

**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА**

**ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ**

**КАТЕДРА "ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ"**

**маг. инж. Самет Исмаил Исак**

**ИЗСЛЕДВАНЕ, АНАЛИЗ И ОПТИМИЗИРАНЕ  
НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИТЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ НА LED ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ  
ПРИ РАЗЛИЧНИТЕ РЕЖИМИ НА УПРАВЛЕНИЕ  
И ЕКСПЛОАТАЦИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертация за присъждане на  
образователна и научна степен „ДОКТОР“**

**Докторска програма по „Електроснабдяване и  
електрообзавеждане“**

---

2022 г.  
гр. Варна

Дисертационния труд съдържа 180 страници, включително 52 фигури, 39 таблици оформени в 5 глави, общи изводи, приноси и списък на използваната литература от 111 заглавия, от които 52 на кирилица и 59 на латиница.

Защита на дисертационния труд ще се състои на ..... г. От ..... ч. В ..... на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора № ...../.....г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се в Докторантския център, стая 318 НУК.

**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА**  
**ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ**  
**КАТЕДРА “ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕ И**  
**ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ“**

**маг. инж. Самет Исмаил Исак**

**ИЗСЛЕДВАНЕ, АНАЛИЗ И ОПТИМИЗИРАНЕ НА**  
**ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИТЕ**  
**ПОКАЗАТЕЛИ НА LED ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ ПРИ**  
**РАЗЛИЧНИТЕ РЕЖИМИ НА УПРАВЛЕНИЕ И**  
**ЕКСПЛОАТАЦИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертация за присъждане на образователна и научна**  
**степен „ДОКТОР“**

**Докторска програма по „Електроснабдяване и**  
**електрообзавеждане“**

**Научен ръководител**

**доц. д-р инж. Румен Михайлов Киров**

**Рецензенти:**

1. ....
  2. ....
- 

2022 г.

гр. Варна

# ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## Актуалност на проблема и на разработката

Разработената дисертационна работа е изключително актуална предвид тоталното приложение на светодиоди за вътрешно, външно, рекламно и художествено осветление и възникващите в тази връзка особености и различни усложнения при експлоатацията им.

**Проблем:** При проектирането и експлоатацията на LED ОУ възникват нерешени проблеми от енергетично и светотехническо естество, което е обект на настоящото изследване.

## Цели и задачи на изследването

- *Да се изучат и анализират различни теоретични постановки, свързани със състоянието, приложението, перспективите, проблемите, целите и задачите на светодиодното осветление. Да се обследват и систематизират всички международни и национални стандарти по „Осветителна техника“, като се обърне специално внимание на стандартите за светодиодно осветление. По аналогичен начин да се подходи и по отношение на нормативните изисквания и стандарти за енергийна ефективност на ОУ и за техническите характеристики на системите за управление. Да се анализират международните и национални стандарти за качеството на електрическата енергия и тези касаещи електромагнитната съвместимост (ЕМС). Да се формулират общи изисквания, които да обхващат източниците, драйверите и LED ОУ.*
- *Да се проведе теоретично изследване за дефиниране на целеви функции и критерии за оптимизация на управляеми светодиодни ОУ. За целта за основна база да се използват стандартни светотехнически характеристики, като експлоатационен фактор за външни и вътрешни ОУ, методите за технико-икономическа оценка на светодиодните ОУ, методите за многофакторно изследване на изходни параметри,*

*теоретичните подходи за установяване на съвместимост на характеристиките на LED източниците и зрителния анализатор и др. Да се формулира комплексен многофакторен подход за анализ и оптимизиране на светотехническите и електроенергетичните процеси при експлоатацията на управляемите светодиодни ОУ, който да дава възможност за оптимизиране на управлението и постигане на икономия на средства, труд и време.*

- *Да се проведе изследователски процес върху светотехнически и енергетични показатели на LED източници, както и изследване на някои показатели на качеството на ЕЕ. За целта информативно да се анализират достиженията и резултатите от внедряване на управляеми светодиодни ОУ в световен и национален мащаб, като база за сравнение. За мощни LED източници да се определи изменението на основните светотехнически и енергетични показатели при димиране под DALI протокол, като се определят съотношенията на показателите при различни нива на димиране. Да се проведе експериментално изследване на светодиодни източници с използване на Zigbee протокол, като за целта се реализира опитна постанова с няколко устройства комуникиращи в LAN мрежа.*
- *На база на дефинираните целеви функции и критерии за оптимизация на управляеми светодиодни ОУ, да се проведат изследвания в реални условия и се анализират получените резултати. Да се определят оптимални области на изменение на изходните параметри (параметрите на оптимизация) и влияещите съществени фактори и се определят корелационни връзки и зависимости между тях.*
- *Да се извърши обследване на литературни източници, свързани със състоянието, приложенията, перспективите, проблемите, целите и задачите на светодиодното осветление в национален и международен аспект. Проведеното проучване да обхваща анализ на характеристиките на LED източниците, хранващите драйвери, интерфейси и системите за управление. Да се изследват също така и нестандартни технологични приложения на светодиодите в сферата на комуникациите, индустрията и бита, а също така и тяхното негативно въздействие, недостатъци и проблеми при експлоатация.*

- *Да се проведе аналитичен, обстоятелствен и пълен анализ на националните и международни стандарти за вътрешно и външно светодиодно осветление, като се обхваната техническите характеристики на източниците, драйверите и условията за безопасна работа. Да се обърне специално внимание на изискванията за енергийна ефективност и на параметрите и функциите на системите за управление. Стандартите за качеството на ЕЕ и електромагнитната съвместимост да се обвържат с особеностите на LED източниците като електронни елементи. Да се формулират общи изисквания към LED ОУ, които да дават възможност за комплексна и пълна оценка на светодиодните уредби.*
  
- *Да се проведе теоретично изследване за дефиниране на различни критерии за оптимизация при проектиране и експлоатация на светодиодни източници и осветителни уредби. В съответствие с поставените цели на дисертационната работа, да се предложи критерий за оптимизация на база оптимални експлоатационни характеристики на светодиодни ОУ. От съществено значение за правилното възприемане на светлинното излъчване от LED източниците е адекватното измерване на мезопични и скотопични яркости. В тази връзка се препоръчва да се формулира критерий, осигуряващ съвместимост и съпоставимост на характеристиките на LED източниците и зрителния анализатор. Тъй като една от основните задачи на светодиодното осветление е постигане на добри ергономични характеристики, е основано и препоръчително също така създаване на критерии за постигане на светотехнически комфорт, сигурност и безопасност при експлоатация на светодиодните уредби.*
  
- *В съответствие с изискването за постигане на електроенергийна ефективност на оптимизационни критерии, даващи възможност за технико-икономическа оценка на светодиодните ОУ се препоръчва да се използват постановките, свързани с минимума на приведените годишни разходи и регламентираният от ЕС метод „полза-разходи“. Във връзка с много параметричния характер на процеса на оптимизация и в съответствие с дефинираните цели на разработката е препоръчително да се формулира и предложи комплексен многофакторен подход, изразяващ*

*се в едновