от т. 2.1 до т. 2.4 включително, се повтарят за всички помещения от етажа на сградата.

В табл. 2.1 се представят входните данни за всяко едно помещение. Значението на отделните колони в таблицата е следното: 1-наименование (функционално предназначение) на помещението; 2-дължина; 3-широчина; 4-височина между пода и тавана; 5-височина на работната повърхност; 6-експлоатационен фактор; 7-коефициенти на отражение на таван, стени и работна повърхност; 8-нормирана осветеност върху работната повърхност; 9-нормирана обща равномерност; 10-нормирана обобщена степен на зас-

лепяване; 11-нормиран индекс на цвето предаване; 12-нормирана цилиндрична осветеност; 13-нормирана осветеност върху стени; 14-нормирана осветеност върху тавана. В табл. 2.1 е показан пример за помещение от тип офис с вид на зрителната задача – писане, машинопис, четене и обработка на данни. Нормираната осветеност  $\bar{E}_m$  (прил. 1) в примерния случай е увеличена с една степен, поради въвеждане две утежняващи нормалната зрителна задача условия (фиг. 2.4) [1].

Таблица 2.1. Входни данни

| Име на помещението | $x$ | $y$ | $H$ | $h_{pp}$ | $f_m$ | $\rho_r$             | БДС EN 12464-1:2021 |       |           |       |                 |                 |                 |
|--------------------|-----|-----|-----|----------|-------|----------------------|---------------------|-------|-----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                    | [m] | [m] | [m] | [m]      | -     | $\rho_{ст}$          | $\bar{E}_m$         | $U_o$ | $R_{UGL}$ | $R_a$ | $\bar{E}_{m,z}$ | $\bar{E}_{m,w}$ | $\bar{E}_{m,c}$ |
|                    |     |     |     |          |       | $\rho_{pp}$          | [lx]                | -     | -         | -     | [lx]            | [lx]            | [lx]            |
| $I$                | 2   | 3   | 4   | 5        | 6     | 7                    | 8                   | 9     | 10        | 11    | 12              | 13              | 14              |
| Офис               | 6   | 3   | 2,8 | 0,75     | 0,67  | 0,70<br>0,50<br>0,20 | 750                 | 0,60  | 19        | 80    | 150             | 150             | 100             |
| ...                |     |     |     |          |       |                      |                     |       |           |       |                 |                 |                 |

В табл. 2.2 се представят резултатите от извършените с програмата светлотехнически изчисления за всички помещения. Значението на отделните колони в таблицата е следното: 1-наименование на помещението; 2-брой на осветителите в помещението; 3-степен на защита от проникване на прах и влага в осветителя; 4-светлинен поток на осветителя; 5-активна мощност на осветителя; 6-корелирана цветна температура; 7-индекс на цвето предаване; 8-средна осветеност върху работната повърхност; 9-обща равномерност; 10-обобщена степен на заслепяване; 11-цилиндрична осветеност; 12-средна осветеност върху стени; 13-средна осветеност върху тавана; 14-показател за енергийна ефективност на осветлението. В табл. 2.2 е показан пример на реализирани количествени и качествени светлотехнически показатели за едно помещение, тип офис.

Таблица 2.2. Резултати от светлотехнически изчисления със софтуер Relux

| Име на помещението | Данни за осветителя |      |              |       |       |       | Реализирани показатели |       |          |             |             |             |                              |
|--------------------|---------------------|------|--------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
|                    | $N$                 | $IP$ | $\Phi_{осв}$ | $P_o$ | $T_c$ | $R_a$ | $\bar{E}_{cp}$         | $U_o$ | $R_{UG}$ | $\bar{E}_z$ | $\bar{E}_w$ | $\bar{E}_c$ | W/m <sup>2</sup> /<br>100 lx |
|                    | -                   | -    | [lm]         | [W]   | [K]   | -     | [lx]                   | -     | -        | [lx]        | [lx]        | [lx]        |                              |
| $I$                | 2                   | 3    | 4            | 5     | 6     | 7     | 8                      | 9     | 10       | 11          | 12          | 13          | 14                           |
| Офис               | 6                   | 40   | 3740         | 27,8  | 4000  | 80    | 756                    | 0,75  | 16,3     | 244         | 267         | 112         | 1,23                         |
| ...                |                     |      |              |       |       |       |                        |       |          |             |             |             |                              |

## Г Л А В А III

### ПРОЕКТИРАНЕ НА ОСВЕТИТЕЛНА И СИЛОВА ИНСТАЛАЦИЯ

#### 3.1. Основни термини и етапи на проектиране на осветителна и силова инсталация

Основните термини и определения, които имат пряко отношение към проектирането на осветителна и силова инсталация, са [13,19]:

- *електрическа инсталация* – съвкупност от проводници и кабели с принадлежащите елементи и детайли, осигуряващи тяхното закрепване и механична защита; електрическите инсталации са открити (положена по повърхността на стени, тавани) и скрити (положена в стени, подове, фундаменти и др.);

- *осветителна инсталация* – електрическа уредба, захранваща електрическото изкуствено осветление на даден обект;

- *силова инсталация (инсталация на контакти и токови изводи)* – електрическа мрежа, захранваща силови консуматори – контакти, електрически двигатели, мощни производствени агрегати и др.;

- *захранваща линия* – от трафопост или отклонение от електроразпределителна мрежа 400/230 V (въздушна или кабелна) до общи шини на електромерни табла или до общи шини на главни електроразпределителни табла, чрез която се пренася необходимата за електропотребителите електрическа енергия;

- *разпределително табло* – устройство, съоръжено с комутационни апарати и/или защитна апаратура, предназначено за разпределение, управление, измерване на електрическа енергия и защита на електрическа инсталация и свързаните с нея електрически съоръжения – неподвижни електропотребители, лампени и контактни излази;

- *главно разпределително табло (ГРТ)* – снабдява с електрическа енергия цялата сграда или нейна обособена част;

- *междинно (етажно) разпределително табло (МРТ)* – устройство, съоръжено с комутационни апарати и/или защитна апаратура, разположено на определен етаж и предназначено за захранване на крайни разпределителни табла, отделни мощни електропотребители и/или групи от електропотребители;

- *крайно (групово) разпределително табло (КРТ)* – разпределително табло, предназначено за присъединяване към мрежата на лампени и контактни излази и отделни електропотребители от определена функционално обособена зона;

- *апартаментно табло* – разпределително табло, монтирано в жилището и предназначено за присъединяване към мрежата на лампени и

контактни излази и отделни електропотребители; мястото в структурната схема за електроснабдяване в сградата определя апартаментното табло като крайно табло;

- *токов кръг (групова електрическа линия)* – част от електрическа инсталация, изходяща от разпределително табло, от която се захранват потребители на електрическа енергия (осветители, контакти и др.), която е защитена в началото с предпазител или автоматичен прекъсвач;

- *излаз от токов кръг* – всяко отклонение от токов кръг към контакти или осветители (лампи); излазите, както и токовете кръгове са еднофазни, двуфазни и трифазни.

Осветителната и силовата инсталация в сградата са част от електрическата уредба, в която се пренася, разпределя, преобразува и консумира електрическа енергия. При нейното проектиране трябва да се спазват всички изисквания, предписания и препоръки на Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии и Наредба № 1 за проектиране, изграждане и поддържане на електрически уредби за ниско напрежение в сгради [12,13].

В електротехническата част се разглеждат въпросите, свързани с вида и начина на изпълнение на електрическата осветителна инсталация за електрозахранване на осветителите и електрическата силова инсталация за електрозахранване на контактите в помещенията в сградата, както и надеждността и осигуреността на електроснабдяване и на пожарната и техническа безопасност [19].

В настоящата Глава III се разглежда проект на осветителна и силова инсталация във фаза технически, в който обсъдените варианти в идейния проект или в подробния устройствен план се свеждат до избор и проектиране на един конкретен вариант [10]. Техническият проект включва изготвяне на инсталационен план (свързване на консуматорите с разпределителните табла чрез токови кръгове) в мащаб, детайлни светлотехнически и електротехнически изчисления, количествени сметки и графична част.

Основните етапи при проектиране на осветителна и силова инсталация на закрито (в сгради) са:

- определяне на броя, местоположението и мощността на осветителите, ключовете за осветление и контактите в помещенията;
- определяне на местоположението и броя на електрозахранващите разпределителни табла;
- групиране на осветителните и контактни излази по токови кръгове;
- определяне на електрическите товари на токовете кръгове за осветление и контакти и на разпределителните табла;
- избор на защитна апаратура на токови кръгове и разпределителни табла;
- избор на сечение на проводници и кабели.

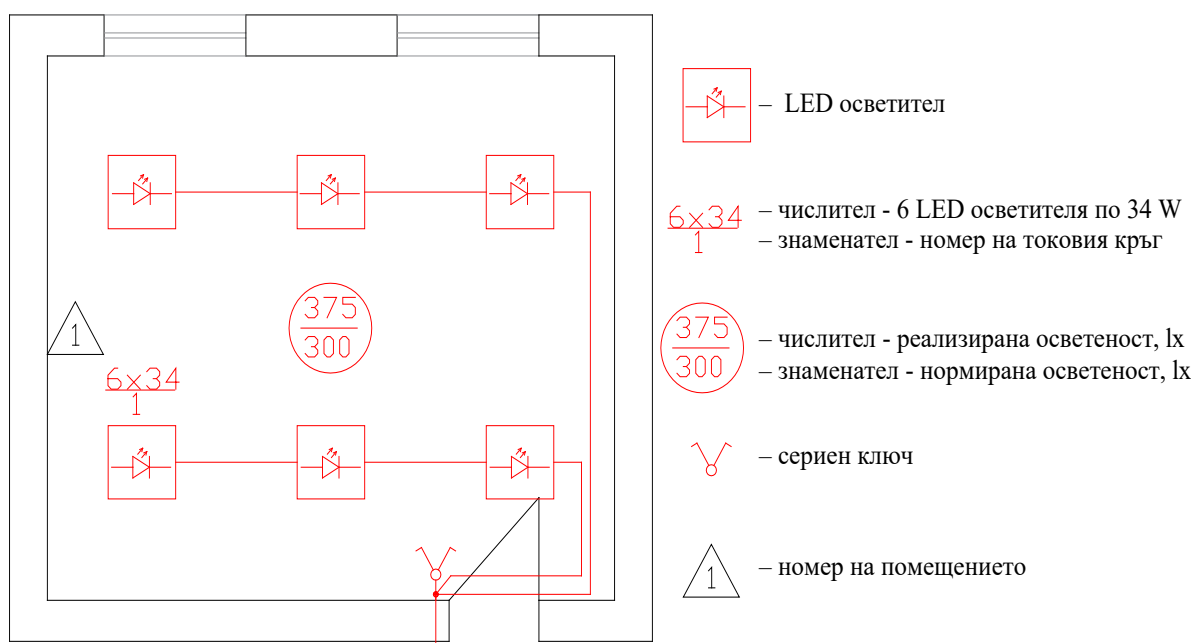
## 3.2. Определяне на броя, местоположението и мощността на осветителите, ключовете за осветление и контактите в помещенията

Съществен момент в проектирането на осветителна и силова инсталация в сгради е подходящото определяне на броя, местоположението и мощността на излазите за осветители и контакти.

### 3.2.1. Осветителна инсталация

За осветителната инсталация броят, местоположението, начина на групиране по реда на включване и изключване, мощността и типът на осветителите и светлинните източници в тях се определят от извършените за всяко помещение автоматизирани светлотехнически изчисления със специализиран софтуер, като се спазват изискванията на Наредба 3 и БДС EN 12464-1:2021 [1,13]. Броят на осветителите зависи от нормативните изисквания в зависимост от функционалното предназначение на помещението и площта на работното пространство, вида на светлоразпределението и светлоотдаването на осветителите. Местоположението на осветителите се определя от геометричната конфигурация на помещението и работното пространство и от системата на осветление. В случая се приема, че работното пространство съвпада с хоризонталната площ в помещението, тъй като не са указани конкретни работни зони.

След приключване на светлотехническите изчисления, върху чертежа с хоризонтален разрез (изглед отгоре) на помещението, с условни знаци, съгласно прил. 3, се нанасят осветителите, ключовете, свързващите ги линии (токов кръг) и техните пояснителни данни – фиг. 3.1.



Фиг. 3.1. Графично представяне на план с осветители в помещение



Електрическите ключове за осветление се разполагат на стената откъм дръжката на вратата на височина до 1 m от пода. В помещенията за пребиваване на деца в детски заведения ключовете се разполагат на височина 1,50 m от пода [13]. Ключовете за осветление в помещения, предназначени за пребиваване на голям брой хора – магазини, столови, ресторанти, приемни холове на хотели и др., се разполагат на места, достъпни само за обслужващия персонал. Ключовете за осветление на тавански помещения, чиито конструктивни елементи са от горими материали (покриви, ферми, греди, подпори), се разполагат извън помещенията. В зависимост от броя на осветителите и тяхното групиране и от площта (дължината) на помещението, могат да се използват обикновени, серийни и девиаторни ключове:

- обикновеният ключ се използва за управление (включване и изключване) на осветлението, когато в помещението има един осветител или една група от последователно свързани спрямо ключа осветители;
- серийният ключ се използва за управление на две или повече групи осветители (фиг. 3.1), като една група може да съдържа и един осветител;
- девиаторният ключ се използва за включването и изключването на осветителите от две отдалечени места, което е подходящо за помещения с голяма дължина, например в коридори.

През последните години за управление на осветителните уредби широко се използват импулсни релета, управлявани от бутони. Монтират се на шина в КРТ, заедно със защитната апаратура. Този вид изпълнение е с предимство пред класическата схема с електрически ключове, тъй като в помещенията остават само импулсни бутони, които са по-надеждни. Импулсното реле може да се управлява от множество бутони в една електрическа линия, при което в сравнение с девиаторната схема се спестяват проводници [20].

### **3.2.2. Силова инсталация с контактни излази**

Условно контактните излази в помещенията се разделят на обикновени и усиленни. Към обикновените контактни излази не се предвижда включване на конкретни електрически консуматори и затова се използват фиктивни единични мощности 150 W и 250 W. Към усилените контакти се използват фиктивни единични мощности 500 W и повече [10,15].

Местоположението на контактните излази се определя от вида на електрообзавеждането и трябва да бъдат териториално равномерно разпределени в помещението, особено когато разпределението на обзавеждането не е известно предварително. Контактните излази не трябва да се закриват от обекти на обзавеждането с големи размери, когато са точно фиксирани.

Височината на монтиране на контактните излази в закрити инсталационни канали се определя от проектанта, но трябва да бъде в интервала  $(0,3 \div 1,5)$  m от пода [10,13,15].

В жилищни помещения броят на обикновените контакти трябва да бъде както следва:

- в стаи – най-малко един контакт на всеки 4 m<sup>2</sup> подова площ;
- в кухни – най-малко един контакт на всеки 2 m<sup>2</sup> подова площ;
- в коридори на жилищни сгради – по един контакт на всеки 6 m<sup>2</sup> подова площ.

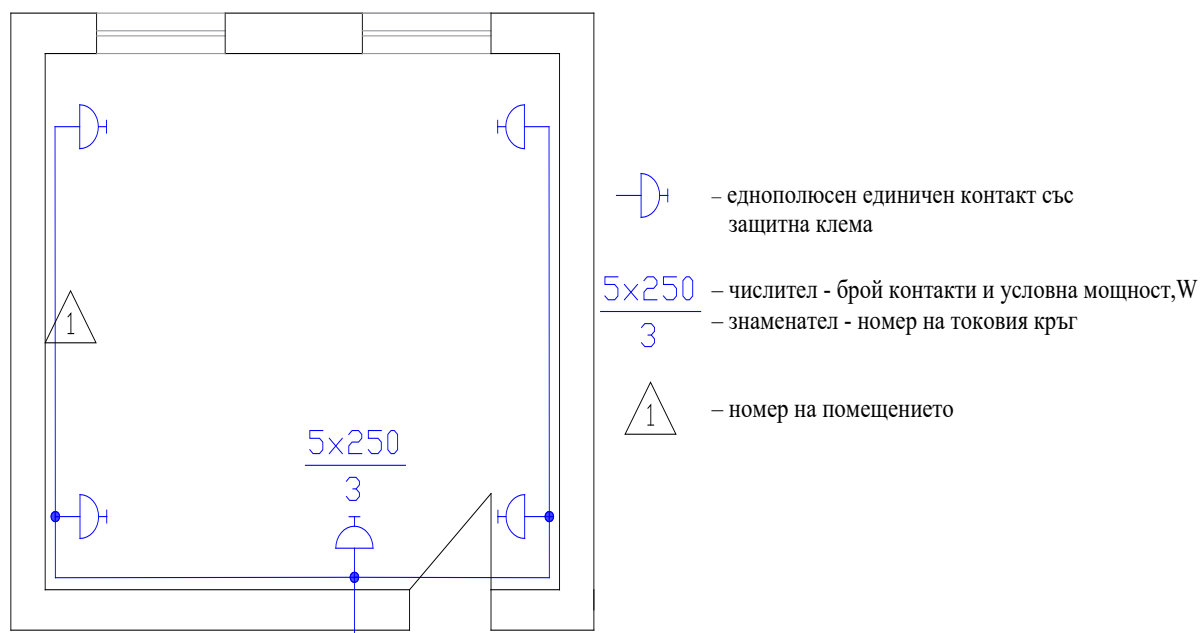
В коридори на хотели, общежития, административни сгради, здравни, учебни заведения и в заведения за обществено хранене контакти се поставят през всеки 10 m.

В обществени, търговски, комунални и промишлени сгради контакти се предвиждат съгласно проектите за вътрешно обзавеждане, трудовата дейност и технологичните процеси.

Забранява се разполагането на контактни излази в помещения с вани и душеве, умивални, перални, помещения с нагреватели към сауни с изключение на контакти специално предназначени за монтиране в такива помещения. Контактите в помещения, предназначени за пребиваване на деца, като жилища, детски заведения, школи, общежития, са със защитни капачки, които автоматично закриват гнездата на контактите след изваждане на щепселите.

Броят на усилените контакти в дадено помещение се определя в зависимост от нуждите и неговото функционално предназначение, но се препоръчва не по-малко от 1 контакт. Усилените контакти трябва да се различават по цвят и форма от обикновените.

На фиг. 3.2 е показан графичен план с местоположението на контакти и пояснителни данни към тях за едно помещение.

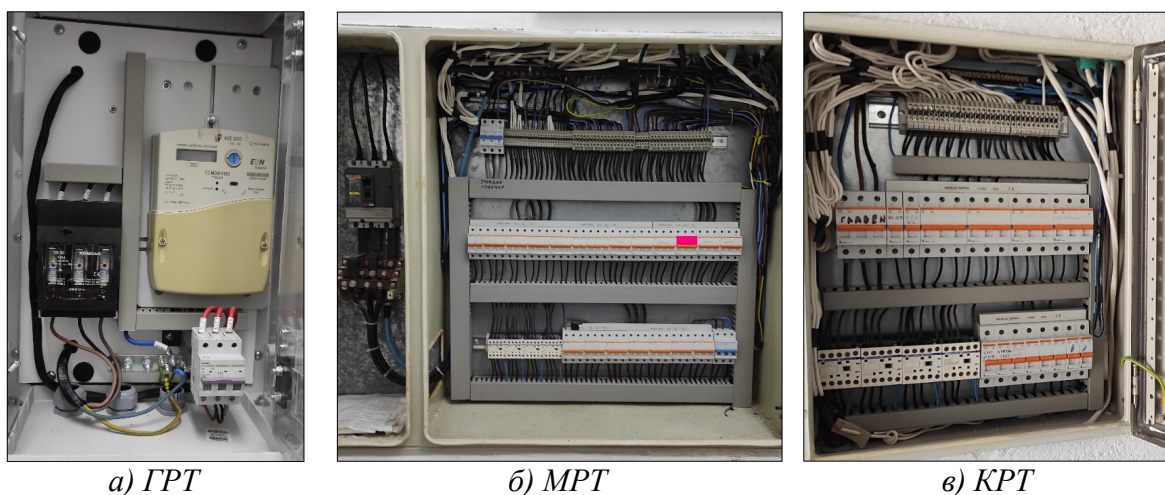


Фиг. 3.2. Графично представяне на план с контакти в помещение

### 3.3. Определяне на местоположението и броя на разпределителните табла

Разпределителните табла за ниско напрежение осъществяват връзката между устройствата за производство, пренос и трансформация на електрическа енергия от една страна, и консуматорите (електродвигатели, устройства за отопление, климатизация, информационните технологии и осветление) от друга страна. ГРТ разпределя основното електрозахранване на сградата към МРТ и КРТ и осигурява превключване, защита и измерване. В ГРТ се разполагат защитна апаратура (автоматични прекъсвачи, предпазители със стопяема вложка, дефектнотоккови защиты), тоководещи шини с въведени и изведени захранваща линия и токови кръгове, и измервателни устройства (електромери, сензори за мониторинг и управление на електроенергията) [18].

Примерен вид на трите вида разпределителни табла – ГРТ, КРТ и МРТ, разположени в учебна сграда, са показани на фиг. 3.3.



Фиг. 3.3. Външен вид на разпределителни табла

Местоположението на разпределителните табла се определят в съответствие с изискванията и препоръките на Наредба 3 [13]:

- разпределителните табла се монтират в помещения, достъпни само за обслужващ квалифициран персонал; помещенията с разпределителни табла трябва да са лесно достъпни за обслужващия персонал по всяко време на денонощието от публично достъпна зона, без да се налага преминаване през други помещения на сградата;

- помещенията с разпределителни табла в зони с високи подпочвени води се разполагат над възможното ниво на тези води; допуска се ГРТ да се разполагат в отделни помещения в използвани сухи сутерени, ако помещенията са достъпни за обслужващия персонал и са отделени от останалите помещения с прегради с гранична пожароустойчивост най-малко 45 min;

- в сауни, перални, санитарни възли, помещения с вани и душеве не се разполагат разпределителни табла;

- допуска се за жилищни сгради с ниско и средно застрояване и всички строежи от V и VI категория по чл. 13 от Закона за устройство на територията (ЗУТ) разполагането на ГРТ в несамостоятелни помещения на табла, изпълнени със степен на защита, не по-ниска от IP 31, като номиналният ток на входа на ГРТ не превишава 250 A;

- етажните разпределителни табла се разполагат на разстояние не по-голямо от 3 m от електрозахранващата магистрала;

- разстоянието между ГРТ и топлопроводи, водопроводи, канализация, отточни води, газопроводи и разходомери за газ трябва да бъде най-малко 1 m;

- помещенията за разпределителни табла не се разполагат под бани, санитарни възли, умивални, кухни (без тези в жилищата) и др., свързани с мокри технологични процеси, с изключение на случаите, когато са взети специални мерки за хидроизолиране;

- не се допуска през помещения на разпределителни табла да преминават газопроводи и проводни с горящи течности, канализация и отточни води;

- допуска се през помещенията на разпределителни табла да преминават тръбопроводи за вода, отопление, вентилация без наличие на отклонения в тези помещения (с изключение на отклонението за отопление на самото помещение), арматура, люкове и др.;

- вратите на помещенията на разпределителните табла да се отварят навън;

- помещенията за ГРТ се осигуряват с естествена вентилация; температурата в тези помещения се поддържа не по-ниска от +5 °C;

- вътрешната комутация на разпределителните табла се изпълнява с медни проводници.

Освен горепосочените изисквания, към разпределителните табла трябва да се спазват и следните препоръки [10]:

- да се разполагат по възможност в центъра на електрическия товар, а когато е невъзможно, да се изместват по посока на източника на електрозахранване (захранващата линия) към входа/изхода на сградата или етажа;

- най-малката светла широчина на коридорите за обслужване на разпределителни табла е както следва: пред табла при едностранно обслужване – 1,2 m; зад табла при двустранно обслужване – 0,8 m; между табла при двустранно разположение – 1,5 m; светлата височина на коридорите за обслужване на ГРТ е най-малко 2,0 m;

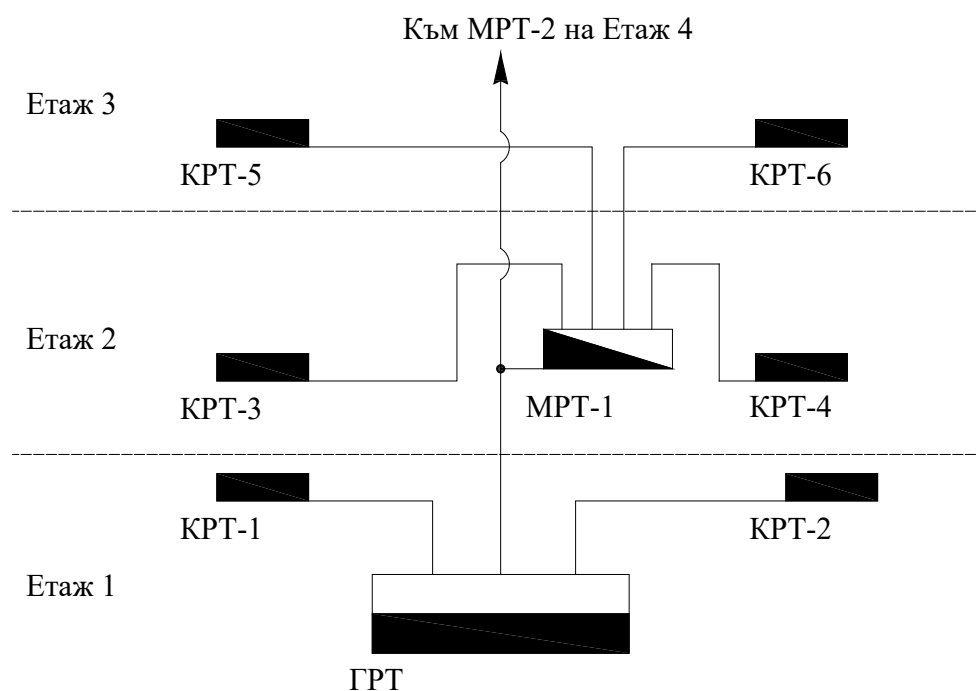
- да има възможност за удобно въвеждане и извеждане от таблото на токовете кръгове;

- по възможност до разпределителните табла да достига естествена светлина.

За КРТ могат да се отбележат следните препоръки [10]:

- да се разполагат близо до по-мощните консуматори;
- да се разполагат в достъпни, но не представителни помещения;
- максималната дължина от КРТ до най-отдалечения излаз на еднофазните линии с напрежение 230 V да бъде до 35 m; на трифазни линии с напрежение 400 V – до 80 m; на двуфазни линии (400 V) – до 50 m;
- общият брой на изходящите токови кръгове от КРТ да бъде до 15 при еднофазно захранване, до 20 при двуфазно и до 30 при трифазно;
- за всеки етаж на обществена или производствена сграда трябва да има едно или повече КРТ.

Схемите на електрозахранване на разпределителните табла се разделят на радиални, магистрални и смесени (радиално-магистрални). Примерна магистрална схема на захранване на МРТ, разположени през етаж, е показана на фиг. 3.4 [10].



Фиг. 3.4. Магистрална схема на захранване на МРТ, разположени през етаж

Изборът на електрозахранваща схема, броя и вида на разпределителните табла (ГРТ, МРТ и КРТ) зависи от броя, териториалното разпределение, мощността и вида на консуматорите, както и от категорията от гледна точка на осигуреност на електроснабдяването на потребителите на електрическа енергия и подробно се разглеждат в [19].

В обществените сгради в ГРТ в точката на присъединяване се разполагат електромерите, включително и електромерите за общи нужди (стълбишно и дворно осветление, абонатна станция, асансьори и др.) [13].

Съгласно Наредба 6, когато електрическата енергия се доставя на клиента от съоръжения на оператора на разпределителната мрежа на ниво

ниско напрежение, границата на собственост е изходящите клеми на електромерите, наричани средствата за търговско измерване, или изходящите клеми на разположените непосредствено след тях автоматични прекъсвачи или предпазители [14]:

- електромерите, управляващите тарифите и други спомагателни устройства се монтират в самостоятелни табла или шкафове, наричани електромерни табла, от и за сметка на оператора на разпределителната мрежа, който е собственик на електромерните табла;

- електромерните табла се монтират до или на границата на имота на клиента на място, определено от оператора на разпределителната мрежа;

- операторът на разпределителната мрежа може да монтира електромерните табла и захранващите им електропроводни линии в жилищни сгради, етажна собственост, на определено от него място в общите части на сградата;

- операторът на разпределителната мрежа може да монтира електромерни табла и захранващите им електропроводни линии на фасадите на сградите на клиентите.

### **3.4. Групиране на осветителни и контактни излази по токови кръгове**

Електрическата връзка между разпределителните табла и потребителите (излазите за осветители и контакти и изводите за по-мощни консуматори) се осъществява посредством токови кръгове.

В сградите като токови кръгове се използват кабели и проводници с медни жила. Еднофазните токови кръгове от разпределителните табла до осветителите за общо осветление, контактните излази, както и изводите за стационарните потребители, се изпълняват трипроводни (фазов - L, неутрален - N, и защитен PE проводник). Не се допуска обединяването на неутрални и защитни проводници на различни токови кръгове. Не се допуска в разпределителното табло неутралният и защитният проводник да се свързват под общ контакт. Допуска се в обосновани случаи неутрален проводник от мед със сечение  $2,5 \text{ mm}^2$  и по-голямо да се използва и като защитен (PEN), ако от таблото с повторно заземяване до най-отдалечения потребител има не повече от пет последователни електрически свързвания.

Групирането на излазите за осветление, обикновени, усиленни контакти и по-мощни консуматори на електрическа енергия се извършва съгласно изискванията и препоръките на Наредба 3 [10,13,15].

Излазите за осветление и излазите за контакти се свързват по отделно към разпределителното табло чрез токови кръгове по магистрална схема с едностранно електрозахранване [13]. Инсталациите на отделно обособени потребители (абонати), разположени в една сграда, се присъединяват

чрез отклонение от общата захранваща магистрална линия или се захранят от отделни токови кръгове от ГРТ.

Излазите за осветление се групират към токов кръг, като се спазват следните изисквания [10,13]:

- към токовия кръг за осветление да не се свързват контакти и мощни консуматори;
- токовият кръг да обхваща излази за осветление от съседни помещения, разположени по продължение на магистралната линия;
- токовият кръг с осветителни излази може да бъде еднофазен, двуфазен или трифазен;
- токовите кръгове за осветление се оразмеряват и защитават с автоматични прекъсвачи или предпазители за работен ток  $I_m$ , който не превишава:

- за производствени и обществени сгради –  $I_m \leq 25 \text{ A}$ ;
- за жилищни и други сгради, ако поддържането на осветителната уредба не се извършва от специалист –  $I_m \leq 16 \text{ A}$ ;
- за осветителни уредби с разрядни лампи с единична мощност 125 W и по-голяма или нажежаеми лампи 500 W и повече –  $I_m \leq 63 \text{ A}$ ; допускат се отклонения от линии на токови кръгове с дължина до 3 m, а при полагане в стоманена тръба за всякаква дължина да не се защитават независимо от сечението на проводника;
- броят на излазите за осветление към един токов кръг да не е повече от 20 на фаза, като при използване на полилеи и осветители с повече луминесцентни лампи, общият допустим брой лампи на фаза е 50;
- в производствени и обществени сгради осветителите за работно осветление и осветителите за аварийно осветление се захранват от независими източници и на отделни токови кръгове;
- осветителите на евакуационно осветление в производствени сгради само с наличие на естествено осветление и в обществени и жилищни сгради се захранват от мрежа, отделена от тази на работното осветление;
- допуска се съвместно полагане на проводници за работно, аварийно и евакуационно осветление при условие, че имат изолация за напрежение най-малко 660 V и се спазват определени изисквания, посочени в [НЗ];
- в жилищни сгради осветителите в стълбищните клетки, етажните коридори и други общи части извън жилищата се захранват от самостоятелен токов кръг на ГРТ или от отделно табло, захранвано от линия на ГРТ.

Колкото по-голям е броят на излазите в един токов кръг, толкова откриването на индивидуални повреди в него става по-трудно [10].

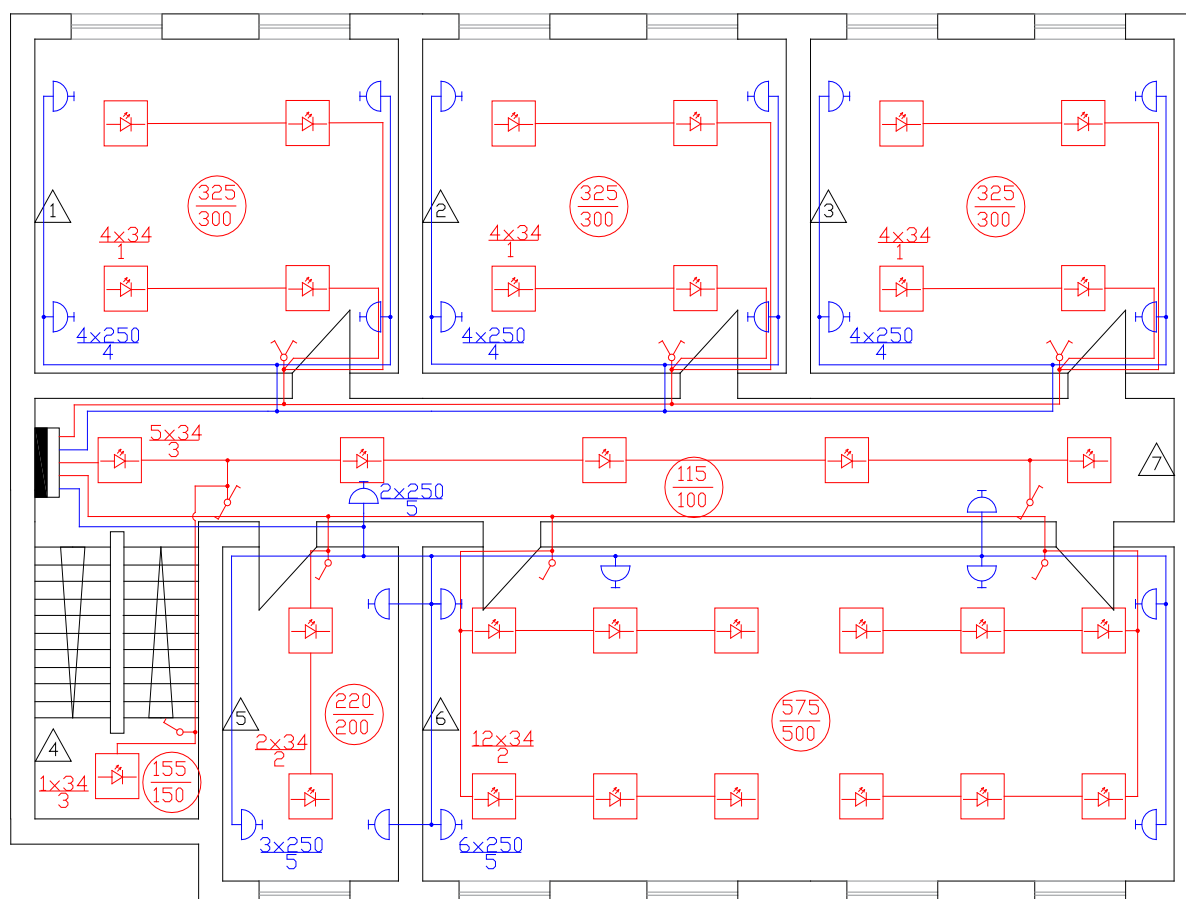
Препоръчва се токовите кръгове за контакти да захранват до 10 броя обикновени контакти и извеждане до 2 излаза за местно осветление, като общата инсталирана мощност е не повече от 2 500 W, а работният ток на токовия кръг е  $I_m \leq 16 \text{ A}$ .

От токови кръгове за усиленни контакти могат да бъдат захранени до 3 излаза с обща инсталирана мощност не повече от 4 400 W.

Групирането на осветителните излази за общо работно осветление по токови кръгове се извършва за цели помещения, като в тях не се допуска част от осветителните излази да се захранват от други токови кръгове. В помещения с големи площи и с голям брой осветителни излази (например производствени халета) е възможно да има два или повече токови кръга, които захранват само техните излази.

Групирането на обикновените контактни излази по токови кръгове се извършва за цели помещения, като в тях не се допуска част от контактните излази да се захранват от други токови кръгове, освен ако няма излази за усиленни контакти. В помещения с големи площи и с голям брой контактни излази (например производствени халета) е възможно да има два или повече токови кръга, които захранват само техните излази.

Примерен план на електрическа инсталация за общо равномерно работно осветление и обикновени контакти на етаж от учебна сграда с електрозахранване от КРТ е показан на фиг. 3.5.



Фиг. 3.5. Примерен план на електрическа инсталация за осветление и контакти

Електрическите инсталации в помещенията се изпълняват в скрит или открит монтаж (полагане) с възможност за подмяна. След групиране



на осветителните и контактни излази по токови кръгове се избират трасетата на електрическите линии. Критерий за избор на трасе е най-малкото разстояние от разпределителното табло до съответния излаз [10]. Препоръчва се токовете кръгове да преминават в по-голямата си част по стените на коридорите и антретата. Проводниците на различни токови кръгове могат да преминават в общо трасе, но трябва да преминават през различни разклонителни кутии.

Токовете кръгове, захранващи хладилни уредби на предприятия за търговия и обществено хранене, се изпълняват директно от собствено табло (ГРТ). Електрическите уредби, като асансьори, обща вентилация, абонатни станции и др., които не са свързани с жилища, се захранват от отделни токови кръгове от ГРТ [13].

Допуска се през сутерени и технически етажи на сградите полагане на кабели с напрежение до 1000 V, захранващи електропотребители в други секции (входове) на сградата, ако кабелите не са транзитни (не се допускат директно преминаващи кабели).

### **3.5. Определяне на електрическите товари на токовете кръгове за осветление и контакти, и на разпределителните табла**

Препоръчва се определянето на максималните продължителни товари да започне първо от токовете кръгове и да завърши с разпределителните табла [10].

При оразмеряване на елементите на електрическата инсталация се използва максималния продължителен товар [19]. Максималният продължителен товар е постоянен по стойност във времето фиктивен товар, който е еквивалентен на променящия се действителен товар по най-тежкото топлинно действие, при което се достига максимална температура на нагряване или топлинно износване на изолацията; максималният товар е възможният най-голям среден товар на потребител или група потребители за интервали от 15, 30, 45 или 60 min. Максималният продължителен товар може да бъде активен  $P_m$  [W], реактивен  $Q_m$  [VAr] и пълн  $S_m$  [VA].

Максималните продължителни активни товари (мощности) на токовете кръгове се приемат за равни на инсталираните мощности на свързаните към съответните токови кръгове с излази за осветление ( $P_m = P_{ио}$ ) и с излази за контакти ( $P_m = P_{ик}$ ) [10,15].

Инсталираната активна мощност на токов кръг за осветление се определя с израза:

$$P_{ио} = \sum_{i=1}^{n_o} k_{ПРА} n p_{ли}, \quad (3.1)$$

където:  $p_{ли}$  – активна мощност на една лампа в осветителя във всеки един излаз на токовия кръг, [W];  $k_{ПРА}$  – коефициент, отчитащ загубите в пусковата регулираща апаратура на осветителите (табл. 3.1);  $n_o$  – брой на осветителите, свързани към токовия кръг;  $n$  – брой на лампите в един осветител.

Таблица 3.1. Стойности на  $k_{ПРА}$  в зависимост от вида на пусковата регулираща апаратура, типа и мощността на лампите

| Вид на ПРА      | Вид и мощност [W] на лампите в осветителя |        |            |         |            |       |
|-----------------|-------------------------------------------|--------|------------|---------|------------|-------|
|                 | LED                                       | ЛЛ     |            |         | НЛБН и МХЛ |       |
|                 |                                           | 9 ÷ 21 | 24 ÷ 32    | 36 ÷ 65 | 50 ÷ 100   | ≥ 250 |
| Електромагнитна | -                                         | 1,4    | 1,25 ÷ 1,3 | 1,2     | 1,2        | 1,1   |
| Електронна      | 1,05 ÷ 1,15                               | 1,07   | 1,05       | 1,05    | -          | -     |

Стойността на  $k_{ПРА}$  зависи от типа и мощността на лампата и от вида на пусковата регулираща апаратура (ПРА). Съвременните ПРА са електронни и се характеризират с по-малко загуби на мощност в сравнение с конвенционалните, които са електромагнитни. В табл. 3.1 са представени примерни стойности на  $k_{ПРА}$  в зависимост от вида на ПРА, мощността и вида на лампите – светодиодни (LED), люминесцентни (ЛЛ), натриеви с високо налягане (НЛБН) и металхалогенни (МХЛ) [10].

Мощността на LED осветителите, обявена от производителите, в повечето случаи включва и загубите в ПРА. При проектиране трябва да се има в предвид, че в някои LED осветители, в зависимост от производителя, е възможно да има несъответствие между обявената в техническата документация мощност и действителната мощност на осветителя. Общата активна мощност на един LED осветител включва сумарната активна мощност на LED матриците  $p_{си}$  и загубата на мощност в ПРА.

В случай на несъответствие между обявената и действителната мощност на LED осветителя, към обявената сумарна мощност на източниците (матриците)  $p_{си}$  се включва и загубата на мощност в ПРА, оценявана с  $k_{ПРА}$ . При съвременното LED осветление често е известна само сумарната мощност на LED източниците  $p_{си}$ , без загубите в ПРА, като остават неизвестни броят  $n$  и единичната мощност  $p_{ли}$  на LED източниците в осветителя. Като се има предвид, че сумарната мощност на LED източниците в осветителя е  $p_{си} = np_{ли}$ , за изчисляване на инсталираната активна мощност на токов кръг за осветление в тези случаи се използва изразът:

$$P_{но} = \sum_{i=1}^{n_o} k_{ПРА} p_{си}. \quad (3.2)$$

Когато обявената мощност на LED осветителя включва сумарната мощност на LED източниците  $p_{си}$  и загубата на мощност в ПРА, оценявана с  $k_{ПРА}$ , израз (3.2) се преобразува във вида:

$$P_{\text{ио}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{о}}} k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{о}}} p_{\text{ио}}, \quad (3.3)$$

където  $p_{\text{ио}}$  – активна мощност на един осветител, [W].

Ако осветителите към токовия кръг са с еднакъв модел, тип и мощност, то  $P_{\text{ио}} = n_{\text{о}} p_{\text{он}}$ .

Инсталираната активна мощност на токов кръг с контактни излази се определя с израза:

$$P_{\text{ик}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{к}}} p_{\text{ки}}, \quad (3.4)$$

където:  $p_{\text{ки}}$  – условна активна мощност на контактния излаз, [W];  $n_{\text{к}}$  – брой на контактните излази на един токов кръг. За обикновени контактни излази  $p_{\text{ки}} = 150 \text{ W}$  или  $p_{\text{ки}} = 250 \text{ W}$ ; за усилен контактни излази  $p_{\text{ки}} \geq 500 \text{ W}$  [15].

При проектиране на токовете кръгове трябва да се предвиди възможност за включване на единични консуматори към токови изводи, а не към контактни излази (например бойлери, климатични системи и пр.) [10]. Мощността на един токов извод  $p_{\text{ти}}$  е равна на номиналната активна мощност на консуматора, който се свързва към него, т.е.  $p_{\text{ти}} = p_{\text{н}}$ . Сумарната инсталирана активна мощност на всички токови изводи на токовия кръг се определя с израза:

$$P_{\text{ти}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{и}}} p_{\text{н}}, \quad (3.5)$$

където:  $p_{\text{н}}$  – номинална активна мощност на консуматора, [W];  $n_{\text{и}}$  – брой на токовете изводи на един токов кръг (обикновено  $n_{\text{и}} = 1 \div 2$ ).

Допуска се за предварителни фази на проектиране и за контролни изчисления максималният продължителен активен товар  $P_{\text{м}}$  на група потребители да се определя като сума от произведенията на коефициента на търсене и номиналната активна мощност на потребителите в групата [13].

Максималната продължителна активна мощност на крайни, междинни и главни разпределителни табла (КРТ, МРТ и ГРТ) се определя със следния израз [10,15]:

$$P_{\text{м,рт}} = K_{\text{то}} \sum_{i=1}^{n_{\text{ко}}} P_{\text{ио}} + K_{\text{тк}} \sum_{i=1}^{n_{\text{кк}}} P_{\text{ик}} + K_{\text{ти}} \sum_{i=1}^{n_{\text{ки}}} P_{\text{ии}}, \quad (3.6)$$

където:  $K_{\text{то}}$  – коефициент на търсене за табла, захранващи излази за осветление;  $K_{\text{тк}}$  – коефициент на търсене за табла, захранващи излази за контакти;  $K_{\text{ти}}$  – коефициент на търсене за табла, захранващи токови изводи;  $n_{\text{ко}}$  –

брой на токовете кръгове за осветление;  $n_{\text{кк}}$  – брой на токовете кръгове за обикновени и усиленни контакти;  $n_{\text{ки}}$  – брой на токовете изводи.

Таблица 3.2. Стойности на коефициента на търсене  $K_T$  за разпределителни табла, захранващи осветителни и контактни излази

| Предназначение на сградите и дейности    | $K_{\text{то}}$ при инсталирана мощност за осветление, [kW] |      |       |       |       |        | $K_{\text{тк}}$ при брой контактни излази |       |        |         |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|-------------------------------------------|-------|--------|---------|
|                                          | до 5                                                        | 6÷10 | 11÷15 | 16÷25 | 25÷50 | 51÷100 | 11÷30                                     | 31÷60 | 61÷100 | 101÷200 |
| Проектантска, научна и търговска дейност | 1                                                           | 1    | 0,95  | 0,90  | 0,85  | 0,80   | 0,30                                      | 0,30  | 0,30   | 0,30    |
| Административни и учебни сгради          | 1                                                           | 0,95 | 0,90  | 0,85  | 0,80  | 0,75   | 0,30                                      | 0,30  | 0,30   | 0,30    |
| Обществено хранене и спорт               | 1                                                           | 0,90 | 0,85  | 0,80  | 0,75  | 0,70   | 0,50                                      | 0,50  | 0,50   | 0,50    |
| Общежития                                | 1                                                           | 0,90 | 0,85  | 0,80  | 0,70  | 0,65   | 0,90                                      | 0,80  | 0,70   | 0,70    |
| Хотели, почивни бази                     | 1                                                           | 0,80 | 0,70  | 0,80  | 0,50  | 0,45   | 0,90                                      | 0,75  | 0,65   | 0,60    |

Таблица 3.3. Коефициент на търсене  $K_{\text{ти}}$  за разпределителни табла, захранващи токови изводи

|                                                 |   |      |      |      |       |      |
|-------------------------------------------------|---|------|------|------|-------|------|
| Брой изводи на единични консуматори             | 1 | 2÷3  | 4÷6  | 7÷12 | 13÷40 | > 40 |
| $K_{\text{ти}}$ за табла с единични консуматори | 1 | 0,90 | 0,70 | 0,45 | 0,30  | 0,20 |

Коефициентът на търсене  $K_T$  представлява отношението на максималния продължителен товар към номиналната (инсталирана) мощност. Стойностите на  $K_T$  за разпределителни табла, захранващи осветителни и контактни излази и токови изводи са представени съответно в табл. 3.2 и 3.3 [10,15].

Максималният продължителен активен товар на обществени сгради се определя чрез специфичния максимален активен товар. Препоръчителни стойности за специфичния максимален активен товар за различен вид обществени сгради са посочени в табл. 3.4 [13].

Максималните продължителни активни товари в главните разпределителни табла за жилищни сгради се предписват в зависимост от степента на използване на електрическата енергия за отопление и нагряване на вода за битови нужди, като жилището се класифицира към една от следните групи [13]:

- първа група – жилища, отоплявани основно с електрическа енергия – от 8 kW до 10 kW;
- втора група – жилища, отоплявани основно с друг вид енергия (топлоснабдяване, газ, твърдо или течено гориво) – от 5 kW до 6 kW;
- трета група – жилища, в които системата за отопление е комбинирана между първа и втора група жилища – от 6 kW до 8 kW.

Посочените по-малки стойности на максималния продължителен товар се отнасят за едностайни и двустайни жилища с разгъната застроена площ до 70 m<sup>2</sup>, а по-големите стойности – за жилища с разгъната застроена площ от 70 m<sup>2</sup> до 120 m<sup>2</sup>. При определяне на максималния товар за конк-

ретно жилище могат да се отчитат и допълнителни фактори, като брой жители, степен на комфорт, инсталирана мощност, работен режим на електропотребителите и др. [13].

Таблица 3.4. Специфичен максимални активен товар за обществени сгради

| Вид на обществената сграда   | Стойност и единица мярка                      |
|------------------------------|-----------------------------------------------|
| Детски ясли и градини        | (0,2 ÷ 0,4) kW/дете                           |
| Училища                      | (0,06 ÷ 0,2) kW/ученик                        |
| Клиники                      | (2,0 ÷ 4,0) kW/кабинет                        |
| Болнични заведения           | (1,0 ÷ 2,0) kW/легло                          |
| Киносалони                   | (0,1 ÷ 0,2) kW/място                          |
| Театри и концертни зали      | (0,3 ÷ 0,6) kW/място                          |
| Административни сгради       | (0,5 ÷ 1,5) kW/работно място                  |
| Хотели                       | (0,5 ÷ 1,5) kW/легло                          |
| Ресторанти                   | (0,6 ÷ 1,0) kW/място                          |
| Сладкарници и барове         | (0,3 ÷ 0,5) kW/място                          |
| Магазини за хранителни стоки | (0,2 ÷ 0,4) kW/m <sup>2</sup> търговска площ  |
| Магазини за промишлени стоки | (0,1 ÷ 0,3) kW/ m <sup>2</sup> търговска площ |

Максималните продължителни активни мощности към ГРТ и МРТ за жилищни сгради се определят с изрази:

$$P_{\text{м,рт,ж}} = K_{\text{е}} n_{\text{ж}} P_{\text{м1}}, \quad (3.7)$$

където:  $n_{\text{ж}}$  – брой на жилищата (апартаментите), електрозахранени от таблото;  $P_{\text{м1}}$  – максимална продължителна активна мощност на едно жилище;  $K_{\text{е}}$  – коефициент на едновременност (табл. 3.5).

Коефициентът на едновременност  $K_{\text{е}}$  характеризира разместването на максималните продължителни силови товари във времето, т.е.  $K_{\text{е}}$  отчита, че при експлоатацията на електрическата инсталация няма да бъдат едновременно включени всички максимални продължителни силови товари към ГРТ и МРТ. С въвеждане на коефициента на едновременност се избягва преоразмеряване на електрическата инсталация.

Коефициентът на едновременност  $K_{\text{е}}$  за захранващи изходящи линии ниско напрежение (до 1000 V) от трансформаторния пост в електрическата мрежа в жилищни райони е в границите от 0,90 до 0,98. За трансформаторни постове към мрежа за средно напрежение (10 и 20 kV) –  $K_{\text{е}}$  е в интервала от 0,9 до 0,95. По-голямата стойност на  $K_{\text{е}}$  се приема за потребители с еднороден режим на натоварване и възлова точка, която е по-близо до захранващия източник [13].

Коефициентът на едновременност  $K_{\text{е}}$  за главни разпределителни табла в жилищни сгради зависи от групата, към която са класифицирани жилищата – табл. 3.5 [13,19].

Таблица 3.5. Стойности на коефициента на едновременност  $K_e$  в зависимост от броя на жилищата и начина на отопление

| Брой жилища   | Първа група:<br>$P_M = (8 \div 10) \text{ kW}$ –<br>отопление, основно с<br>електрическа енергия | Втора група:<br>$P_M = (5 \div 6) \text{ kW}$ –<br>отопление, основно с<br>друг вид енергия | Трета група:<br>$P_M = (6 \div 8) \text{ kW}$ –<br>комбинирано<br>отопление |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| от 3 до 5     | $0,75 \div 0,66$                                                                                 | $0,65 \div 0,54$                                                                            | $0,68 \div 0,58$                                                            |
| от 5 до 10    | $0,66 \div 0,56$                                                                                 | $0,54 \div 0,44$                                                                            | $0,58 \div 0,48$                                                            |
| от 10 до 20   | $0,56 \div 0,48$                                                                                 | $0,44 \div 0,36$                                                                            | $0,48 \div 0,40$                                                            |
| от 20 до 50   | $0,48 \div 0,42$                                                                                 | $0,36 \div 0,29$                                                                            | $0,40 \div 0,34$                                                            |
| от 50 до 100  | $0,42 \div 0,39$                                                                                 | $0,29 \div 0,26$                                                                            | $0,34 \div 0,31$                                                            |
| от 100 до 200 | $0,39 \div 0,37$                                                                                 | $0,26 \div 0,24$                                                                            | $0,31 \div 0,29$                                                            |
| от 200 до 500 | $0,37 \div 0,36$                                                                                 | $0,24 \div 0,23$                                                                            | $0,29 \div 0,28$                                                            |
| $> 500$       | 0,35                                                                                             | 0,22                                                                                        | 0,27                                                                        |

Коефициентът на едновременност на максималните продължителни товари в промишлени обекти е в границите от 0,85 до 0,95, като по-голямата стойност на  $K_e$  се приема за промишлени потребители с еднороден режим на натоварване [19].

При оразмеряване на осветителната инсталация се приема коефициент на едновременност единица ( $K_e = 1$ ), тъй като през тъмната част от де-нонощието обикновено се включва целия осветителен товар [13].

За етажните разпределителни табла на обществени сгради обикновено се приема  $K_e = 1$ . Инсталираните активни мощности на токовете кръгове и максималните продължителни активни мощности на разпределителните табла в тези сгради се определят с изрази (3.1 ÷ 3.6).

Електрическите товари от токовете кръгове трябва да се разпределят равномерно между фазите на двуфазно и трифазно електрозахранените разпределителни табла [10,15,19]. При разлика в натоварването между фазите на трифазна линия (трифазен токов кръг), по-голяма от 15%

$\left( \frac{P_{\phi, \max} - P_{\phi, \min}}{P_{\phi, \min}} 100 \right)$ , общият товар  $P_{\text{общ}}$  на захранващата линия се оразмеря-

ва по утроената мощност на най-натоварената фаза  $P_{\phi, \max}$ , т.е.:

$$P_{\text{общ}} = 3P_{\phi, \max}, \quad (3.8)$$

като се допуска неравномерност в натоварването, не повече от 15%.

Броят на фазите на захранващите линии за разпределителни табла, които захранват еднофазни консуматори, се определят от мощността [10]:

- линиите да бъдат еднофазни, когато изчислителната мощност на таблото е  $\leq 10 \text{ kW}$ ;

- линиите да бъдат двуфазни, когато изчислителната мощност на таблото е в интервала от 10 до 20 kW;

- линиите да бъдат трифазни, когато изчислителната мощност на таблото е  $> 20 \text{ kW}$ .

**Пример 3.1.** Да се определят инсталираните активни мощности на токовете кръгове с осветителни и контактни излази –  $P_{\text{ио}}$  и  $P_{\text{ик}}$ , както и максималната продължителна активна мощност  $P_{\text{м,крт}}$  на КРТ за етаж от учебна сграда, като се използват данните от фиг. 3.5 и табл. 3.2 (за  $K_{\text{т}}$ ).

*Решение.* От данните на фиг. 3.5 се вижда, че етажът на сградата има общо пет токови кръга, от които: три токови кръга с осветителни излази за общо равномерно осветление и два токови кръга с контактни излази. Използват се еднотипни LED осветители за общо осветление в отделните помещения на етажа. Сумарната мощност на LED източниците в един осветител е  $p_{\text{си}} = 34 \text{ W}$  (броят  $n$  и единичната мощност  $p_{\text{ли}}$  на LED източниците в осветителя са неизвестни). Приемат се загуби в ПРА 10%, които трябва да се прибавят към  $p_{\text{си}}$ . Токовете кръгове за контактни излази захранват обикновени контакти с условна единична мощност  $250 \text{ W}$ .

Изчисляват се инсталираните активни мощности на токовете кръгове за осветление с помощта на израз (3.2), като към мощността на LED източниците  $p_{\text{си}}$  се прибавят и загубите на мощност в ПРА в осветителя, оценявани с  $k_{\text{ПРА}} = 1,1$ . Токов кръг № 1 захранва 12 броя LED осветители ( $n_{\text{о}} = 12$ ); инсталираната мощност е:  $P_{\text{ио,1}} = \sum_{i=1}^{12} k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = 1,1 \cdot 12 \cdot 34 = 448,8 \text{ W}$ .

Аналогично, за останалите токови кръгове за осветление се получава:

$$P_{\text{ио,2}} = \sum_{i=1}^{14} k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = 1,1 \cdot 14 \cdot 34 = 523,6 \text{ W}; P_{\text{ио,3}} = \sum_{i=1}^6 k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = 1,1 \cdot 6 \cdot 34 = 224,4 \text{ W}.$$

Изчисляват се инсталираните активни мощности на токовете кръгове с контактни излази с помощта на израз (3.4):

- токов кръг № 4 захранва 12 броя обикновени контакти ( $n_{\text{к}} = 12$ ); инсталираната мощност е:  $P_{\text{ик,4}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{к}}} p_{\text{ки}} = 12 \cdot 250 = 3000 \text{ W}$ ;

- токов кръг № 5 захранва 11 броя обикновени контакти ( $n_{\text{к}} = 11$ ); инсталираната мощност е:  $P_{\text{ик,5}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{к}}} p_{\text{ки}} = 11 \cdot 250 = 2750 \text{ W}$ .

От табл. 3.2 за коефициентите на търсене за КРТ на етажа от учебната сграда се получава: за осветителни излази  $K_{\text{то}} = 1$ ; за контактни излази  $K_{\text{тк}} = 0,3$ . Максималната продължителна активна мощност на етажното КРТ е:  $P_{\text{м,крт}} = K_{\text{то}} \sum_{i=1}^{n_{\text{ко}}} P_{\text{ио}} + K_{\text{тк}} \sum_{i=1}^{n_{\text{кк}}} P_{\text{ик}} = 1 \cdot 1196 + 0,3 \cdot 5750 = 2921 \text{ W}$ .

### 3.6. Избор на защитна апаратура на токови кръгове и разпределителни табла

Защитната апаратура трябва да осигурява защита на елементите на електрическата уредба, както и на хората [3,19].

Защитата на елементите на електрическата инсталация (кабели, проводници, комутационна апаратура) се осъществява с автоматични прекъсвачи или с предпазители със стопяема вложка:

- срещу претоварване – когато протича ток, по-голям от номиналния в изправна (не аварийала) инсталация;
- срещу токове на късо съединение, предизвикани от пълен пробив в изолацията на проводниците на различни фази или (в схеми на заземяване TN) между фазовия (L) и нулевия (или PE) проводник.

Предпазители все още се използват в съществуващите електрически инсталации за видимо прекъсване на електрическата верига, необходимо при ремонтни дейности в разпределителните табла (МРТ, КРТ и др.) [10,15]. За разлика от предпазители със стопяема вложка, които оперират еднократно и след това трябва да се заменят, автоматичните прекъсвачи, изпълняващи функцията на апарат за защита и комутация, позволяват многократно ръчно или автоматично включване и изключване на защитаваната верига. Затова автоматичните прекъсвачи са предпочитани пред предпазители [20].

Когато защитната апаратура се изпълнява с автоматични прекъсвачи, защитата от претоварване се осъществява с топлинния (термичен) изключвател (реле), а защитата от токове на късо съединение – с електромагнитния (максималнотоков) изключвател на прекъсвача.

В зависимост от пусковия ток  $I_n$  на товара автоматичните прекъсвачи се избират основно с криви на изключване тип В, С или D [4,5,17,19,27]:

- тип В са подходящи за консуматори, които имат малък пусков ток –  $I_n = (3 \div 5)I_n$  – генератори, дълги кабели и др.;
- тип С са подходящи при електрически линии, захранващи конвенционални консуматори с пусков ток  $I_n = (5 \div 10)I_n$ ;
- тип D се използват за консуматори, които имат голям пусков ток –  $I_n = (10 \div 20)I_n$  – трансформатори, електродвигатели, електронни устройства с кондензатори и др.

Захранването на осветителите е с напрежение до 400 V и се използват еднополюсни (1P), двуполусни (2P), триполюсни (3P) или четириполюсни (4P) автоматични прекъсвачи за едновременно изключване на напрежението от всички фазови проводници, влизащи в осветителя [13].

Защитата на хората срещу пробив в изолацията и токове на утечка в зависимост от използваната система на заземяване на уредбата (TN, TT или IT) се осигурява от предпазители или автоматични прекъсвачи, дефек-



тнотоккови защиты и/или постоянно наблюдаване на изолационното съпротивление на уредбата спрямо земя [13,19].

Дефектнотоковата защита (ДТЗ) е предназначена за защита от директен или индиректен контакт с проводящи части вследствие на нарушаване на изолацията или като допълнителна защита при риск от пожар, произтичащ от малки неизправности и токове на утечка (остатъчен ток), които не са установени от стандартните защиты от претоварване. Когато ДТЗ е предназначена за защита срещу поражение от електрически ток и пожар или само от пожар, изисква се прекъсването на веригите на фазовия и неутралния проводник. В зависимост от характеристиките на тока на утечка ДТЗ биват три класа [19]:

- клас АС – ДТЗ изключва синусоидален (променлив) ток на утечка в отсъствие на постояннотокова компонента;
- клас А – ДТЗ изключва синусоидален ток на утечка, съдържащ и пулсираща постояннотокова компонента (при наличие на електронна апаратура, като компютри, принтери и др.);
- клас В – ДТЗ изключва синусоидален и постоянен ток на утечка при наличие на определени пулсиращи постояннотокови компоненти (при наличие на токоизправителни вериги).

Основните изисквания и технически характеристики на защитните апарати (предпазители, автоматични прекъсвачи и дефектнотокови защиты) са регламентирани в стандарти [3,4,6] и подробно са разгледани в [19].

Местата за поставяне на защитната апаратура в електрическата мрежа са посочени в Наредба № 3 [НЗ]:

- защитната апаратура се поставя в местата на мрежата, където сечението на проводниците намалява (в посока към потребителите), т.е. в местата на присъединяване на защитаваните проводници към захранващата линия (в разпределителните табла), или в местата, където това е необходимо за осигуряване на селективност;
- забранява се поставянето на предпазители във веригите на неутрални и защитни проводници, в неутралата на трипроводни и четирипроводни вериги, в проводниците от средната точка на двупроводни вериги, където се изисква зануляване;
- при защита на мрежи с автоматични прекъсвачи, последните се поставят на всички нормално незаземените полюси или фази;
- допуска се поставянето на максималнотокови автомати в неутралните проводници само при условие, че при тяхното задействане от мрежата едновременно се изключват всички проводници, които се намират под напрежение;
- в токови кръгове, от които се захранват контактни излази, се използват ДТЗ с номинален ток на сработване, не по-голям от 30 mA;
- допуска се присъединяване към една ДТЗ на няколко токови кръга чрез отделни автоматични прекъсвачи (предпазители);

- не се изисква поставянето на ДТЗ в токови кръгове за осветители и стационарни потребители, както и в общи осветителни мрежи;
- за токови кръгове, захранващи контакти в помещения с повишена опасност и особено опасни помещения (напр. бани в жилища и към хотелски стаи), задължително се избират ДТЗ с номинален ток на сработване, не по-голям от 30 mA;
- препоръчва се използване на ДТЗ с вграден автоматичен прекъсвач, осигуряващ защита на токовете кръгове с контактни излази от претоварване и токове на късо съединение (свръхтокове);
- не се допуска използване на ДТЗ (без вграден автоматичен прекъсвач) в токови кръгове, незащитени от претоварване и токове на късо съединение с допълнителен апарат, осигуряващ такава защита;
- препоръчва се в сгради (жилища, хотели и др.) като допълнителна защита срещу пожар по електрически причини при съединение със заземени части поставяне на ДТЗ с ток на сработване до 300 mA;
- в зоната на действие на ДТЗ не се допуска връзка на неутралния проводник със заземени елементи и защитни проводници, т.е. ДТЗ не са подходящи за системи TN-C (с обединен защитен и неутрален (PEN) проводник), тъй като установяването на остатъчен ток е невъзможно.

При последователно разполагане на автоматични прекъсвачи и/или предпазители трябва да се осигурява селективност при задействането им, т.е. да се изключва само мястото с възникнало късо съединение от защитното устройство, разположено непосредствено над това място, а останалите защитни устройства не се изключват [19].

В практиката се използва следното правило за селективност – номиналните токове на изключвателите на последователно свързани защитни устройства (автоматични прекъсвачи или предпазители) да се различават най-малко с две степени [8,19].

Изборът на защитна апаратура започва от линиите на токовете кръгове и завърши с линиите, захранващи разпределителните табла [10]. Изборът на защитна апаратура на токови кръгове и разпределителните табла се извършва след определяне на максималните продължителни токове  $I_m$  на захранващите електрически линии (при определени вече максимални продължителни мощности  $P_m$ ).

Максималният продължителен ток на еднофазна линия (еднофазен токов кръг) се определя с израза:

$$I_m = \frac{P_m}{U_\phi \cos\varphi}, \quad (3.9)$$

където:  $U_\phi$  – номинална стойност на фазното напрежение ( $U_\phi = 230$  V);  $\cos\varphi$  – средна стойност на фактора на мощността: за осветителен товар се приема  $\cos\varphi = 0,9$ , т.е. с корекция на фактора на мощността на осветители с

луминесцентни и LED лампи; за силов товар –  $\cos\varphi$  зависи от характера и режима на работа на консуматорите.

Максималният продължителен ток на трифазна линия (например трифазна линия, захранваща ГРТ, МРТ и др.) се определя с израза:

$$I_M = \frac{P_M}{\sqrt{3}U_{\text{л}}\cos\varphi}, \quad (3.10)$$

където  $U_{\text{л}}$  – номинална стойност на линейното напрежение ( $U_{\text{л}} = 400 \text{ V}$ ).

Условията за избор на защитна апаратура се систематизират в методики, основаващи се на общи правила и съответстващи на актуални нормативни документи [8,13,19,23].

Апаратурата за защита от претоварване на захранващи линии, шинопроводи и токови кръгове работи коректно, ако е избрана по следното условие [17,19]:

$$I_M \leq I_n \leq I_{\text{доп}}, \quad (3.11)$$

където:  $I_M$  – максимален продължителен ток, [A];  $I_n$  – номинален ток на защитния апарат (нерегулируем), [A];  $I_{\text{доп}}$  – допустим ток на проводника или кабела, [A].

Автоматичните прекъсвачи в лят корпус – фиг. 3.6-г, които обикновено се използват в индустриалните обекти, имат регулируеми защитни изключватели, за които се въвежда величината настройка по ток на изключване от претоварване –  $I_r$ . За прекъсвачи с термо-защитен изключвател настройката по ток на изключване от претоварване се регулира в границите  $0,7I_n \leq I_r \leq I_n$ ; за прекъсвачи с електронен изключвател –  $0,4I_n \leq I_r \leq I_n$ . За прекъсвачи с нерегулируеми автоматични изключватели  $I_r = I_n$  – такива са миниатюрните прекъсвачи от модул тип – фиг. 3.6-а,б,в, които се използват предимно в жилищни и обществени сгради [4,19].



а) Миниатюрен еднополюсен



б) Миниатюрен триполюсен



в) Комбиниран с ДТЗ



г) В лят корпус и регулируема термо-магнитна защита

Фиг. 3.6. Автоматични прекъсвачи с термо-магнитен защитен блок

Таблица 3.6. Технически данни за миниатюрни автоматични прекъсвачи

| Тип на прекъсвача                                                                                                                                 | Номинален ток $I_n$ , [A]              | Ток на термичния изключвател $I_r = I_n$ , [A] | Ток на електромагнитния изключвател $I_m$ , [A] | Изключвателна възможност при късо съединение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Еднополюсни (1P) автоматични прекъсвачи; номинално напрежение 230 V/50 Hz; крива на изключване – тип C; технология на изключване – термо-магнитна |                                        |                                                |                                                 |                                              |
| Easy9/<br>EZ9F351xx<br>(фиг. 4.6-а)                                                                                                               | 6, 10, 16,<br>20, 25,32,<br>40, 50, 63 | 6, 10, 16,<br>20, 25,32,<br>40, 50, 63         | $I_m = (5 \div 10)I_n$                          | 6 kA                                         |
| Триполюсни (3P) автоматични прекъсвачи; номинално напрежение 400 V/50 Hz; крива на изключване – тип C; технология на изключване – термо-магнитна  |                                        |                                                |                                                 |                                              |
| Easy9/<br>EZ9F353xx<br>(фиг. 4.6-б)                                                                                                               | 6, 10, 16,<br>20, 25,32,<br>40, 50, 63 | 6, 10, 16,<br>20, 25,32,<br>40, 50, 63         | $I_m = (5 \div 10)I_n$                          | 6 kA                                         |

Таблица 3.7. Технически данни за миниатюрни автоматични прекъсвачи с вградена дефектнотокова защита

| Еднополюсни (1P+N) автоматични прекъсвачи с ДТЗ; номинално напрежение 230 V/50 Hz; крива на изключване – тип C; технология на изключване – термо-магнитна |                           |                                                |                                                 |                                              |                                                   |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| Тип на защитата                                                                                                                                           | Номинален ток $I_n$ , [A] | Ток на термичния изключвател $I_r = I_n$ , [A] | Ток на електромагнитния изключвател $I_m$ , [A] | Изключвателна възможност при късо съединение | Номинален ток на сработване на ДТЗ $I_{\Delta n}$ | Клас на ДТЗ |
| Easy9/<br>EZ9D356xx<br>(фиг. 4.6-в)                                                                                                                       | 16, 20, 25,<br>32, 40     | 16, 20, 25,<br>32, 40                          | $I_m = (5 \div 10) I_n$                         | 6 kA                                         | 30 mA                                             | АС          |

Таблица 3.8. Технически данни за триполюсни автоматични прекъсвачи в лят корпус и регулируем термо-магнитен изключвател за работно напрежение 690 V/50 Hz

| Тип на прекъсвача                            | Номинален ток $I_n$ (при 40°C), [A] | Настройка по ток на термичната защита при претоварване $I_r$ , [A] – $I_r = (0,7 \div 1)I_n$ | Настройка по ток на магнитната защита при късо съединение $I_m$ , [A] | Максимална изключвателна възможност (при 400 V) $I_{cu}$ , [kA] |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Compact NSXm/<br>C11F3TMxxxV<br>(фиг. 4.6-г) | 16                                  | от 11,2 до 16                                                                                | 500                                                                   | 16, 25, 36, 50 и 70                                             |
|                                              | 25                                  | от 17,5 до 25                                                                                | 600                                                                   |                                                                 |
|                                              | 32                                  | от 22,4 до 32                                                                                | 600                                                                   |                                                                 |
|                                              | 40                                  | от 28 до 40                                                                                  | 600                                                                   |                                                                 |
|                                              | 50                                  | от 35 до 50                                                                                  | 600                                                                   |                                                                 |
|                                              | 63                                  | от 44,1 до 63                                                                                | 800                                                                   |                                                                 |
|                                              | 80                                  | от 56 до 80                                                                                  | 1 000                                                                 |                                                                 |
|                                              | 100                                 | от 70 до 100                                                                                 | 1 250                                                                 |                                                                 |
|                                              | 125                                 | от 87,5 до 125                                                                               | 1 205                                                                 |                                                                 |
|                                              | 160                                 | от 112 до 160                                                                                | 1 250                                                                 |                                                                 |

Технически данни за миниатюрни еднополюсни и триполюсни автоматични прекъсвачи са представени в табл. 3.6; в табл. 3.7 – за миниатюр-

ни еднополюсни автоматични прекъсвачи, комбинирани с ДТЗ; в табл. 3.8 – за триполюсни автоматични прекъсвачи в лят корпус и регулируем термо-магнитен изключвател.

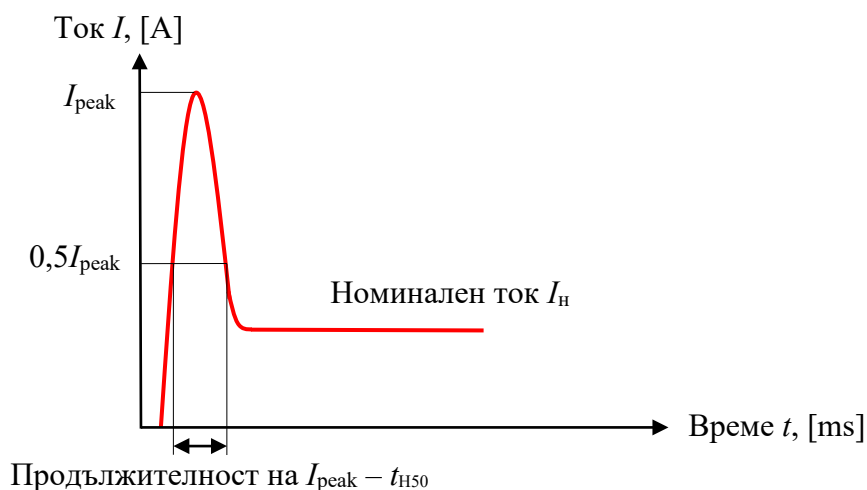
Допуска се за битови и подобни инсталации ток на претоварване най-много до 45% от допустимото токово натоварване на кабела и до 30% за промишлеността, но това претоварване е за ограничен период от време (установеното време на изключване на защитния апарат) [6].

Номиналният ток на изключване на автоматичния прекъсвач в режим на трифазно късо съединение  $I_{SCB}$  (изключвателна възможност) трябва да бъде по-голям от тока на трифазно късо съединение  $I_{SC}$  [17,19]:

$$I_{SC} \leq I_{SCB}. \quad (3.12)$$

Изборът на защитна апаратура за силови консуматори от промишлен тип (двигатели, помпи, пещи, машини за заваряване и др.) се разглежда подробно в учебната дисциплина „Електроснабдяване“ [8,19].

При избор на автоматични прекъсвачи за защита на токови кръгове с LED осветители трябва да се отчита не само максималния продължителен ток  $I_M$ , но и пусковия ток  $I_n$ , при което условието за избор  $I_M \leq I_n$  не винаги е достатъчно. Пусковият ток в LED осветителите се причинява от зареждане на кондензаторите в повечето електронни пусково регулиращи апаратури (ЕПРА), наричани драйвери. Величините пиков пусков ток  $I_{peak}$  (в някои литературни източници се нарича върхов импулсен ток) и продължителност на пиковия пусков  $t_{H50}$  (фиг. 3.7) са основни параметри при определянето на пусковия ток и трябва да се отчитат при избора на автоматични прекъсвачи, за да се избегнат нежелани изключвания [21,23,24]. Големината и продължителността на пусковия ток зависят от стойността на напрежението (момента на включване), температурата, характеристиките и броя на драйверите в (или свързани извън) LED осветителите.



Фиг. 3.7. Параметри на пусков ток на драйвер с LED осветител

Когато в техническата спецификация на LED драйверите няма информация за пиковия пусков ток  $I_{\text{peak}}$  и продължителност на пиковия пусков ток  $t_{\text{H50}}$ , максималният брой  $N$  на включените към един автоматичен прекъсвач LED осветители с драйверите в тях може да се определи чрез съгласуване между мощността на единичен LED осветител с драйвера в него  $P_o$ , номиналният ток на прекъсвача  $I_n$  и типа на кривата на изключване (B, C или D). Максималният брой LED осветители се предоставя от производителите на автоматични прекъсвачи – табл. 3.9 [30].

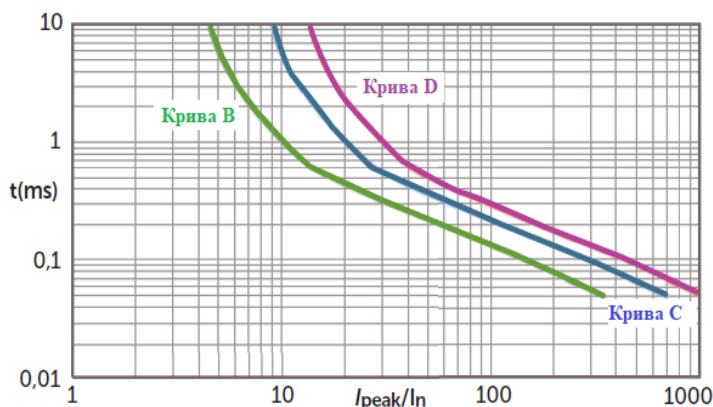
Някои производители на LED осветители обявяват в техническата спецификация максималния допустим брой осветителите, включени към един автоматичен прекъсвач, в зависимост от неговия номинален ток и крива на изключване [27,31].

Таблица 3.9. Максимален брой LED осветители с драйвери в тях, включени към един автоматичен прекъсвач

| $P_o$ ,<br>[W] | Номинален ток на автоматичния прекъсвач |    |    |                      |                     |    |    |                      |                     |    |    |                      |
|----------------|-----------------------------------------|----|----|----------------------|---------------------|----|----|----------------------|---------------------|----|----|----------------------|
|                | $I_n = 10\text{ A}$                     |    |    |                      | $I_n = 16\text{ A}$ |    |    |                      | $I_n = 20\text{ A}$ |    |    |                      |
|                | Крива на изключване                     |    |    |                      |                     |    |    |                      |                     |    |    |                      |
|                | B                                       | C  | D  | B,C,D <sup>(1)</sup> | B                   | C  | D  | B,C,D <sup>(1)</sup> | B                   | C  | D  | B,C,D <sup>(1)</sup> |
| 10             | 15                                      | 30 | 48 | -                    | 22                  | 44 | 69 | -                    | 32                  | 63 | 98 | -                    |
| 30             | 11                                      | 24 | 38 | 57                   | 17                  | 34 | 54 | 90                   | 25                  | 49 | 77 | 110                  |
| 50             | 8                                       | 17 | 27 | 41                   | 12                  | 25 | 39 | 66                   | 18                  | 35 | 56 | 83                   |
| 75             | 4                                       | 11 | 17 | 28                   | 7                   | 15 | 25 | 44                   | 11                  | 21 | 36 | 55                   |
| 150            | -                                       | 5  | 9  | 13                   | 2                   | 7  | 12 | 22                   | 4                   | 9  | 18 | 28                   |
| 250            | -                                       | 3  | 5  | 8                    | -                   | 4  | 7  | 13                   | -                   | 5  | 10 | 16                   |
| 400            | -                                       | 1  | 4  | 5                    | -                   | 2  | 6  | 8                    | -                   | 3  | 9  | 10                   |

<sup>(1)</sup> Управляващ контактор, който включва осветителната верига, когато моментната стойност на напрежението премине през 0°.

Същевременно трябва да се спазват и изискванията за оразмеряване на токови кръгове за осветление, чиито максимален работен ток не трябва да надвишава: за производствени и обществени сгради – 25 A; за жилищни сгради, ако поддържането на осветлението не е от специалист – 16 A. [13]



Фиг. 3.8. Графично определяне на времето на неизключване на пиковия пусков ток

Когато в техническата спецификация на LED драйверите са дадени пиковия пусков ток  $I_{\text{peak}}$  и продължителността на пиковия пусков ток  $t_{\text{H50}}$ , и в зависимост от номиналният ток на прекъсвача  $I_n$ , може да се избере крива на изключване с помощта на фиг. 3.8, с която да се избегнат нежелани изк-

лючвания. [23]. На фиг. 3.8 е показана зависимостта на времето на неизключване  $t$  на прекъсвача (от 50  $\mu\text{s}$  до 10 ms) за три криви на изключване (В, С и D) от отношението  $\frac{I_{\text{peak}}}{I_n}$ .

Например автоматичен прекъсвач с номинален ток  $I_n = 10 \text{ A}$  защитава LED осветителен товар, чиито драйвери имат пиков пусков ток  $I_{\text{peak}} = 100 \text{ A}$  с продължителност  $t_{\text{H50}} = 200 \mu\text{s}$ . От фиг. 3.8 се вижда, че  $\frac{I_{\text{peak}}}{I_n} = \frac{100}{10} = 10$ , което съответства на време на неизключване на прекъсвача  $t = 1 \text{ ms} > t_{\text{H50}} = 200 \mu\text{s}$  – следователно може да се избере автоматичен прекъсвач с крива на изключване В. Ако  $t_{\text{H50}} > 1 \text{ ms}$ , трябва да се избере автоматичен прекъсвач с крива на изключване С или D [23].

Когато в техническата спецификация на автоматичните прекъсвачи (прекъсвачи с ДТЗ) и в LED драйверите има налична информация за пиковия пусков ток  $I_{\text{peak}}$  и продължителността на пиковия пусков ток  $t_{\text{H50}}$ , може да се определи максималният брой  $N$  на LED драйверите, включени към един автоматичен прекъсвач с израз:

$$N = \frac{I_{\text{peak,max}}}{I_{\text{peak}}}, \quad (3.13)$$

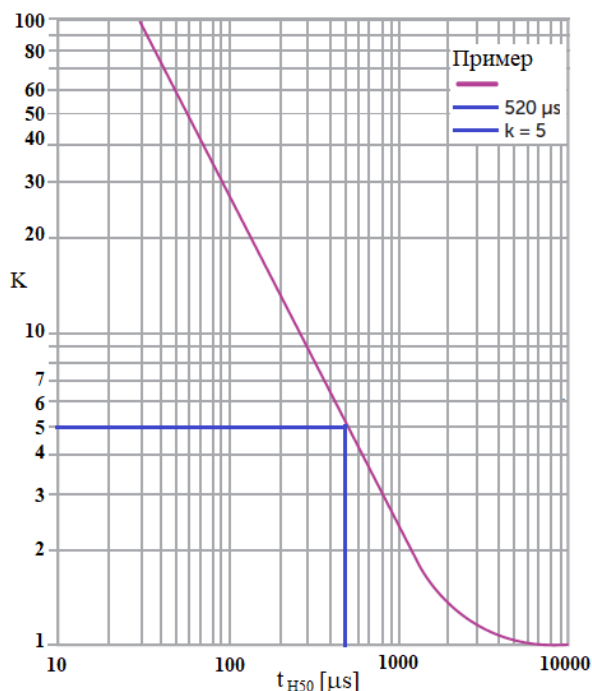
където:  $I_{\text{peak,max}}$  – максимален допустим пиков пусков ток на прекъсвача, [A];  $I_{\text{peak}}$  – пиков пусков ток на LED драйвера, [A]. Автоматичният прекъсвач няма да се задейства, ако  $I_{\text{peak,max}} > I_{\text{peak}}$  и продължителността на пиковия пусков ток  $t_{\text{H50}}$  на автоматичния прекъсвач е по-голяма от тази на LED драйвера [23].

Например автоматичен прекъсвач с номинален ток  $I_n = 10 \text{ A}$  и крива на изключване тип В има максимален допустим пиков пусков ток  $I_{\text{peak,max}} = 420 \text{ A}$  с продължителност  $t_{\text{H50}} = 250 \mu\text{s}$ . Прекъсвачът защитава LED драйвер с пиков пусков ток  $I_{\text{peak}} = 20,4 \text{ A}$  с продължителност  $t_{\text{H50}} = 196 \mu\text{s}$ . Продължителността на пиковия пусков ток на автоматичния прекъсвач е по-голяма от тази на LED драйвера ( $250 \mu\text{s} > 196 \mu\text{s}$ ); максималният допустим пиков ток на прекъсвача  $I_{\text{peak,max}}$  е по-голям от този на LED драйвера  $I_{\text{peak}}$  ( $420 \text{ A} > 20,4 \text{ A}$ ), следователно прекъсвачът няма да изключва; от израз (3.13) се определя максималния брой на LED драйверите, включени към

един прекъсвач:  $N = \frac{I_{\text{peak,max}}}{I_{\text{peak}}} = \frac{420}{20,4} = 20,59 \Rightarrow N = 20$  броя LED драйвери.

В повечето технически спецификации на автоматични прекъсвачи няма данни за максималния допустим пиков пусков ток  $I_{\text{peak,max}}$  при време

на задействане под 50 ms, тъй като се счита, че консуматорите ще имат пусков ток, за който прекъсвачите няма да реагират [21,23,24].



Фиг. 3.9. Графично представяне на зависимостта  $K = f(t_{H50})$

ният ток, който оставя прекъсвача във включено състояние. Колкото по-малка е продължителността  $t_{H50}$ , толкова по-висок пиков пусков ток може да издържи прекъсвача и стойността на  $K$  е по-голяма.

Максималният допустим пиков пусков ток на прекъсвача (при който няма да изключи) при посочена продължителност  $t_{H50}$  на LED драйверите се определя с израза [21,23,24]:

$$I_{\text{peak,max}} = I_n k_{\text{min}} K, \quad (3.14)$$

където  $k_{\text{min}}$  – минимален множител на тока на задействане на прекъсвача, който зависи от кривата на изключване (за крива В – 3, за С – 5, за D – 10).

Например LED драйвер има пиков пусков ток  $I_{\text{peak}} = 20$  А с продължителност  $t_{H50} = 230 \mu s$ . Избира се автоматичен прекъсвач с  $I_n = 10$  А с крива на изключване С. За минималния множител на тока на задействане се получава  $k_{\text{trip}} = 5$  А. Корекционният фактор се определя от фиг. 3.9 – при  $t_{H50} = 230 \mu s$  се получава  $K = 11$ . За максималния допустим пиков пусков ток на прекъсвача се получава  $I_{\text{peak,max}} = I_n I_{\text{trip}} K = 10 \cdot 5 \cdot 11 = 550$  А. От израз (3.13) се определя максималния брой на LED драйверите, включени към

прекъсвача:  $N = \frac{I_{\text{peak,max}}}{I_{\text{peak}}} = \frac{550}{20} = 27,5 \Rightarrow N = 27$  броя LED драйвери.



**Пример 3.2.** Да се изберат автоматични прекъсвачи за токовете кръгове и етажното КРТ от фиг. 3.5 по условие (3.11), като се използват данните за максималните продължителни мощности от Пример 3.1.

*Решение.* Токовете кръгове, захранващи осветителни и контактни излази, са еднофазни –  $U_{\phi} = 230 \text{ V}$ ; приема се, че  $\cos\varphi = 0,9$ . Максималната продължителна мощност за токов кръг № 1, захранващ осветителен товар, е  $P_{M1} = P_{ио,1} = 448,8 \text{ W}$ ; за максималния продължителен ток  $I_{M,1}$ , определен с израз (3.9), се получава: 
$$I_{M,1} = \frac{P_{M,1}}{U_{\phi} \cos\varphi} = \frac{448,8}{230 \cdot 0,9} = 2,17 \text{ A} \Rightarrow$$
 избира се едно-

полюсен автоматичен прекъсвач с  $I_r = I_n = 6 \text{ A}$  и крива на изключване С (табл. 3.6).

Аналогично, за останалите токови кръгове се получава:

- за токов кръг № 2 (осветителен товар):  $I_{M,2} = 2,53 \text{ A} \Rightarrow$  избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с  $I_n = 6 \text{ A}$  и крива на изключване С;

- за токов кръг № 3 (осветителен товар):  $I_{M,3} = 1,08 \text{ A} \Rightarrow$  избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с  $I_n = 6 \text{ A}$  и крива на изключване С;

- за токов кръг № 4 (контактни излази):  $I_{M,4} = 14,49 \text{ A} \Rightarrow$  избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с вградена ДТЗ с  $I_n = 16 \text{ A}$ , крива на изключване С и ток на сработване на ДТЗ  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$  (табл. 3.7).

- за токов кръг № 5 (контактни излази):  $I_{M,5} = 13,29 \text{ A} \Rightarrow$  избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с вградена ДТЗ с  $I_n = 16 \text{ A}$ , крива на изключване С и ток на сработване на ДТЗ  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ .

За максималния продължителен ток  $I_{M,крт}$  на етажното КРТ се получава: 
$$I_{M,крт} = \frac{P_{M,крт}}{\sqrt{3}U_{\Delta} \cos\varphi} = \frac{2921}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 4,69 \text{ A} \Rightarrow$$
 избира се триполюсен автоматичен прекъсвач (табл. 3.6) с  $I_n = 25 \text{ A}$  и крива на изключване С.

### 3.7. Избор на сечение на проводници и кабели

При проектиране на електрически инсталации за ниско напрежение (до 1000 V) се прилагат редица условия за избор на сечение на проводници и кабели: допустимо нагряване; допустима загуба на напрежение; механична якост; термична устойчивост при къси съединения; икономическа плътност на тока [8,13,19]. Основното условие при избора на сечение е по условията на нагряване. Когато сечението на проводника, определено по условията на нагряване, е по-малко от сечението, определено по другите гореизброени условия, се избира най-голямото сечение, определено от тези условия [19].

Сечението на проводници и кабели за осветителна и силова инсталация се избира основно по допустимо нагряване, съгласуване на сечението със защитния апарат и допустима загуба на напрежение.

В табл. 3.10 са представени минималните допустими сечения  $S_{\min}$  в зависимост от вида и предназначение на проводниците и кабелите [13]. С оглед на механическа якост, избраните сечения  $S$  на проводниците или кабелите трябва да бъдат по-големи от минималните допустими сечения  $S_{\min}$ , т.е.  $S \geq S_{\min}$ .

Таблица 3.10. Минимални допустими сечения на проводници и кабели за електрически инсталации

| Вид и предназначение на проводниците и кабелите                                                           | $S_{\min}$ , [mm <sup>2</sup> ] |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|
|                                                                                                           | мед                             | алуминий |
| 1. Радиални захранващи линии към апартаментни табла                                                       | 6                               | 10       |
| 2. Магистрални захранващи линии в жилищни сгради                                                          | 16                              | 25       |
| 3. Сигнални и управляващи магистрални линии                                                               | -                               | 1,5      |
| 4. Линии за силови контакти с работен ток над 6 А, 230 V                                                  | 2,5                             | 4,0      |
| 5. Линии за обикновени контакти с работен ток до 10 А                                                     | 1,5                             | 2,5      |
| 6. Линии за осветителни (лампени) излази                                                                  | 1,0                             | 2,5      |
| 7. Шлангови кабели за асансьорни уредби в жилищни, обществени, търговски и промишлени сгради              | 1,0                             | 4,0      |
| 8. Неизолирани (голи) проводници                                                                          | 2,5                             | 2,5      |
| 9. Незащитени изолирани проводници в тръби, кабели и защитени изолирани проводници за неподвижно полагане | 1,0                             | 4,0      |
| 10. Незащитени изолирани проводници, положени в помещения върху изолатори                                 | 1,5                             | -        |

За захранване на осветителни уредби за общо осветление се използват проводници с медни жила и сечение, не по-малко от 1 mm<sup>2</sup> [13].

Захранването на неподвижни електрически инсталации в монолитни и сглобяеми сгради се извършва най-често с едножилни и мостови проводници с пластмасова изолация, когато изолацията им е осигурена срещу механични повреди [13]. Местата на полагане на този тип проводници са:

- директно в мазилката на стени и тавани – когато покритието от мазилка върху проводниците е с дебелина най-малко 10 mm;
- върху мазилката на стени и тавани - когато закрепването на проводниците се извършва, без да се уврежда изолацията и няма опасност от механични повреди в процеса на експлоатацията им;
- в подовата настилка – когато изолацията на проводниците е защитена срещу механични повреди, удари, пробиви от пирони и др.

В мазилката и под нея мостовите и едножилните проводници се полагат по плоската страна без прегъвания, усуквания и хлабини в прави хоризонтални и вертикални направления. Проводниците се полагат директно под мазилката в пояси: по стени – на 200 mm от готов под или таван; покрай светлите отвори на врати прозорци – в зона до 200 mm; в подовите настилки – на разстояние до 150 mm от стенните панели.

Не се допуска полагане на мостови и едножилни проводници с полимерна изолация директно в мазилка или в земя на кабелоподобни проводници [13]. Забранява се полагането на мостови проводници:

- директно в земята;
- директно върху измазани или облицовани стени в сгради с производствено и непроизводствено предназначение, ако не са взети мерки закрепването да се извършва, без да се поврежда целостта на изолацията им;
- върху стоманени конструкции;
- открито в пожароопасни и взривоопасни помещения;
- за захранване на аварийно и евакуационно осветление.

Токовете кръгове за захранване на неподвижни осветителни и контактни излази най-често се изпълняват от мостов проводник с медни жила (фиг. 3.10-а), подходящ за полагане в мазилки. Не се допуска изпълнение на неподвижни електрически инсталации с шнурови проводници.

Захранването на преносими и подвижни консуматори, като преносими лампи и осветители за местно осветление и др., се изпълнява с шнур (фиг. 3.10-б).

За пренос и разпределение на електрическа енергия в разпределителни мрежи и инсталации, при неподвижно полагане в изкоп, в помещения, канали, шахти и др., се използват силови кабели (фиг. 3.10-в).



### 3.7.1. Определяне на сечението на проводници и кабели за ниско напрежение по допустимо нагряване при нормален режим

Допустимият ток на проводника или кабела трябва да бъде по-голям от максималния продължителен ток. Сечението на проводници и кабели по допустимо нагряване при нормален режим се определя по условието:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{м}}}{k_1 k_2}, \quad (3.15)$$

където:  $I_{\text{доп}}$  – допустим ток на проводника или кабела, [А];  $I_{\text{м}}$  – максимален продължителен ток, [А], определен с изрази (3.9) или (3.10);  $k_1$  – корекционен коефициент на допустимия ток на проводника или кабела в зависимост от броя на едновременно положените проводници в сноп;  $k_2$  – корекционен

коэффициент на допустимият ток в зависимост от околната температура, който се определя от допустимата температура на жилото на проводника  $\theta$ , [°C], действителната температура на околната среда  $\theta_{ок}$  (въздух: 25 °C и земя: 20 °C), и околната температура, при която е измерен допустимия ток

$$\text{на проводника или кабела } \theta_{ок, доп}, [^{\circ}\text{C}]: k_2 = \sqrt{\frac{\theta - \theta_{ок}}{\theta - \theta_{ок, доп}}} [8,13].$$

Корекционните коефициенти  $k_1$  и  $k_2$  в израз (3.15) не се въвеждат, когато начина на полагане на проводниците е еднослойно (едноредово) и температурата на околната среда е под 25 °C [13,15].

Когато начина на полагане на многожилните проводници е многослойно и на снопове,  $k_1$  се определя от броя на тези проводници [13,19]: до 4 броя –  $k_1 = 1$ ; до 5 ÷ 6 броя –  $k_1 = 0,85$ ; до 7 ÷ 9 броя –  $k_1 = 0,75$ ; до 10 ÷ 11 броя –  $k_1 = 0,70$ ; до 12 ÷ 14 броя –  $k_1 = 0,65$ ; до 15 ÷ 18 броя –  $k_1 = 0,60$ .

В табл. 3.11 са дадени допустимите продължителни токове за проводници и шнури с каучукова и PVC изолация с медни жила [13]. Стойностите на токовете се отнасят за температура на жилата  $\theta = 65$  °C, температура на околния въздух:  $\theta_{ок, доп} = 25$  °C и на земята:  $\theta_{ок, доп} = 15$  °C.

Таблица 3.11. Допустими продължителни токове за проводници и шнури с PVC и каучукова изолация с медни жила

| Сечение на тоководещи жила, [mm <sup>2</sup> ] | Допустим ток в [A] за проводници, положени |              |             |                |              |              |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|--------------|
|                                                | открито                                    | в една тръба |             |                |              |              |
|                                                |                                            | два 1-жилни  | три 1-жилни | четири 1-жилни | един 2-жилен | един 3-жилен |
| 0,5                                            | 11                                         | -            |             |                |              |              |
| 0,75                                           | 15                                         | -            |             |                |              |              |
| 1                                              | 17                                         | 16           | 15          | 14             | 15           | 14           |
| 1,5                                            | 23                                         | 19           | 17          | 16             | 18           | 15           |
| 2,5                                            | 30                                         | 27           | 25          | 25             | 25           | 21           |
| 4                                              | 41                                         | 38           | 35          | 30             | 32           | 27           |
| 6                                              | 50                                         | 46           | 42          | 40             | 40           | 34           |
| 10                                             | 80                                         | 70           | 60          | 50             | 55           | 50           |
| 16                                             | 100                                        | 85           | 80          | 75             | 80           | 70           |
| 25                                             | 140                                        | 115          | 100         | 90             | 100          | 85           |
| 35                                             | 170                                        | 135          | 125         | 115            | 125          | 100          |
| 50                                             | 215                                        | 185          | 170         | 150            | 160          | 135          |
| 70                                             | 270                                        | 225          | 210         | 185            | 195          | 175          |
| 95                                             | 330                                        | 275          | 255         | 225            | 245          | 215          |
| 120                                            | 385                                        | 315          | 290         | 260            | 295          | 250          |

### 3.7.2. Съгласуване на сечението със защитния апарат

Допустимият ток на проводника или кабела трябва да бъде по-голям от тока на защитния апарат. Важно е да се извърши съгласуване на сечението на проводника или кабела със защитния апарат (предпазител или автоматичен прекъсвач), тъй като често се избират защити с по-големи номи-

нални токове, поради изискването за селективност и др. Допустимият ток на проводника или кабела  $I_{\text{доп}}$  и токът на защитния апарат  $I_z$  трябва да изпълняват следното условие:

$$I_{\text{доп}} \geq I_z \frac{k_3}{k_1 k_2}, \quad (3.16)$$

където  $k_3$  – корекционен коефициент (минимална кратност между  $I_{\text{доп}}$  и  $I_z$ ), отчитащ типа на защитния апарат и необходимото ниво на защита от претоварване – табл. 3.12 (колона „1“ – пожаро- и взривоопасни помещения; колона „2“ – непожаро- и невзривоопасни помещения).

В зависимост от вида на защитния апарат, стойността на тока  $I_z$  е:

- за предпазител – номиналната стойност на тока на вложката;
- за автоматичен прекъсвач – тока на термичния изключвател или тока на настройка топлинния изключвател, ако прекъсвачът е с регулируем защитен блок.

Таблица 3.12. Минимални стойности на  $k_3$  на защитавани от претоварване проводници с каучукова или с подобни топлинни характеристики изолация

| Ток и тип на защитния апарат                                                                  | 1    | 2 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|
| Номинален ток на вложката на предпазителя                                                     | 1,25 | 1 |
| Ток на изключване на автоматичен прекъсвач с максималнотоков изключвател с мигновено действие | 1,25 | 1 |
| Номинален ток на изключвателя на миниатюрен автоматичен прекъсвач                             | 1    | 1 |
| Ток на изключване на автоматичен прекъсвач с регулируем изключвател                           | 1    | 1 |

### 3.7.3. Проверка на сечението на проводниците по допустима загуба на напрежение

Сечението на проводниците и кабелите на разпределителните мрежи средно ( $U > 1\,000\text{ V}$ ) и ниско ( $U \leq 1\,000\text{ V}$ ) напрежение се проверява по условието за допустима загуба на напрежение  $\Delta U_{\text{доп}}$ . Загубата на напрежение представлява алгебричната разлика на напреженията в началото и в края на разглежданата част от електрическата мрежа. Действителната загуба на напрежение  $\Delta U$  за разглежданата мрежа трябва да бъде по-малка от максимално допустимата:  $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$ .

В табл. 3.13 са дадени допустимите загуби на напрежение в електрически мрежи ниско напрежение [13,19].

За вътрешни електрически инсталации за битови и обществени (административни, учебни и др.) сгради индуктивното съпротивление на проводниците или кабелите може да се пренебрегне и загубата на напрежение  $\Delta U$  се определя по следния опростен израз:

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n K_i \frac{P_{M,i} l_i}{C_i S_i} \leq U_{\text{доп}} [\%], \quad (3.17)$$

където:  $P_{M,i}$  – максимална продължителна мощност в  $i$ -тия участък на линията, [kW];  $l_i$  – дължина на  $i$ -тия участък на линията, [m];  $n$  – брой на участъците с различна максимална продължителна мощност, сечение или брой на проводниците;  $K_i$  – корекционен коефициент, отчитащ реактивната съставка на загубата на напрежение и е реципрочен на фактора на мощността –  $K = \frac{1}{\cos \varphi}$  – табл. 3.14;  $S_i$  – сечение на проводника в  $i$ -тия участък на линията, [mm<sup>2</sup>];  $C_i$  – коефициент, който зависи от материала на проводника, броя на проводниците, напрежението и околната температура, [kW.m/mm<sup>2</sup>] – табл. 3.15 [11,19].

Таблица 3.13. Допустими загуби на напрежение в електрически мрежи до 1 000 V

| Вид на електрическата мрежа и режим на работа                | $\Delta U_{\text{доп}}, \%$ | Забележка                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Вътрешни инсталации в сгради                              | 1 ÷ 2,5                     | По т. 1 и т. 2 общо не повече от 6 %, като за големи производствени, обществени и жилищни сгради съответно е 2,5 % по т. 1 и 3,5 % по т. 2, а за малки сгради съответно е 1 % и 5 %. |
| 2. Разпределителни мрежи ниско напрежение при нормален режим | 3,5 ÷ 5                     |                                                                                                                                                                                      |

Таблица 3.14. Стойности на корекционния коефициент  $K$

| $K$            | 1 | 1,11 | 1,25 | 1,43 | 1,67 | 2   | 2,5 |
|----------------|---|------|------|------|------|-----|-----|
| $\cos \varphi$ | 1 | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5 | 0,4 |

Таблица 3.15. Стойности на коефициента  $C$ , [kW.m/mm<sup>2</sup>]

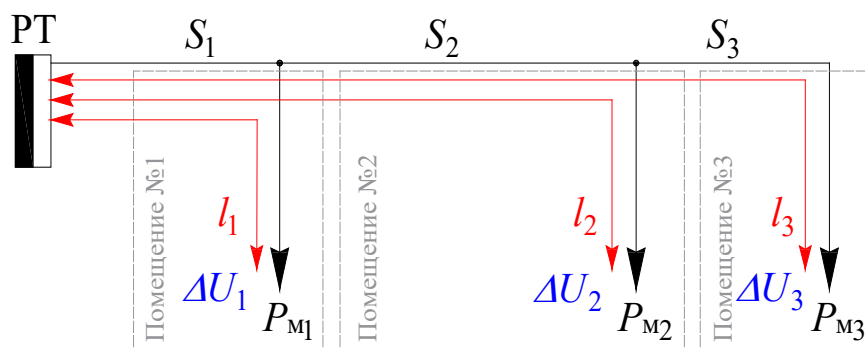
| Материал | Околна температура 20 °C |       | Околна температура 30 °C |       |
|----------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
|          | Номинално напрежение     |       | Номинално напрежение     |       |
|          | 230 V                    | 400 V | 230 V                    | 400 V |
| Мед      | 14,5                     | 87    | 14                       | 84    |
| Алуминий | 8,8                      | 53    | 8,5                      | 51    |

От израз (3.17) се вижда, че  $\Delta U$  зависи от максималната продължителна мощност, дължината и сечението на проводника или кабела. За осветителна и силова инсталация  $\Delta U$  се изчислява:

- за токов кръг с най-голяма максимална продължителна мощност;
- за токов кръг с най-голяма дължина.

Действителната загуба на напрежение от крайното разпределително табло до най-отдалечения излаз на токовия кръг трябва да бъде  $\Delta U \leq 2,5 \%$ . Ако условието от израз (3.17) не е спазено, трябва да се увеличи минимално заложеното сечение на токовия кръг или да се разпредели максималния продължителен товар на други токови кръгове.

На фиг. 3.11 е показана графична интерпретация за определяне на загубата на напрежение  $\Delta U$  на токов кръг с три участъка ( $n = 3$ ), който свързва максималните продължителни товари  $P_{M1}$ ,  $P_{M2}$  и  $P_{M3}$  с разпределителното табло (РТ). Общата загуба на напрежение е  $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$ .



Фиг. 3.11. Графична интерпретация за определяне на загубата на напрежение

Неутралните проводници в електрически мрежи за осветителни уредби се оразмеряват по тока на най-натоварената фаза [13].

## ЗАДАНИЕ И ПРИМЕРНО ИЗПЪЛНЕНИЕ НА КУРСОВА РАБОТА ПО ОСВЕТИТЕЛНА И ИНСТАЛАЦИОННА ТЕХНИКА

ТЕХНИЧЕСКИ УНВЕРСИТЕТ – ГАБРОВО  
ФАКУЛТЕТ „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ЕЛЕКТРОНИКА”  
КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ”

### КУРСОВА РАБОТА по ОСВЕТИТЕЛНА И ИНСТАЛАЦИОННА ТЕХНИКА

#### ЗАДАНИЕ №

Студент: ..... , факулт. № ..... ,  
специалност: ..... , курс: ..... , група: .....

#### Техническо задание:

- архитектурна основа на етаж от сграда с мащаб 1:50 или 1:100;
- работно напрежение – 400/230 V (50 Hz);
- система на осветление – общо равномерно;
- норми за осветеност – БДС EN 12464-1:2021.

#### Съдържание:

- Аналитични светлотехнически изчисления на количествени и качествени показатели за едно помещение на етаж от сграда.
- Автоматизирани светлотехнически изчисления със специализиран софтуер.
- Проектиране на осветителна и силова инсталация:
  - Определяне на броя, местоположението и мощността на осветителите, ключовете за осветление и контактите в помещенията, броя и местоположението на разпределителните табла; групиране на осветителни и контактни излази по токови кръгове;
  - Определяне на електрическите товари на токовите кръгове за осветление и контакти и на разпределителните табла;
  - Избор на защитна и комутационна апаратура на токови кръгове и разпределителни табла;
  - Проверка на сечението на проводниците по допустима загуба на напрежение.
- Графична част:
  - инсталационен план на осветителната уредба, разработен във формат А3;
  - еднолинейна схема на етажното разпределително табло – формат А4.

Ръководители:

/доц. д-р инж. Пл. Цанков/

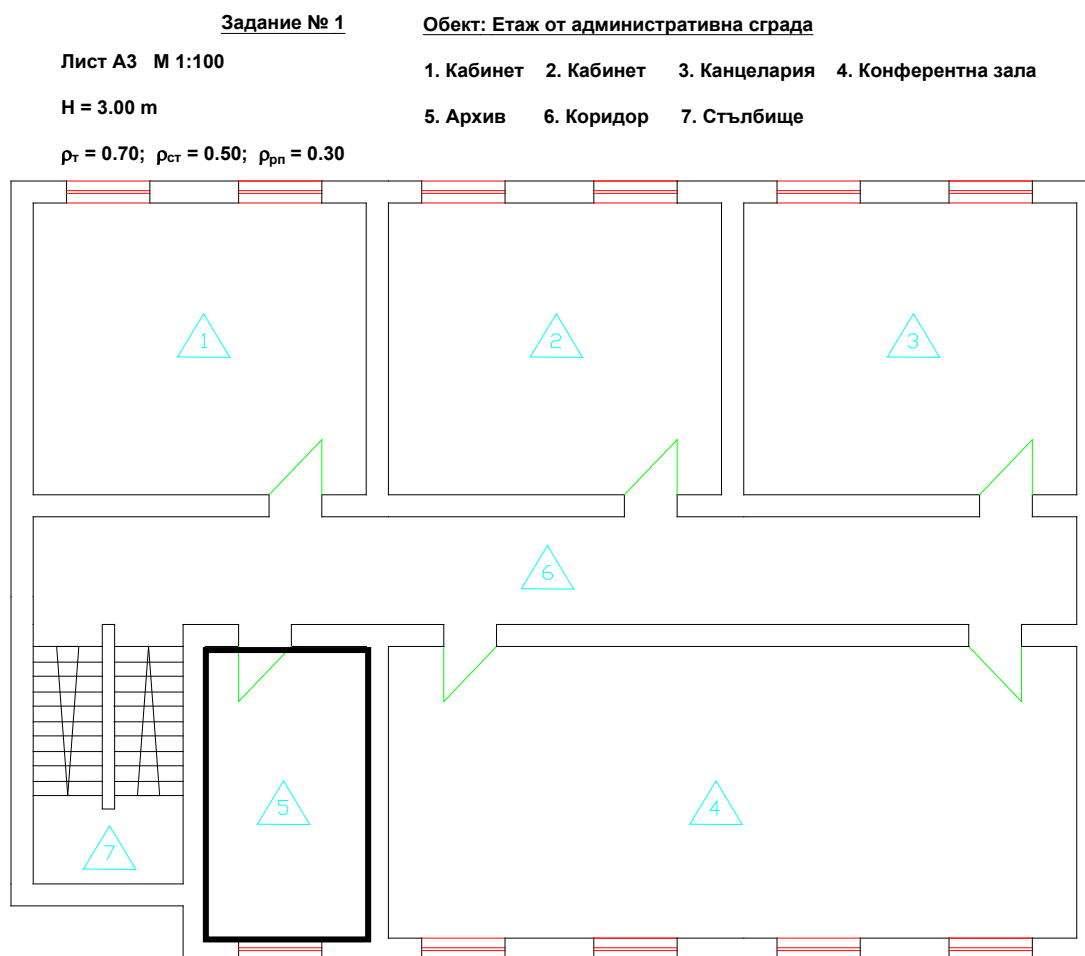
/гл. ас. д-р инж. М. Йовчев/



## I. Аналитични светлотехнически изчисления на количествени и качествени показатели за едно помещение от етаж на сграда

### I-1. Избор на помещение

Обемът на аналитичните изчисления се определя от площта, функционалното предназначение, нормираната осветеност и необходимия брой осветители в едно помещение. За намаляване на обемът от изчисления е необходимо да се избере помещение с относително по-малка площ в сравнение с площта на останалите помещения от зададената архитектурна основа на етаж от сграда – фиг. П-1, както и да се съобрази сложността на зрительната задача, която определя нормираната осветеност, необходимия светлинен поток и необходимия брой осветители. Избраното помещение от архитектурната основа е маркирано с плътна черна линия – помещение № 5 (Архив).



Фиг. П-1. Избор на помещение за аналитични светлотехнически изчисления

Чрез измерване на дължината  $x$  ( $x = 2,9$  m) и широчината  $y$  ( $y = 5,3$  m) на помещение № 5 от архитектурния план при съобразяване със зададения мащаб (М 1:100 – фиг. П-1), площта  $A$  на помещението се определя по формула (1.1):

$$A = xy = 2,9 \cdot 5,3 = 15,37 \text{ m}^2.$$

### I-2. Определяне на експлоатационната осветеност $\bar{E}_m$

Съгласно БДС EN 12464-1:2021, табл. 1.2 и прил. 1, експлоатационната (нормирана) осветеност за архивно помещение е  $\bar{E}_m = 200$  lx.

### **I-3. Избор на осветител в помещението**

За архивното помещение се избира LED осветител – *Осветител-2*, модел LED-28W-4000lm, показан на фиг. 1.5 и описан в табл. 1.4 и 1.5, който има светлинен поток  $\Phi_{\text{осв}} = 4000 \text{ lm}$ .

### **I-4. Определяне на експлоатационния фактор на помещението**

Тъй като липсва подробна информация относно експлоатационната поддръжка, приемаме, че има нормални условия в помещението, с интервал на почистване на осветителите, не по-малък от 5 години. Следователно от табл. 1.6 за експлоатационния фактор приемаме  $f_m = 0,67$ .

### **I-5. Определяне на интегралните коефициенти на отражение**

Съгласно техническото задание, интегралните коефициенти на отражение на таван, стени и работна повърхност са дадени в архитектурната основа, т.е. за архивното помещение имаме: таван –  $\rho_t = 0,70$ ; стени –  $\rho_{\text{ст}} = 0,50$ ; работна повърхност –  $\rho_{\text{рп}} = 0,30$ .

### **I-6. Определяне на индекса на помещението и коефициентите на използване на светлинния поток**

Първоначално се определя изчислителната височина  $h$  между светещата повърхност на осветителя (осветителите) и работната повърхност, съгласно постановката от фиг. 1.7 и израз (1.7). Височината от пода до тавана е зададена в архитектурната основа –  $H = 3 \text{ m}$  (фиг. П-1); височината на работната повърхност се приема за  $h_{\text{рп}} = 0,75 \text{ m}$ ; приема се растерен таван от окачен тип, където осветителите се вграждат в него и следователно няма да има провес, т.е.  $h_o = 0 \text{ m}$ . За изчислителната височина се получава:

$$h = H - h_{\text{рп}} - h_o = 3 - 0,75 - 0 = 2,25 \text{ m}.$$

Индексът на помещението  $i$  се изчислява по формула (1.5) и след заместване се получава:

$$i = \frac{xy}{h(x+y)} = \frac{A}{h(x+y)} = \frac{15,37}{2,25(2,9+5,3)} = 0,83 \Rightarrow i = 0,80.$$

При определени коефициенти на отражение  $\rho$  на таван, стени и работна повърхност ( $\rho_t = 0,70$ ,  $\rho_{\text{ст}} = 0,50$  и  $\rho_{\text{рп}} = 0,30$ ) и индекс на помещението  $i = 0,80$ , съгласно табл. 1.8 при избран *Осветител-2* за коефициентите на използване на светлинния поток на таван, стени и работна повърхност се получава:  $UF_t = 0,10$ ,  $UF_{\text{ст}} = 0,47$  и  $UF_{\text{рп}} = 0,41$ .

### **I-7. Определяне на необходимия светлинен поток и необходимия брой осветители в помещението**

Необходимият светлинен поток  $\Phi$  за постигане на нормираната осветеност  $\bar{E}_m$  в помещението с отчитане на експлоатационния фактор  $f_m$  и коефициента на използване на осветителната уредба за работната повърхност  $UF_{\text{рп}}$  се изчислява с израз (1.10):

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m A}{f_m UF_{\text{рп}}} = \frac{200 \cdot 15,37}{0,67 \cdot 0,41} = 11190,39 \text{ lm}.$$

Необходимият брой осветители  $N$  за постигане на нормираната осветеност в помещението се определя по формула (1.11) и след заместване се получава:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{осв}}} = \frac{11190,39}{4000} = 2,80 \Rightarrow \text{приема се цяло по-голямо число: } N = 3.$$

### I-8. Определяне на средната осветеност и яркост на работна повърхност, стени и таван в помещението

Средните осветености на работната повърхност  $E_{\text{ср,рп}}$ , стените  $E_{\text{ср,ст}}$  и тавана  $E_{\text{ср,т}}$  в помещението се изчисляват с изразите (1.12 ÷ 1.14) и след заместване се получава:

$$E_{\text{ср,рп}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}}f_mUF_{\text{рп}}}{A} = \frac{3.4000.0,67.0,41}{15,37} = 214,47 \text{ lx} > \bar{E}_m = 200 \text{ lx};$$

$$E_{\text{ср,ст}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}}f_mUF_{\text{ст}}}{2h(x+y)} = \frac{3.4000.0,67.0,47}{2.2,25(2,9+5,3)} = 102,41 \text{ lx} > \bar{E}_{m,\text{wall}} = 100 \text{ lx};$$

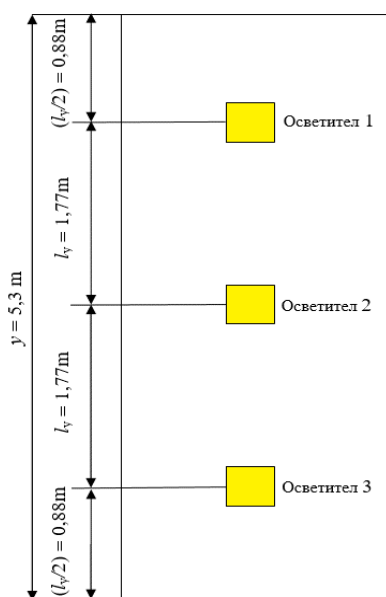
$$E_{\text{ср,т}} = \frac{N\Phi_{\text{осв}}f_mUF_{\text{т}}}{A} = \frac{3.4000.0,67.0,10}{15,37} = 52,31 \text{ lx} > \bar{E}_{m,\text{ceiling}} = 50 \text{ lx}.$$

Яркостите на работната повърхност  $L_{\text{рп}}$ , стените  $L_{\text{ст}}$  и тавана  $L_{\text{т}}$  в помещението се изчисляват с израз (1.15) и след заместване се получава:

$$L_{\text{рп}} = \frac{\rho_{\text{рп}}E_{\text{ср,рп}}}{\pi} = \frac{0,3.214,47}{3,14} = 20,48 \text{ cd/m}^2; \quad L_{\text{ст}} = \frac{\rho_{\text{ст}}E_{\text{ср,ст}}}{\pi} = \frac{0,5.102,41}{3,14} = 16,30 \text{ cd/m}^2;$$

$$L_{\text{т}} = \frac{\rho_{\text{т}}E_{\text{ср,т}}}{\pi} = \frac{0,7.52,31}{3,14} = 11,66 \text{ cd/m}^2.$$

### I-9. Определяне на разположението на осветителите в помещението



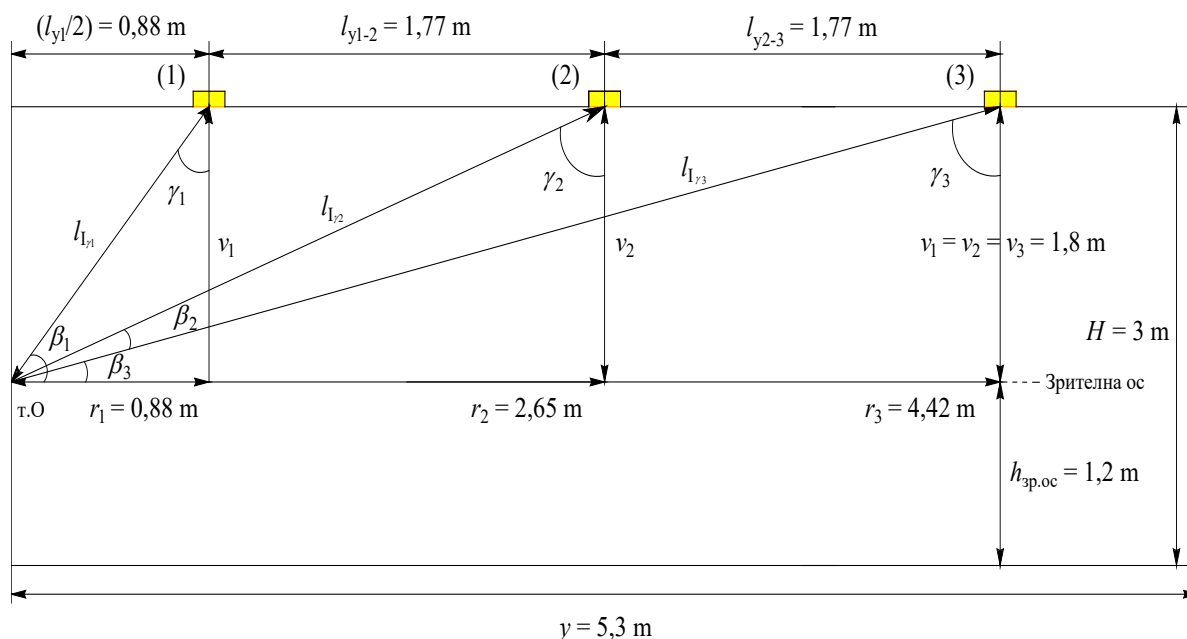
Осветителите се разполагат чрез вграждане към тавана при реализиране на общо равномерно осветление, съгласно геометричната интерпретация от фиг. 1.8. На фиг. П-2 е показан изглед отгоре с разположението на трите LED осветителя в една редица в избраното помещение с дължина на дългата му страна  $y = 5,3 \text{ m}$ . Разстоянието между крайните осветители и стените по ос  $y$  е два пъти по-малко от разстоянието  $l_y$  между всеки два съседни осветители, съгласно изискването при реализиране на общо равномерно осветление, т.е. между крайните осветители 1 и 3 и стените, с които граничат, разстоянието е  $(l_y/2) = 0,88 \text{ m}$ ; разстоянието между осветители 1 и 2 и осветители 2 и 3 е  $l_y = 1,77 \text{ m}$  – фиг. П-2. Дължината на късата страна на помещението е  $x = 2,9 \text{ m}$  – осветителите се разполагат по средата.

Фиг. П-2. Разположение на осветителите

### I-10. Определяне на показателя обобщена степен на заслепяване в помещението

Обобщената степен на заслепяване  $R_{UG}$  се определя по формула (1.16) при зададени стандартни условия (коефициенти на отражение, размери на помещението и наблюдател, застанал в средата на късата страна на помещението).

Първоначално се изчисляват геометричните показатели, свързани с местоположението на наблюдателя спрямо разположението на трите LED осветителя (1), (2) и (3) в помещението. Съгласно графичната интерпретация на фиг. 1.12, 1.13 и 1.14, взаимното местоположение на наблюдателя и трите осветителя в помещението с изглед от страни е показано на фиг. П-3.



Фиг. П-3. Взаимното местоположение на наблюдателя и осветителите в помещението

Разстоянията  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  между точката на наблюдение – т. О, разположена в средата на късата страна на помещението, и вертикалната равнина  $v$ , успоредна на късата страна, еднаква за трите осветителя (1), (2) и (3) –  $v = v_1 = v_2 = v_3$ , и минаваща през техния оптичен център – фиг. П-3, се изчисляват по следния начин:

- за LED осветител (1) разстоянието  $r_1$ , съгласно фиг. П-3, е:

$$r_1 = \frac{l_{y1}}{2} = 0,88 \text{ m};$$

- за LED осветител (2)  $r_2$  е:

$$r_2 = \frac{l_{y1}}{2} + l_{y1-2} = 0,88 + 1,77 = 2,65 \text{ m};$$

- за LED осветител (3)  $r_3$  е:

$$r_3 = \frac{l_{y1}}{2} + l_{y1-2} + l_{y2-3} = 0,88 + 1,77 + 1,77 = 4,42 \text{ m}.$$

Вертикалното разстояние  $v$  между повърхността на осветителите (1), (2) и (3) и зрителната ос се определя от разликата между височината  $H$  между пода и повърхността на вградените в тавана осветители (няма провес) и височината на зрителната ос  $h_{зр.ос}$  на седнал наблюдател, т.е.:

$$v = v_1 = v_2 = v_3 = H - h_{зр.ос} = 3 - 1,2 = 1,8 \text{ m (фиг. П-3)}.$$

Тъй като няма разположени осветители вляво и вдясно на зрителната ос, т.е. разстоянието  $d = 0$  m и ъгъл  $\varphi = 0^\circ$  (фиг. 1.12), се получават три правоъгълни триъгълника (фиг. П-3):

- за осветител (1) страните на триъгълника са  $r_1$ ,  $v$  и  $l_{\gamma 1}$ ;
- за осветител (2) страните на триъгълника са  $r_2$ ,  $v$  и  $l_{\gamma 2}$ .
- за осветител (3) страните на триъгълника са  $r_3$ ,  $v$  и  $l_{\gamma 3}$ .

Разстоянията (хипотенузите)  $l_{\gamma 1}$ ,  $l_{\gamma 2}$  и  $l_{\gamma 3}$  от светещата повърхност съответно на LED осветители (1), (2) и (3) до наблюдателя в т.О (фиг. П-3) се определят с израз (1.18) с тази разлика, че тук разстоянието  $d = 0$  m:

$$l_{\gamma 1} = \sqrt{r_1^2 + v^2} = \sqrt{0,88^2 + 1,8^2} = 2,00 \text{ m}; \quad l_{\gamma 2} = \sqrt{r_2^2 + v^2} = \sqrt{2,65^2 + 1,8^2} = 3,20 \text{ m};$$

$$l_{\gamma 3} = \sqrt{r_3^2 + v^2} = \sqrt{4,42^2 + 1,8^2} = 4,77 \text{ m}.$$

За ъглите  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$ , които се сключват между оптичните оси  $v$  на осветители (1), (2) и (3) и разстоянията  $l_{\gamma 1}$ ,  $l_{\gamma 2}$  и  $l_{\gamma 3}$  до наблюдателя, и техните тригонометрични зависимости, съгласно израз (1.19), се получава:

$$\gamma_1 = \arctg \frac{r_1}{v} = \arctg \frac{0,88}{1,8} = 26,05^\circ; \quad \cos \gamma_1 = \frac{v}{l_{\gamma 1}} = \frac{1,8}{2,00} = 0,90;$$

$$\gamma_2 = \arctg \frac{r_2}{v} = \arctg \frac{2,65}{1,8} = 55,81^\circ; \quad \cos \gamma_2 = \frac{v}{l_{\gamma 2}} = \frac{1,8}{3,20} = 0,56;$$

$$\gamma_3 = \arctg \frac{r_3}{v} = \arctg \frac{4,42}{1,8} = 67,84^\circ; \quad \cos \gamma_3 = \frac{v}{l_{\gamma 3}} = \frac{1,8}{4,77} = 0,38.$$

За ъгли  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  и  $\beta_3$ , които се сключват между зрителната ос по направление  $r$  (успоредно на дългата страна  $u$  на помещението – фиг. П-3 ) и правите  $l_{\gamma 1}$ ,  $l_{\gamma 2}$  и  $l_{\gamma 3}$ , свързващи зрителния анализатор и осветители (1), (2) и (3), се получава:

$$\beta_1 = \arccos \frac{r_1}{l_{\gamma 1}} = \arccos \frac{0,88}{2,00} = 63,90^\circ; \quad \beta_2 = \arccos \frac{r_2}{l_{\gamma 2}} = \arccos \frac{2,65}{3,20} = 34,09^\circ;$$

$$\beta_3 = \arccos \frac{r_3}{l_{\gamma 3}} = \arccos \frac{4,42}{4,77} = 22,09^\circ.$$

Интензитетите на светлината  $I'(\gamma_1)$ ,  $I'(\gamma_2)$  и  $I'(\gamma_3)$  на осветители (1), (2) и (3) в посока към окото на наблюдателя в т.О (правите  $l_{\gamma 1}$ ,  $l_{\gamma 2}$  и  $l_{\gamma 3}$  на фиг. П-3) се определят от СРК на осветителите, които са тип *Осветител-2*, модел *LED-28W-4000lm* – табл. 1.5, представени в относителни единици за условен светлинен поток 1000 lm [cd/klm]. Тъй като в табличното представяне на СРК на трите LED осветителя в помещението отсъстват точните стойности на  $I'(\gamma_1)$ ,  $I'(\gamma_2)$  и  $I'(\gamma_3)$ , за изчислените ъгли  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$  (при  $\varphi = 0^\circ$ ) е необходимо да се извърши единична линейна интерполация.

За LED осветител (1) при  $\varphi = 0^\circ$  е изчислен вертикалният фотометричен ъгъл  $\gamma_1 = 26,05^\circ$ . От табл. 1.5 за *Осветител-2* най-близката по-малка стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{10} = 25^\circ$  – съответства на интензитет на светлината  $I'(\gamma_{10} = 25^\circ) = 452,73$  cd/klm; най-близката по-голяма стойност на ъгъл  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{11} = 30^\circ$  – съответства на  $I'(\gamma_{11} = 30^\circ) = 416,33$  cd/klm. Съгласно израз (1.21) за  $I'(\gamma_1 = 26,05^\circ)$  се получава:

$$I'(\gamma_1) = I'(\gamma_{10}) + \frac{I'(\gamma_{11}) - I'(\gamma_{10})}{\gamma_{11} - \gamma_{10}} (\gamma_1 - \gamma_{10});$$

$$I'(\gamma_1 = 26,05^\circ) = 452,73 + \frac{416,33 - 452,73}{30^\circ - 25^\circ} (26,05^\circ - 25^\circ) = 445,09 \text{ cd/klm.}$$

Интензитетът на светлината  $I(\gamma_1)$  в [cd] в посока към окото на наблюдателя за действителния светлинен поток на първия осветител  $\Phi_{\text{осв.}(1)} = 4000 \text{ lm}$  се изчислява по формула (1.20) и след заместване се получава:

$$I(\gamma_1 = 26,05^\circ) = I'(\gamma_1) \frac{\Phi_{\text{осв.}(1)}}{1000} = 445,09 \cdot \frac{4000}{1000} = 1783,60 \text{ cd.}$$

За LED осветител (2) при  $\varphi = 0^\circ$  е изчислен вертикалният фотометричен ъгъл  $\gamma_2 = 55,81^\circ$ . От табл. 1.5 за *Осветител-2* най-близката по-малка стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{2_0} = 55^\circ$  – съответства на интензитет на светлината  $I'(\gamma_{2_0} = 55^\circ) = 90,58 \text{ cd/klm}$ ; най-близката по-голяма стойност на ъгъл  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{2_1} = 60^\circ$  – съответства на  $I'(\gamma_{2_1} = 60^\circ) = 51,46 \text{ cd/klm}$ . Съгласно израз (1.21) за  $I'(\gamma_2 = 55,81^\circ)$  се получава:

$$I'(\gamma_2) = I'(\gamma_{2_0}) + \frac{I'(\gamma_{2_1}) - I'(\gamma_{2_0})}{\gamma_{2_1} - \gamma_{2_0}} (\gamma_2 - \gamma_{2_0});$$

$$I'(\gamma_2 = 55,81^\circ) = 90,58 + \frac{51,46 - 90,58}{60^\circ - 55^\circ} (55,81^\circ - 55^\circ) = 84,24 \text{ cd/klm.}$$

Интензитетът на светлината  $I(\gamma_2)$  в [cd] в посока към окото на наблюдателя за действителния светлинен поток на втория осветител  $\Phi_{\text{осв.}(2)} = 4000 \text{ lm}$  се изчислява по формула (1.20) и след заместване се получава:

$$I(\gamma_2 = 55,81^\circ) = I'(\gamma_2) \frac{\Phi_{\text{осв.}(2)}}{1000} = 84,24 \cdot \frac{4000}{1000} = 336,96 \text{ cd.}$$

За LED осветител (3) при  $\varphi = 0^\circ$  е изчислен вертикалният фотометричен ъгъл  $\gamma_3 = 67,84^\circ$ . От табл. 1.5 за *Осветител-2* най-близката по-малка стойност на  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{3_0} = 65^\circ$  – съответства на интензитет на светлината  $I'(\gamma_{3_0} = 65^\circ) = 27,63 \text{ cd/klm}$ ; най-близката по-голяма стойност на ъгъл  $\gamma$ , за която е известен интензитетът на светлината, е  $\gamma_{3_1} = 70^\circ$  – съответства на  $I'(\gamma_{3_1} = 70^\circ) = 20,06 \text{ cd/klm}$ . Съгласно израз (1.21) за  $I'(\gamma_3 = 67,84^\circ)$  се получава:

$$I'(\gamma_3) = I'(\gamma_{3_0}) + \frac{I'(\gamma_{3_1}) - I'(\gamma_{3_0})}{\gamma_{3_1} - \gamma_{3_0}} (\gamma_3 - \gamma_{3_0});$$

$$I'(\gamma_3 = 67,84^\circ) = 27,63 + \frac{20,06 - 27,63}{70^\circ - 65^\circ} (67,84^\circ - 65^\circ) = 23,33 \text{ cd/klm.}$$

Интензитетът на светлината  $I(\gamma_3)$  в [cd] в посока към окото на наблюдателя за действителния светлинен поток на третия осветител  $\Phi_{\text{осв.}(3)} = 4000 \text{ lm}$  се изчислява по формула (1.20) и след заместване се получава:

$$I(\gamma_3 = 67,84^\circ) = I'(\gamma_3) \frac{\Phi_{\text{осв.}(3)}}{1000} = 23,33 \cdot \frac{4000}{1000} = 93,32 \text{ cd.}$$

Резултатите от изчислените стойности на геометричните показатели и интензитета на светлината, свързани с местоположението на наблюдателя по отношение на всеки един осветител от трите осветителя (1), (2) и (3) в избраното архивно помещение от архитектурната основа, се представят в табл. П-1.

Таблица П-1. Таблично представяне на изчислените разстояния, ъгли, тригонометрични функции и интензитет на светлината

| LED осветител | $r$<br>[m] | $d$<br>[m] | $v$<br>[m] | $l_{\gamma}$<br>[m] | $\cos \gamma$<br>- | $\gamma$<br>[°] | $\varphi$<br>[°] | $\beta$<br>[°] | $I(\gamma)$<br>[cd/klm] | $I(\gamma)$<br>[cd] |
|---------------|------------|------------|------------|---------------------|--------------------|-----------------|------------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| (1)           | 0,88       | 0          | 1,8        | 2,00                | 0,90               | 26,05           | 0                | 63,90          | 445,09                  | 1783,60             |
| (2)           | 2,65       | 0          | 1,8        | 3,20                | 0,56               | 55,81           | 0                | 34,09          | 84,24                   | 336,96              |
| (3)           | 4,42       | 0          | 1,8        | 4,77                | 0,38               | 67,84           | 0                | 22,09          | 23,33                   | 93,32               |

Светещата площ на трите LED осветителя се определя с израз (1.22). Дължината  $l_{\text{осв}}$  и широчината  $w_{\text{осв}}$  на светещата част на *Осветител-2* са посочени в табл. 1.4 –  $l_{\text{осв}} = 1,13 \text{ m}$ ;  $w_{\text{осв}} = 0,297 \text{ m} \Rightarrow A_{\text{осв}} = l_{\text{осв}} w_{\text{осв}} = 1,13 \cdot 0,297 = 0,33561 \text{ m}^2$ .

Видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв},(1)}$  на LED осветител (1) спрямо т.О (фиг. П-3), при изчислени  $\gamma_1 = 26,05^\circ$  и  $\cos \gamma_1 = 0,90$  се определя по формула (1.23):

$$A'_{\text{осв},(1)} = A_{\text{осв}} \cos \gamma_1 = 0,33561 \cdot 0,90 = 0,30205 \text{ m}^2.$$

Видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв},(2)}$  на LED осветител (2) спрямо същата точка на наблюдение – т.О, при изчислени  $\gamma_2 = 55,81^\circ$  и  $\cos \gamma_2 = 0,56$  е:

$$A'_{\text{осв},(2)} = A_{\text{осв}} \cos \gamma_2 = 0,33561 \cdot 0,56 = 0,18794 \text{ m}^2.$$

Видимата хоризонтална светеща площ  $A'_{\text{осв},(3)}$  на LED осветител (3) спрямо същата точка на наблюдение – т.О, при изчислени  $\gamma_3 = 67,84^\circ$  и  $\cos \gamma_3 = 0,38$  е:

$$A'_{\text{осв},(3)} = A_{\text{осв}} \cos \gamma_3 = 0,33561 \cdot 0,38 = 0,12753 \text{ m}^2.$$

Габаритната яркост на LED осветител (1)  $L_{\text{осв},(1)}$  в посока на окото на наблюдателя, който вижда светещата площ  $A'_{\text{осв},(1)}$  под ъгъл  $\gamma_1$ , се определя с израз (1.24):

$$L_{\text{осв},(1)} = \frac{I(\gamma_1)}{A'_{\text{осв},(1)}} = \frac{1783,60}{0,30205} = 5904,98 \text{ cd/m}^2.$$

Габаритната яркост на LED осветител (2)  $L_{\text{осв},(2)}$  в посока на окото на наблюдателя, който вижда светещата площ  $A'_{\text{осв},(2)}$  под ъгъл  $\gamma_2$ , се определя с израз (1.24):

$$L_{\text{осв},(2)} = \frac{I(\gamma_2)}{A'_{\text{осв},(2)}} = \frac{336,96}{0,18794} = 1792,91 \text{ cd/m}^2.$$

Габаритната яркост на LED осветител (3)  $L_{\text{осв},(3)}$  в посока на окото на наблюдателя, който вижда светещата площ  $A'_{\text{осв},(3)}$  под ъгъл  $\gamma_3$ , се определя с израз (1.24):

$$L_{\text{осв},(3)} = \frac{I(\gamma_3)}{A'_{\text{осв},(3)}} = \frac{93,32}{0,12753} = 731,75 \text{ cd/m}^2.$$

Пространствените ъгли  $\varpi_1$ ,  $\varpi_2$  и  $\varpi_3$  в [sr], под които се виждат светещите площи  $A'_{\text{осв},(1)}$ ,  $A'_{\text{осв},(2)}$  и  $A'_{\text{осв},(3)}$  съответно на LED осветители (1), (2) и (3), се определят с израз (1.25). След заместване се получава:

$$\varpi_1 = \frac{A'_{\text{осв},(1)}}{l_{\gamma 1}^2} = \frac{0,30205}{2^2} = 0,08012 \text{ sr}; \quad \varpi_2 = \frac{A'_{\text{осв},(2)}}{l_{\gamma 2}^2} = \frac{0,18794}{3,20^2} = 0,01835 \text{ sr};$$

$$\varpi_3 = \frac{A'_{\text{осв},(3)}}{l_{\gamma 3}^2} = \frac{0,12753}{4,77^2} = 0,00561 \text{ sr}.$$

Използва се табличния метод за определяне на позиционния индекс на Guth  $p$ . Тъй като са известни геометричните размери  $v$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $d = 0 \text{ m}$  и отношенията  $(d/r) = 0$ ,

$v/r_1$ ,  $v/r_2$  и  $v/r_3$ , то зависимостта  $p = f(d/r, v/r)$  за трите LED осветителя (1), (2) и (3) може да се определи таблично от прил. 2 и графично от фиг. 1.15:

- за LED осветител (1)  $\frac{d}{r_1} = 0$ ;  $\frac{v}{r_1} = \frac{1,80}{0,88} = 2,05 \approx 2,10 \Rightarrow p_1 > 16,20$  – приема се, че

осветител (1) не причинява заслепяващо въздействие в т. О на наблюдение;

- за LED осветител (2)  $\frac{d}{r_2} = 0$ ;  $\frac{v}{r_2} = \frac{1,80}{2,65} = 0,68 \approx 0,70 \Rightarrow p_2 = 4,20$ ;

- за LED осветител (3)  $\frac{d}{r_3} = 0$ ;  $\frac{v}{r_3} = \frac{1,80}{4,42} = 0,41 \approx 0,40 \Rightarrow p_3 = 2,35$ .

За отношението  $\frac{L_{\text{осв}}^2 \varpi}{p^2}$  на двата LED осветителя (2) и (3), които причиняват заслепяващо въздействие, се получава:

$$\frac{L_{\text{осв},(2)}^2 \varpi_2}{p_2^2} = \frac{1792,91^2 \cdot 0,01835}{4,2^2} = 3343,91; \quad \frac{L_{\text{осв},(3)}^2 \varpi_3}{p_3^2} = \frac{731,75^2 \cdot 0,00561}{2,35^2} = 543,94.$$

Резултатите от изчислените стойности на геометричните отношения, видимите светещи площи, габаритните яркости, пространствените ъгли и определените позиционни индекси за всеки един от трите LED осветителя в избраното архивно помещение се представят в табл. П-2.

Таблица П-2. Таблично представяне на изчислените показатели

| LED осветител | $d/r$ | $v/r$ | $A'_{\text{осв}}$ | $L_{\text{осв}}$     | $\varpi$ | $p$    | $\frac{L_{\text{осв}}^2 \varpi}{p^2}$ |
|---------------|-------|-------|-------------------|----------------------|----------|--------|---------------------------------------|
|               | -     | -     | [m <sup>2</sup> ] | [cd/m <sup>2</sup> ] | [sr]     | -      | -                                     |
| (1)           | 0     | 2,10  | 0,30205           | 5904,98              | 0,08012  | > 16,2 | -                                     |
| (2)           | 0     | 0,70  | 0,18794           | 1792,91              | 0,01835  | 4,20   | 3343,91                               |
| (3)           | 0     | 0,40  | 0,12753           | 731,75               | 0,00561  | 2,35   | 543,94                                |

Граничната стойност на показателя обобщена степен на заслепяване за архивното помещение, съгласно БДС EN 12464-1 и прил. 1 е  $R_{\text{UGL}} = 25$ . Показателят обобщена степен на заслепяване  $R_{\text{UG}}$ , който двата LED осветителя (2) и (3) причиняват в посока на наблюдателя, се определя по формула (1.16):

$$R_{\text{UG}} = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_{\text{Б}}} \sum \frac{L_{\text{осв}}^2 \varpi}{p^2} \right) = 8 \log_{10} \left[ \frac{0,25}{L_{\text{пп}}} \left( \frac{L_{\text{осв},(2)}^2 \varpi_2}{p_2^2} + \frac{L_{\text{осв},(3)}^2 \varpi_3}{p_3^2} \right) \right];$$

$$R_{\text{UG}} = 8 \log_{10} \left[ \frac{0,25}{20,48} (3343,91 + 543,94) \right] = 13,41 < R_{\text{UGL}} = 25 \Rightarrow \text{няма заслепяване.}$$

## II. Автоматизирани светлотехнически изчисления на всички помещения със специализиран софтуер

Автоматизираните светлотехнически изчисления за всяко едно помещение от етажа на сградата в архитектурното задание се извършват със светлотехнически софтуерен продукт Relux (v. 2022.3.2.0), като се изпълняват етапите, разглеждани в Глава II от т. 2.1 до т. 2.4 включително.

В представения пример не се предвижда отчитане на утежняващи нормалната зрителна задача условия, следователно не се предвижда и увеличаване на нормираната

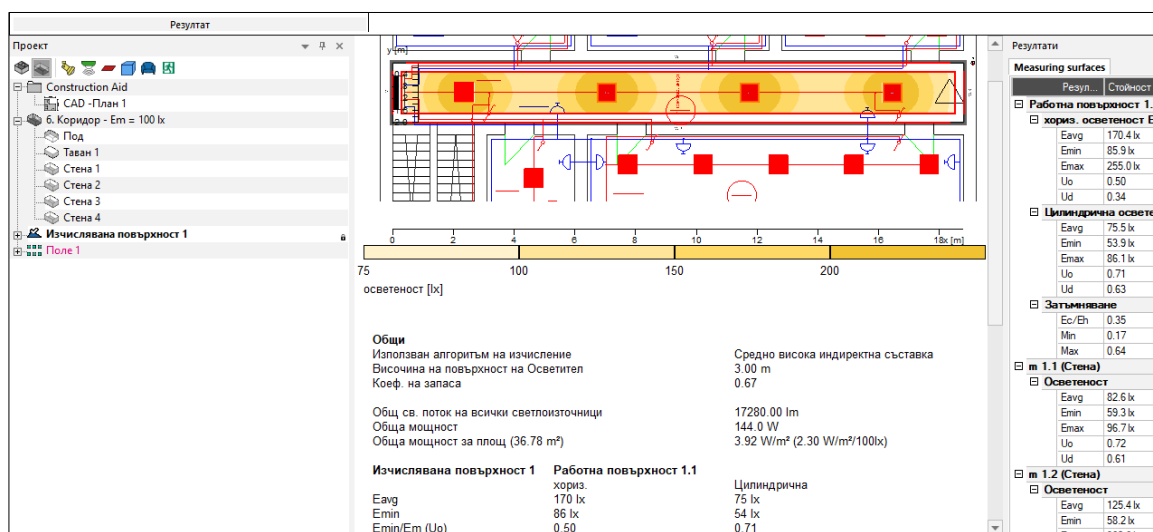


осветеност  $\bar{E}_m$ . В табл. П-3 се представят входните данни за всяко едно помещение. Значението на показателите в табл. П-3 е описано в пояснението към табл. 2.1.

Таблица П-3. Входни данни

| № и име на помещението | x<br>[m] | y<br>[m] | H<br>[m] | $h_{rp}$<br>[m] | $f_m$<br>- | $\rho_r$<br>$\rho_{ст}$<br>$\rho_{rp}$ | БДС EN 12464-1:2021 |       |           |       |                 |                 |                 |
|------------------------|----------|----------|----------|-----------------|------------|----------------------------------------|---------------------|-------|-----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                        |          |          |          |                 |            |                                        | $\bar{E}_m$         | $U_o$ | $R_{UGL}$ | $R_a$ | $\bar{E}_{m,z}$ | $\bar{E}_{m,w}$ | $\bar{E}_{m,c}$ |
|                        |          |          |          |                 |            |                                        | [lx]                | -     | -         | -     | [lx]            | [lx]            | [lx]            |
| 1                      | 2        | 3        | 4        | 5               | 6          | 7                                      | 8                   | 9     | 10        | 11    | 12              | 13              | 14              |
| 1. Кабинет             | 6        | 5,3      | 3        | 0,75            | 0,67       | 0,70<br>0,50<br>0,30                   | 300                 | 0,40  | 80        | 19    | 100             | 100             | 75              |
| 2. Кабинет             | 6        | 5,3      |          | 0,75            |            |                                        | 300                 | 0,40  | 80        | 19    | 100             | 100             | 75              |
| 3. Канцелария          | 6        | 5,3      |          | 0,75            |            |                                        | 500                 | 0,60  | 80        | 19    | 150             | 150             | 100             |
| 4. Конферентна зала    | 12,4     | 5,3      |          | 0,75            |            |                                        | 500                 | 0,60  | 80        | 19    | 150             | 150             | 100             |
| 5. Архив               | 2,9      | 5,3      |          | 0,75            |            |                                        | 200                 | 0,40  | 80        | 25    | 75              | 75              | 50              |
| 6. Коридор             | 18,8     | 2        |          | 0               |            |                                        | 100                 | 0,40  | 40        | 25    | 50              | 50              | 30              |
| 7. Стълбище            | 2,7      | 4,7      |          | 0               |            |                                        | 100                 | 0,40  | 40        | 25    | 50              | 50              | 30              |

На фиг. П-4 е показан екранен прозорец на изходни резултати от реализирани в Relux светлотехнически изчисления за коридор. В табл. П-4 се представят резултатите от извършените светлотехнически изчисления за всички помещения. Значението на показателите в табл. П-4 е описано в пояснението към табл. 2.2. Използват се LED осветители за вграден таванен монтаж, модел 620x620mm-36W-4320lm-4000K, с косинусно светлоразпределение (вж. фиг. 1.3 при  $C90^\circ$ ).



Фиг. П-4. Изходни резултати от светлотехнически изчисления със софтуер Relux за коридор

Таблица П-4. Резултати от светлотехнически изчисления за отделните помещения

| № и име на помещението | Данни за осветителя |      |                     |       |       |       | Реализирани показатели |       |          |             |             |             |                   |  |
|------------------------|---------------------|------|---------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------------|--|
|                        | $N$                 | $IP$ | $\Phi_{\text{осв}}$ | $P_o$ | $T_c$ | $R_a$ | $\bar{E}_{\text{cp}}$  | $U_o$ | $R_{UG}$ | $\bar{E}_z$ | $\bar{E}_w$ | $\bar{E}_c$ | $W/m^2$<br>100 lx |  |
|                        | -                   | -    | [lm]                | [W]   | [K]   | -     | [lx]                   | -     | -        | [lx]        | [lx]        | [lx]        |                   |  |
| $l$                    | 2                   | 3    | 4                   | 5     | 6     | 7     | 8                      | 9     | 10       | 11          | 12          | 13          | 14                |  |
| 1. Кабинет             | 6                   | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 423                    | 0,84  | 18,9     | 185         | 264         | 94          | 1,60              |  |
| 2. Кабинет             | 6                   | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 423                    | 0,84  | 18,9     | 185         | 264         | 94          | 1,60              |  |
| 3. Канцелария          | 9                   | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 622                    | 0,83  | 18,9     | 276         | 292         | 142         | 1,64              |  |
| 4. Конферентна зала    | 15                  | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 554                    | 0,77  | 19       | 255         | 339         | 122         | 1,48              |  |
| 5. Архив               | 2                   | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 250                    | 0,79  | 18,7     | 100         | 157         | 58          | 1,88              |  |
| 6. Коридор             | 4                   | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 170                    | 0,50  | 10       | 76          | 104         | 51          | 2,30              |  |
| 7. Стълбище            | 1                   | 20   | 4320                | 36    | 4000  | 84    | 157                    | 0,41  | 19,5     | 76          | 95          | 32          | 1,80              |  |

### III. Проектиране на осветителна и силова инсталация

**III-1. Определяне на броя, местоположението и мощността на осветителите, ключовете за осветление и контактите в помещенията, броя и местоположението на разпределителните табла. Групиране на осветителни и контактни излази по токови кръгове**

Определянето на броя, местоположението и мощността на осветителите, ключовете за осветление и контактите в помещенията, броя и местоположението на разпределителните табла и групиране на осветителните и контактни излази по токови кръгове се извършва, съгласно описаното в т. 3.2, т. 3.3 и т. 3.4 към Глава III при спазване на изискванията на Наредба 3. Броят, местоположението и мощността на избраните LED осветители е известен в резултат от извършените автоматизирани светлотехнически изчисления при удовлетворяване на нормативните изисквания по БДС EN 12464-1:2021.

На фиг. П-5, в точка 4. Графична част, е показан инсталационен план с местоположението на осветители, ключове за осветление, контакти, етажно разпределително табло (тип ГРТ), групиране на осветителните и контактни излази по токови кръгове с пояснителни данни – реализирана и нормирана осветеност, брой и мощност на осветителите и контактите. Етажното разпределително табло е от тип ГРТ, което захранва пет токови кръга – три токови кръга за осветление с LED осветители с единична мощност 36 W, и два токови кръга за обикновени контакти с единична мощност 250 W. Предвид функционалното предназначение на помещенията, не се предвиждат усиления контакти.

**III-2. Определяне на електрическите товари на токовите кръгове за осветление и контакти, и на етажното разпределително табло**

Определянето на максималните продължителни товари започва от токовите кръгове и завършва с разпределителното табло. От данните на фиг. П-5 се вижда, че етажът на административната сграда има общо пет токови кръга, от които: три токови кръга с осветителни излази за общо равномерно осветление и два токови кръга с контактни излази.

Към токовите кръгове за осветление се използват еднотипни LED осветители за общо осветление в отделните помещения. Сумарната мощност на LED източниците в един осветител е  $p_{\text{си}} = 36 \text{ W}$ . Приемат се загуби в ПРА 10%, които трябва да се прибавят към  $p_{\text{си}}$ . Изчисляват се инсталираните активни мощности на токовите кръгове за осветление с помощта на израз (3.2), като към мощността на LED източниците  $p_{\text{си}}$  се прибавят и загубите на мощност в ПРА в осветителя, оценявани с  $k_{\text{ПРА}} = 1,1$ .

Токов кръг № 1 захранва 21 броя LED осветители ( $n_o = 21$  – фиг. П-5) в три помещения: № 1, 2 и 3; инсталираната мощност за осветление е:

$$P_{\text{но},1} = \sum_{i=1}^{21} k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = 1,1 \cdot 21 \cdot 36 = 831,6 \text{ W}.$$

Токов кръг № 2 захранва 17 броя LED осветители ( $n_o = 17$  – фиг. П-5) в две помещения: № 4 и 5; инсталираната мощност за осветление е:

$$P_{\text{но},2} = \sum_{i=1}^{17} k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = 1,1 \cdot 17 \cdot 36 = 673,2 \text{ W}.$$

Токов кръг № 3 захранва 5 броя LED осветители ( $n_o = 5$  – фиг. П-5) в две помещения: № 6 и 7; инсталираната мощност за осветление е:

$$P_{\text{но},3} = \sum_{i=1}^5 k_{\text{ПРА}} p_{\text{си}} = 1,1 \cdot 5 \cdot 36 = 198 \text{ W}.$$

Токовете кръгове за контактни излази захранват обикновени контакти с условна единична мощност 250 W. Изчисляват се инсталираните активни мощности на токовете кръгове с контактни излази с помощта на израз (3.4):

Токов кръг № 4 захранва 12 броя обикновени контакти ( $n_k = 12$ ); инсталираната мощност е:

$$P_{ик,4} = \sum_{i=1}^{n_k=12} p_{ки} = 12 \cdot 250 = 3000 \text{ W}.$$

Токов кръг № 5 захранва 11 броя обикновени контакти ( $n_k = 11$ ); инсталираната мощност е:

$$P_{ик,5} = \sum_{i=1}^{n_k=11} p_{ки} = 11 \cdot 250 = 2750 \text{ W}.$$

От табл. 3.2 за коефициентите на търсене за ГРТ на етажа от административната сграда се получава: за осветителни излази  $K_{то} = 1$ ; за контактни излази  $K_{тк} = 0,3$ . Максималната продължителна активна мощност на ГРТ е:

$$P_{м,грт} = K_{то} \sum_{i=1}^{n_{ко}=43} P_{но} + K_{тк} \sum_{i=1}^{n_{кк}=23} P_{ик} = 1 \cdot 1702,8 + 0,3 \cdot 5750 = 3427,8 \text{ W}.$$

### III-3. Избор на защитна апаратура на токови кръгове и ГРТ

Токовете кръгове, захранващи осветителни и контактни излази, са еднофазни –  $U_{\phi} = 230 \text{ V}$ ; приема се, че факторът на мощността  $\cos \varphi = 0,9$ .

Токов кръг № 1, захранващ осветителен товар с максимална продължителна мощност  $P_{м1} = P_{но,1} = 831,6 \text{ W}$ , има максимален продължителен ток  $I_{м,1}$ , изчислен съгласно израз (3.9):

$$I_{м,1} = \frac{P_{м,1}}{U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{831,6}{230 \cdot 0,9} = 4,02 \text{ A} \Rightarrow$$

избира се (от табл. 3.6) еднополюсен автоматичен прекъсвач с ток на термичния изключвател  $I_r = I_n = 6 \text{ A}$  и крива на изключване С.

Токов кръг № 2, захранващ осветителен товар с максимална продължителна мощност  $P_{м2} = P_{но,2} = 673,2 \text{ W}$ , има максимален продължителен ток  $I_{м,2}$ :

$$I_{м,2} = \frac{P_{м,2}}{U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{673,2}{230 \cdot 0,9} = 3,25 \text{ A} \Rightarrow$$

избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с  $I_r = I_n = 6 \text{ A}$  и крива на изключване С.

Токов кръг № 3, захранващ осветителен товар с максимална продължителна мощност  $P_{м3} = P_{но,3} = 198 \text{ W}$ , има максимален продължителен ток  $I_{м,3}$ :

$$I_{м,3} = \frac{P_{м,3}}{U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{198}{230 \cdot 0,9} = 0,96 \text{ A} \Rightarrow$$

избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с  $I_r = I_n = 6 \text{ A}$  и крива на изключване С.

Токов кръг № 4, захранващ обикновени контактни излази с максимална продължителна мощност  $P_{м4} = P_{но,4} = 3000 \text{ W}$ , има максимален продължителен ток  $I_{м,4}$ :

$$I_{м,4} = \frac{P_{м,4}}{U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{3000}{230 \cdot 0,9} = 14,49 \text{ A} \Rightarrow$$

избира се (от табл. 3.7) еднополюсен автоматичен прекъсвач с вградена ДТЗ с  $I_n = 16 \text{ A}$ , крива на изключване С и ток на сработване на ДТЗ  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ .

Токов кръг № 5, захранващ обикновени контактни излази с максимална продължителна мощност  $P_{м5} = P_{но,5} = 2750 \text{ W}$ , има максимален продължителен ток  $I_{м,5}$ :

$$I_{м,5} = \frac{P_{м,5}}{U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{2750}{230.0,9} = 13,29 \text{ A} \Rightarrow$$

избира се еднополюсен автоматичен прекъсвач с вградена ДТЗ с  $I_n = 16 \text{ A}$ , крива на изключване С и ток на сработване на ДТЗ  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ .

Максималният продължителен ток на ГРТ  $I_{м,грт}$  се изчислява за трифазна линия с израз (3.10):

$$I_{м,грт} = \frac{P_{м,грт}}{\sqrt{3}U_{л} \cos \varphi} = \frac{3427,8}{\sqrt{3}.400.0,9} = 5,50 \text{ A} \Rightarrow$$

избира се (от табл. 3.6) триполюсен автоматичен прекъсвач с ток на термичния изключвател  $I_T = I_n = 25 \text{ A}$  и крива на изключване С при спазване на практическото правило за селективност – номиналните токове на изключвателите на последователно свързани автоматични прекъсвачи да се различават най-малко с две степени [8,19].

#### III-4. Проверка на сечението на проводниците по допустима загуба на напрежение

В електропроектантската практика от гледна точка на минимален разход на цветен метал минималното заложено (избрано) сечение за линии, захранващи осветителни излази, е  $S_{\min} = 1,5 \text{ mm}^2$ ; за линии, захранващи обикновени контактни излази с работен ток  $\leq 10 \text{ A}$  –  $S_{\min} = 2,5 \text{ mm}^2$ . Предварително заложените минимални сечения на токовете кръгове се проверяват по условието за допустима загуба на напрежение  $\Delta U_{\text{доп}}$ , разглеждана в т. 3.7.3 към Глава III. Допустимата загуба на напрежение в електрически мрежи ниско напрежение за вътрешни инсталации в сгради от крайното разпределително табло до най-отдалечения излаз на токовия кръг е  $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5 \%$ . Действителната загуба на напрежение  $\Delta U$  се изчислява с израз (3.17) за токови кръгове с:

- най-голяма максимална продължителна инсталирана мощност, в [kW];
- най-голяма дължина, в [m].

Стойността на корекционният коефициент  $K$  в израз (3.17) за изчисляване на загубата на напрежение при фактор на мощността  $\cos \varphi = 0,9$  е  $K = 1$  (табл. 3.14); стойността на коефициента  $C$  при номинално напрежение  $230 \text{ V}$  и околна температура  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  за меден проводник е  $C = 14,5 \text{ kW.m/mm}^2$  (табл. 3.15).

За установяване на най-дългия токов кръг се използва инсталационния план на фиг. П-5, като дължините  $l_i$  на отделните отклонения (участъци) се измерват при спазване на мащаба. Токови кръгове № 1 и 5 имат най-голяма дължина. В резултат на извършените по-горе изчисления се установява, че токов кръг № 4 има най-голяма инсталирана мощност –  $3 \text{ kW}$ . Следователно  $\Delta U$  се изчислява за токови кръгове № 1, 4 и 5.

Загубата на напрежение на токов кръг № 1 за захранване на осветителни излази, който има три участъка ( $i = 1 \div 3$ ) (фиг. П-5), е:

$$\Delta U_{\text{т.к.1}} = \sum_{i=1}^{n=3} K_i \frac{P_{м,i} l_i}{C_i S_i} = \Delta U_{1-1} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{1-3} \leq U_{\text{доп}} = 2,5\%;$$

$$\Delta U_{\text{т.к.1}} = \sum_{i=1}^{n=3} K_i \frac{P_{м,i} l_i}{C_i S_i} = 1,1 \cdot \frac{0,216.15,49}{14,5.1,5} + 1,1 \cdot \frac{0,216.21,89}{14,5.1,5} + 1,1 \cdot \frac{0,324.28,9}{14,5.1,5} = 0,88\% < 2,5\% \Rightarrow$$

избраното сечение по условието допустима загуба на напрежение е изпълнено.

Загубата на напрежение на токов кръг № 4 за захранване на обикновени контактни излази, който има три участъка ( $i = 1 \div 3$ ) (фиг. П-5), е:

$$\Delta U_{\text{т.к.4}} = \sum_{i=1}^{n=3} K_i \frac{P_{\text{м},i} l_i}{C_i S_i} = \Delta U_{4-1} + \Delta U_{4-2} + \Delta U_{4-3} \leq U_{\text{доп}} = 2,5\%;$$

$$\Delta U_{\text{т.к.4}} = \sum_{i=1}^{n=3} K_i \frac{P_{\text{м},i} l_i}{C_i S_i} = 1,1 \cdot \frac{1,14,98}{14,5.2,5} + 1,1 \cdot \frac{1,21,75}{14,5.2,5} + 1,1 \cdot \frac{1,28,53}{14,5.2,5} = 1,98\% < 2,5\% \Rightarrow$$

избраното сечение по условието допустима загуба на напрежение е изпълнено.

Загубата на напрежение на токов кръг № 5 за захранване на обикновени контактни излази, който има два участъка ( $i = 1 \div 2$ ) (фиг. П-5), е:

$$\Delta U_{\text{т.к.5}} = \sum_{i=1}^{n=3} K_i \frac{P_{\text{м},i} l_i}{C_i S_i} = \Delta U_{5-1} + \Delta U_{5-2} \leq U_{\text{доп}} = 2,5\%;$$

$$\Delta U_{\text{т.к.5}} = \sum_{i=1}^{n=3} K_i \frac{P_{\text{м},i} l_i}{C_i S_i} = 1,1 \cdot \frac{1,10,93}{14,5.2,5} + 1,1 \cdot \frac{1,75.28,43}{14,5.2,5} = 1,84\% < 2,5\% \Rightarrow$$

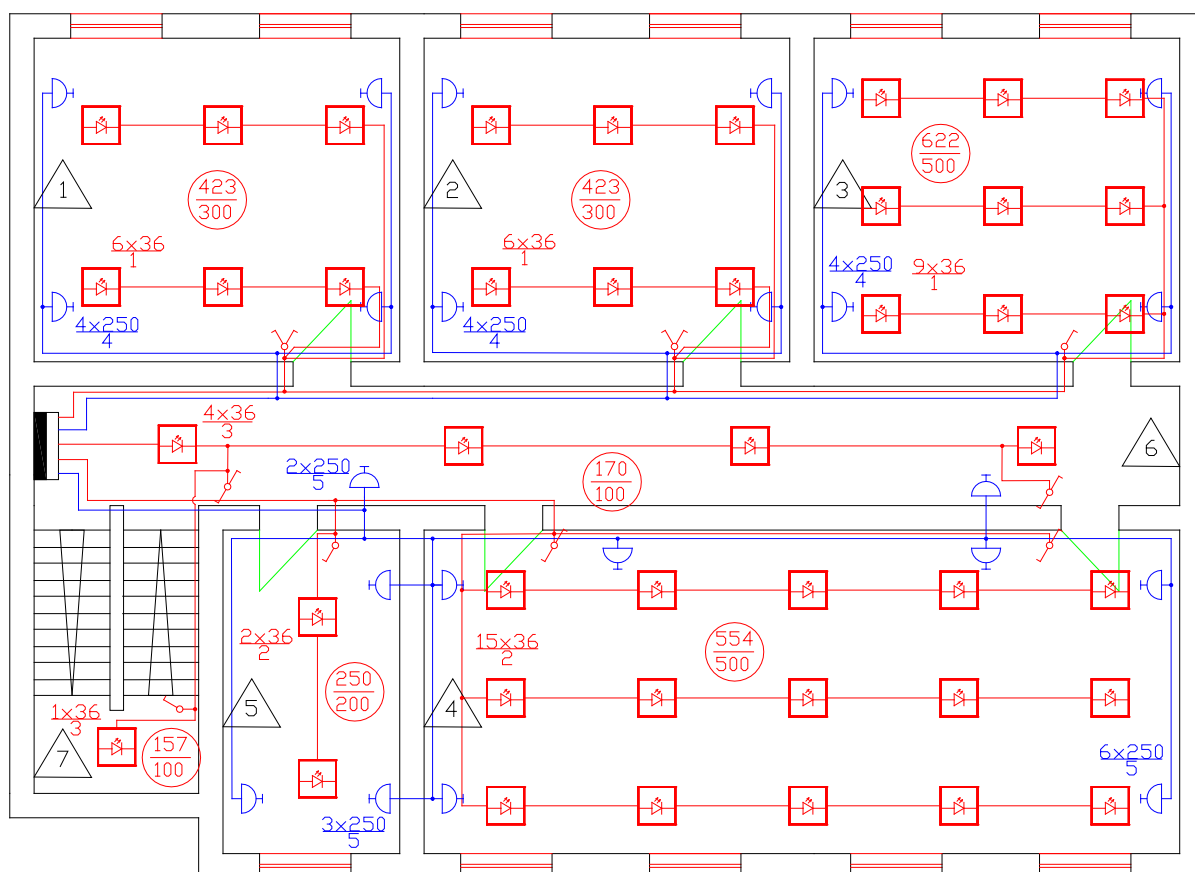
избраното сечение по условието допустима загуба на напрежение е изпълнено.

#### 4. Графична част

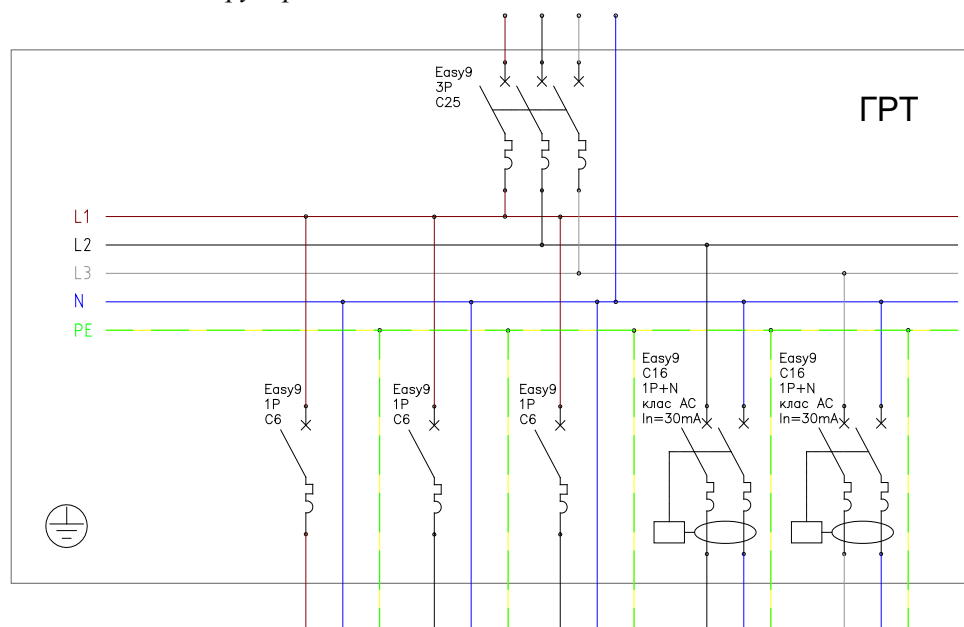
Графичната част съдържа:

- инсталационен план, подготвен във формат А3, с местоположението на осветителите, ключовете за осветление, контактите, етажното разпределително табло, групирването на осветителните и контактни излази по токови кръгове с пояснителни данни – реализирана и нормирана осветеност, брой и мощност на осветителите и контактите (фиг. П-5);

- еднолинейна схема на етажното разпределително табло (фиг. П-6), подготвена във формат А4.



Фиг. II-5. Инсталационен план с местоположението на осветители, ключове, контакти, разпределително табло и групиране на осветителни и контактни излази по токови кръгове



| Предназначение           | Осветление                                                                                                                  | Осветление | Осветление | Контакти | Контакти |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|----------|----------|
| Токов кръг №             | 1                                                                                                                           | 2          | 3          | 4        | 5        |
| $P_M$ , [W]              | 831,6                                                                                                                       | 673,2      | 198        | 3000     | 2750     |
| $I_M$ , [A]              | 4,02                                                                                                                        | 3,25       | 0,96       | 14,49    | 13,29    |
| $S$ , [mm <sup>2</sup> ] | 3x1,5                                                                                                                       | 3x1,5      | 3x1,5      | 3x2,5    | 3x2,5    |
| Етажно табло тип         | ГРТ: $P_{\text{инсталирана}} = 7452,8 \text{ W}$ ; $P_M = 3427,8 \text{ W}$ при $K_{\text{то}} = 1$ и $K_{\text{тк}} = 0,3$ |            |            |          |          |

Фиг. II-6. Еднолинейна схема на етажното разпределително табло

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Нормативни светлотехнически изисквания за типични помещения (повърхности), зрителни задачи и дейности, съгласно БДС EN 12464-1:2021

| Тип помещение, зрителна задача или дейност     | $\bar{E}_m$<br>[lx] |       | $U_o$ | $R_a$ | $R_{UGL}$ | $\bar{E}_{m,z}$<br>[lx] | $\bar{E}_{m,wall}$<br>[lx] | $\bar{E}_{m,ceiling}$<br>[lx] |
|------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                                                | (a)                 | (b)   |       |       |           | $U_o \geq 0,10$         |                            |                               |
|                                                |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Зони за движения и места с общо предназначение |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Коридори, стълби                               | 100                 | 150   | 0,40  | 40    | 28        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Ескалатори, асансьори за персонал и посетители | 100                 | 150   | 0,40  | 40    | 25        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Входни зали                                    | 100                 | 200   | 0,40  | 80    | 22        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Чакални                                        | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Каси и гишета за билети                        | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Служебни асансьори                             | 200                 | 300   | 0,60  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Общи зони вътре в сгради                       |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Стаи за почивка                                | 100                 | 200   | 0,40  | 80    | 22        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Стаи за физически упражнения                   | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Складови помещения                             | 100                 | 150   | 0,40  | 80    | 25        | 100                     | 50                         | 30                            |
| Умивални, бани, тоалетни                       | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 25        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Офиси                                          |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Преснемане, копиране и др.                     | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Писане, машинопис, четене, обработка на данни  | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Техническо чертане                             | 750                 | 1 500 | 0,70  | 80    | 16        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Конференции и заседания                        | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Приемни гишета                                 | 300                 | 750   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Архиви                                         | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 25        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Помещения за магазини                          |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Щандове за продажби                            | 300                 | 750   | 0,40  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Каси, места за опаковане                       | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | -                          | 50                            |
| Ресторанти и хотели                            |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Рецепции, портиерни                            | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Кухня                                          | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Ресторант на самообслужване                    | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Учебни заведения                               |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Детски ясли, стаи за игра                      | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Трудово обучение                               | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Класни стаи                                    | 500                 | 1 000 | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Аудитории, лекционни зали                      | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Черна, зелена и бяла дъска                     | 500                 | 750   | 0,70  | 80    | 19        | -                       | -                          | -                             |
| Интерактивна дъска                             | 200                 | 300   | 0,60  | 80    | 19        | -                       | -                          | -                             |
| Помещения за езиково и компютърно обучение     | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Зали за обучение по музика                     | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Зали за изкуства в училища                     | 750                 | 1 000 | 0,70  | 90    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Учебни работилници и лаборатории               | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |

Приложение 1. Нормативни светлотехнически изисквания... – продължение

| Тип помещение, зрителна задача или дейност                          | $\bar{E}_m$<br>[lx] |       | $U_o$ | $R_a$ | $R_{UGL}$ | $\bar{E}_{m,z}$<br>[lx] | $\bar{E}_{m,wall}$<br>[lx] | $\bar{E}_{m,ceiling}$<br>[lx] |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                                                                     | (a)                 | (b)   |       |       |           | $U_o \geq 0,10$         |                            |                               |
|                                                                     |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Учебни заведения                                                    |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Учителски стаи                                                      | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 50                            |
| Библиотеки – читални                                                | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 50                            |
| Библиотеки – лавици за книги                                        | 200                 | 300   | 0,60  | 80    | 19        | -                       | -                          | -                             |
| Спортни зали, гимнастически салони, плувни басейни                  | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 75                         | 30                            |
| Столове за хранене в училища                                        | 200                 | 300   | 0,40  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 50                            |
| Кухня                                                               | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Театри, концертни зали, кинозалони, места за представления, изложби |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Зали за репетиции                                                   | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Гримьорни                                                           | 300                 | 500   | 0,60  | 90    | 22        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Зони с места за сядане                                              | 200                 | 500   | 0,50  | 80    | 22        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Театрална сцена                                                     | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 25        | 75                      | 75                         | 30                            |
| Общо осветление за изложбени зали                                   | 300                 | 500   | 0,40  | 80    | 22        | 50                      | 50                         | 30                            |
| Промислени и занаятчийски дейности                                  |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Лаборатории за изпитване, измерване и проверка                      | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 75                            |
| Технологични процеси с постоянно заети работни места                | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 25        | 100                     | 100                        | 50                            |
| Производство на кабели и проводници                                 | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 25        | 100                     | 100                        | 50                            |
| Производство на електронни елементи и настройване                   | 1 500               | 2 000 | 0,70  | 80    | 16        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Проверка на цветовете                                               | 1 000               | 1 500 | 0,70  | 90    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Заваряване, галванизирание                                          | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 22        | 75                      | 75                         | 30                            |
| Сортиране на хартия и ръчен печат                                   | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 75                            |
| Сноване, тъкане, преплитане, плетене                                | 500                 | 750   | 0,60  | 60    | 22        | 150                     | 150                        | 75                            |
| Шев, фино плетиво, улавяне на бримки                                | 750                 | 1 500 | 0,70  | 80    | 22        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Общо обслужване и ремонт на пътни превозни средства                 | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 22        | 100                     | 50                         | 50                            |
| Здравни заведения                                                   |                     |       |       |       |           |                         |                            |                               |
| Отделения за обикновени медицински прегледи                         | 300                 | 500   | 0,60  | 80    | 19        | 100                     | 100                        | 75                            |
| Отделения за специализирани прегледи и лечение                      | 1 000               | 1 500 | 0,70  | 90    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Операционни зали                                                    | 1 000               | 1 500 | 0,60  | 90    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Клинични лаборатории                                                | 500                 | 750   | 0,60  | 80    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Зъболекарски кабинети – общо осветление                             | 500                 | 750   | 0,60  | 90    | 19        | 150                     | 150                        | 100                           |
| Зъболекарски кабинети – осветление около пациента                   | 1 000               | 1 500 | 0,70  | 90    | -         | 150                     | 150                        | 100                           |



*Приложение 2. Таблично представяне на зависимостта  $p = f(d/r, v/r)$  за определяне на позиционния фактор  $p$*

| $d/r$ | $v/r$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 0,00  | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10  | 1,20  | 1,30  | 1,40  | 1,50  | 1,60  | 1,70  | 1,80  | 1,90  |
| 0,00  | 1,00  | 1,26 | 1,53 | 1,90 | 2,35 | 2,86 | 3,50 | 4,20 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 8,10  | 9,25  | 10,35 | 11,70 | 13,15 | 14,70 | 16,20 | -     | -     |
| 0,10  | 1,05  | 1,22 | 1,46 | 1,80 | 2,20 | 2,75 | 3,40 | 4,10 | 4,80 | 5,80 | 6,80 | 8,00  | 9,10  | 10,30 | 11,60 | 13,00 | 14,60 | 16,10 | -     | -     |
| 0,20  | 1,12  | 1,30 | 1,50 | 1,80 | 2,20 | 2,66 | 3,18 | 3,88 | 4,60 | 5,50 | 6,50 | 7,60  | 8,85  | 9,85  | 11,20 | 12,70 | 14,00 | 15,70 | -     | -     |
| 0,30  | 1,22  | 1,38 | 1,60 | 1,87 | 2,25 | 2,70 | 3,25 | 3,90 | 4,60 | 5,45 | 6,45 | 7,40  | 8,40  | 9,50  | 10,85 | 12,10 | 13,70 | 15,00 | -     | -     |
| 0,40  | 1,32  | 1,47 | 1,70 | 1,96 | 2,35 | 2,80 | 3,30 | 3,90 | 4,60 | 5,40 | 6,40 | 7,30  | 8,30  | 9,40  | 10,60 | 11,90 | 13,20 | 14,60 | 16,00 | -     |
| 0,50  | 1,43  | 1,60 | 1,82 | 2,10 | 2,48 | 2,91 | 3,40 | 3,98 | 4,70 | 5,50 | 6,40 | 7,30  | 8,30  | 9,40  | 10,50 | 11,75 | 13,00 | 14,40 | 15,70 | -     |
| 0,60  | 1,55  | 1,72 | 1,98 | 2,30 | 2,65 | 3,10 | 3,80 | 4,10 | 4,80 | 5,50 | 6,40 | 7,35  | 8,40  | 9,40  | 10,50 | 11,70 | 13,00 | 14,10 | 15,40 | -     |
| 0,70  | 1,70  | 1,86 | 2,12 | 2,48 | 2,87 | 2,30 | 3,78 | 4,30 | 4,88 | 5,60 | 6,50 | 7,40  | 8,50  | 9,50  | 10,50 | 11,70 | 12,85 | 14,00 | 15,20 | -     |
| 0,80  | 1,82  | 2,00 | 2,32 | 2,70 | 3,08 | 3,50 | 3,92 | 4,50 | 5,10 | 5,75 | 6,60 | 7,60  | 8,60  | 9,50  | 10,60 | 11,75 | 12,80 | 14,00 | 15,10 | -     |
| 0,90  | 1,95  | 2,20 | 2,54 | 2,90 | 3,30 | 3,70 | 4,20 | 4,75 | 5,30 | 6,00 | 6,75 | 7,70  | 8,70  | 9,65  | 10,75 | 11,80 | 12,90 | 14,00 | 15,00 | 16,00 |
| 1,00  | 2,11  | 2,40 | 2,75 | 3,10 | 3,60 | 3,91 | 4,40 | 5,00 | 5,60 | 6,20 | 7,00 | 7,90  | 8,90  | 9,75  | 10,80 | 11,90 | 12,95 | 14,00 | 15,00 | 16,00 |
| 1,10  | 2,30  | 2,55 | 2,92 | 3,30 | 3,72 | 4,20 | 4,70 | 5,25 | 5,80 | 6,55 | 7,20 | 8,15  | 9,00  | 9,90  | 10,95 | 12,00 | 13,00 | 14,00 | 15,00 | 16,00 |
| 1,20  | 2,40  | 2,75 | 3,12 | 3,50 | 3,90 | 4,35 | 4,85 | 5,50 | 6,05 | 6,70 | 7,50 | 8,30  | 9,20  | 10,00 | 11,02 | 12,10 | 13,10 | 14,00 | 15,00 | 16,00 |
| 1,30  | 2,55  | 2,90 | 3,30 | 3,70 | 4,20 | 4,65 | 5,20 | 5,70 | 6,30 | 7,00 | 7,70 | 8,55  | 9,35  | 10,20 | 11,20 | 12,25 | 13,20 | 14,00 | 15,00 | 16,00 |
| 1,40  | 2,70  | 3,10 | 3,50 | 3,90 | 4,35 | 4,85 | 5,35 | 5,85 | 6,50 | 7,25 | 8,00 | 8,70  | 9,50  | 10,40 | 11,40 | 12,40 | 13,25 | 14,05 | 15,00 | 16,00 |
| 1,50  | 2,85  | 3,15 | 3,65 | 4,10 | 4,55 | 5,00 | 5,50 | 6,20 | 6,80 | 7,50 | 8,20 | 8,85  | 9,70  | 10,55 | 11,50 | 12,50 | 13,30 | 14,05 | 15,02 | 16,00 |
| 1,60  | 2,95  | 3,40 | 3,80 | 4,25 | 4,75 | 5,20 | 5,75 | 6,30 | 7,00 | 7,65 | 8,40 | 9,00  | 9,80  | 10,80 | 11,75 | 12,60 | 13,40 | 14,20 | 15,10 | 16,00 |
| 1,70  | 3,10  | 3,55 | 4,00 | 4,50 | 4,90 | 5,40 | 5,95 | 6,50 | 7,20 | 7,80 | 8,50 | 9,20  | 10,00 | 10,85 | 11,85 | 12,75 | 13,45 | 14,20 | 15,10 | 16,00 |
| 1,80  | 3,25  | 3,70 | 4,20 | 4,85 | 5,10 | 5,60 | 6,10 | 6,75 | 7,40 | 8,00 | 8,65 | 9,35  | 10,10 | 11,00 | 11,90 | 12,80 | 13,50 | 14,20 | 15,10 | 16,00 |
| 1,90  | 3,43  | 3,86 | 4,30 | 4,75 | 5,20 | 5,70 | 6,30 | 6,90 | 7,50 | 8,17 | 8,80 | 9,50  | 10,20 | 11,00 | 12,00 | 12,82 | 13,55 | 14,20 | 15,10 | 16,00 |
| 2,00  | 3,50  | 4,00 | 4,50 | 4,90 | 5,35 | 5,80 | 6,40 | 7,10 | 7,70 | 8,30 | 8,90 | 9,60  | 10,40 | 11,10 | 12,00 | 12,85 | 13,60 | 14,30 | 15,10 | 16,00 |
| 2,10  | 3,60  | 4,17 | 4,65 | 5,05 | 5,50 | 6,00 | 6,60 | 7,20 | 7,82 | 8,45 | 9,00 | 9,75  | 10,50 | 11,20 | 12,10 | 12,90 | 13,70 | 14,35 | 15,10 | 16,00 |
| 2,20  | 3,75  | 4,25 | 4,72 | 5,20 | 5,60 | 6,10 | 6,70 | 7,35 | 8,00 | 8,55 | 9,15 | 9,85  | 10,60 | 11,30 | 12,20 | 12,90 | 13,70 | 14,40 | 15,15 | 16,00 |
| 2,30  | 3,85  | 4,35 | 4,80 | 5,25 | 5,70 | 6,22 | 6,80 | 7,40 | 8,10 | 8,65 | 9,30 | 9,90  | 10,70 | 11,40 | 12,20 | 12,95 | 13,70 | 14,40 | 15,20 | 16,00 |
| 2,40  | 3,95  | 4,40 | 4,90 | 5,35 | 5,80 | 6,30 | 6,90 | 7,50 | 8,20 | 8,80 | 9,40 | 10,00 | 10,80 | 11,50 | 12,25 | 13,00 | 13,75 | 14,45 | 15,20 | 16,00 |
| 2,50  | 4,00  | 4,50 | 4,95 | 5,40 | 5,85 | 6,40 | 6,95 | 7,55 | 8,25 | 8,85 | 9,50 | 10,05 | 10,85 | 11,55 | 12,30 | 13,00 | 13,80 | 14,50 | 15,25 | 16,00 |
| 2,60  | 4,07  | 4,55 | 5,05 | 5,47 | 5,95 | 6,45 | 7,00 | 7,65 | 8,35 | 8,95 | 9,55 | 10,10 | 10,90 | 11,60 | 12,32 | 13,00 | 13,80 | 14,50 | 15,25 | 16,00 |
| 2,70  | 4,10  | 4,60 | 5,10 | 5,53 | 6,00 | 6,50 | 7,05 | 7,70 | 8,40 | 9,00 | 9,60 | 10,16 | 10,92 | 11,60 | 12,35 | 13,00 | 13,80 | 14,50 | 15,25 | 16,00 |
| 2,80  | 4,15  | 4,62 | 5,15 | 5,56 | 6,05 | 6,55 | 7,08 | 7,73 | 8,45 | 9,05 | 9,65 | 10,20 | 10,95 | 11,65 | 12,35 | 13,00 | 13,80 | 14,50 | 15,25 | 16,00 |
| 2,90  | 4,20  | 4,65 | 5,17 | 5,60 | 6,07 | 6,57 | 7,12 | 7,76 | 8,50 | 9,10 | 9,70 | 10,23 | 10,95 | 11,65 | 12,35 | 13,00 | 13,80 | 14,50 | 15,25 | 16,00 |
| 3,00  | 4,22  | 4,67 | 5,20 | 5,65 | 6,12 | 6,60 | 7,15 | 7,80 | 8,55 | 9,12 | 9,70 | 10,23 | 10,95 | 11,65 | 12,35 | 13,00 | 13,80 | 14,50 | 15,25 | 16,00 |

Приложение 3. Условни знаци на елементи от електрическата инсталация

| Символ | Значение                                                                                                                 |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Главно разпределително табло                                                                                             |
|        | Междинно разпределително табло                                                                                           |
|        | Крайно разпределително табло                                                                                             |
|        | Еднополюсен (1P) автоматичен прекъсвач                                                                                   |
|        | Триполюсен (3P) автоматичен прекъсвач                                                                                    |
|        | Двуполусна (1P+N) дефектнотокова защита с вграден автоматичен прекъсвач                                                  |
|        | Предпазител                                                                                                              |
|        | Осветител със светодиодни лампи                                                                                          |
|        | Висяща фасунга                                                                                                           |
|        | Стенна фасунга                                                                                                           |
|        | Сензор за движение                                                                                                       |
|        | Обикновен ключ                                                                                                           |
|        | Сериен (двоен) ключ                                                                                                      |
|        | Девиаторен ключ                                                                                                          |
|        | Кръстат ключ                                                                                                             |
|        | Бобина на импулсно реле                                                                                                  |
|        | Контакт (бутон) на импулсно реле                                                                                         |
|        | Еднофазен единичен контакт със защитна клема                                                                             |
|        | Трифазен единичен контакт със защитна клема                                                                              |
|        | Влагозащитен ключ или контакт                                                                                            |
|        | Разклонителна кутия                                                                                                      |
|        | Електрическа трипроводна линия (токов кръг), изпълнена с мостов меден проводник ПВВ-М1 със сечение 3x1,5 mm <sup>2</sup> |

## ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 12464-1:2021 – Светлина и осветление. Осветление на работни места. Част 1: Работни места на закрито.
2. БДС EN 15193-1:2017+A1:2021 - Енергийни характеристики на сгради. Енергийни изисквания за осветление. Част 1: Спецификации, модул M9.
3. БДС EN 60947-1:2007 – Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 1: Общи правила. (IEC 60947-1:2020).
4. БДС EN 60947-2:2018 – Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 2: Автоматични прекъсвачи (IEC 60947-2:2016 + Cor 1:2016).
5. БДС EN IEC 63129:2020 – Определяне на характеристиките на пусков ток на продукти за осветление.
6. БДС HD 60364-4-43:2010 (IEC 60364-4-43) – Електрически уредби за ниско напрежение. Част 4-43: Защити за безопасност. Защита срещу свръхток.
7. Василев, Н. Промислено осветление, София, Техника, 1973.
8. Василев, Н., С. Сидеров. Ръководство по проектиране на електроснабдителни системи на промишлени предприятия, София, Техника, 1988.
9. Делегиран регламент (ЕС) 2019/2015 на комисията от 11.03.2019 г. за допълнение на Регламент (ЕС) 2017/1369 на Европейския парламент и на Съвета по отношение на енергийното етикетиране на светлинни източници и за отмяна на Делегиран регламент (ЕС) № 874/2012 на Комисията.
10. Диканаров, Г., Д. Деянов. Проектиране на осветителна и инсталационна техника. София, АВС Техника, ISBN 954-8873-50.
11. Иванов, З. Осветителна и инсталационна техника. София, Авангард Прима, 2010.
12. Наредба № 1 от 27 май 2010 г. за проектиране, изграждане и поддържане на електрически уредби за ниско напрежение в сгради.
13. Наредба № 3 от 9 юни 2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии.
14. Наредба № 6 от 24 февруари 2014 г. за присъединяване на производители и клиенти на електрическа енергия към преносната или към разпределителните електрически мрежи.
15. Пачаманов, А. Електроснабдяване и осветителна техника – учебно помагало. Част I: Основи на осветителната техника. Част II. Проектиране на осветителни уредби и електрически инсталации. София, ТУ-София, 2002, ISBN 954-483-253-4.
16. Петринска, И. Ръководство за лабораторни упражнения по Специални осветителни уредби – част 2: Декоративно и рекламно осветление. София, Авангард Прима, 2016, ISBN 978-619-160-608-5.
17. Ръководство по електрически инсталации – Част 1: Електрически апарати, АББ-България, 2007.

18. Списание „Строители – строителна техника, материали, технологии, инструменти“ – Ел Медиа, брой 6, 2019.
19. Цанков, П. Електроснабдяване. Габрово, УИ „Васил Априлов“, 2014, ISBN 978-954-683-514-7.
20. Цанков, П., С. Платиканов. Осветителна и инсталационна техника – ръководство за лабораторни упражнения. Габрово, УИ „Васил Априлов“, 2013, ISBN 978-954-683-506-2.
21. An Overview of Circuit Breakers, LED Driver Input and Inrush Current – Inventronics, 2018.
22. Bommel, W. Interior Lighting – Fundamentals, Technology and Application. Springer, 2019, ISBN 978-3-030-17195-7.
23. Guide to Circuit-Breaker Selection for LED Lighting, BEAMA, 2021.
24. How to Protect Lighting Circuits for LED Lights – ABB (Web story), Switzerland, 2020.
25. Simons, R. H., A. R. Bean. Lighting Engineering – Applied calculations. Architectural Press, UK, Reed Educational and Professional Publishing, 2001, ISBN 0750650516.
26. Kim, W., K., J. T. Kim. A Formula of the Position Index of a Glare Source in the Visual Field. SHB2010 – 3<sup>rd</sup> International Symposium on Sustainable Healthy Buildings, Seoul, Korea, 2010.
27. LED Lighting: How to Control and Protect LED Lighting Circuits? – Lighting Technical Guide 2019, Schneider Electric, 2019.
28. Luckiesh, M., S. K. Guth. Brightnesses in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort (BCD). National Technical Conference of the Illuminating Engineering Society, IN, USA, September 20-23, 1949.
29. Shuster, J. Addressing Glare in Solid-State Lighting. (White Paper) Eaton's Ephesus Lighting, NY, USA, 2014.
30. [https://www.electrical-installation.org/enwiki/LED\\_lamps\\_-\\_choice\\_of\\_circuit\\_breaker](https://www.electrical-installation.org/enwiki/LED_lamps_-_choice_of_circuit_breaker)
31. <https://www.ledvance.com/professional/lighting-solutions/office-lighting>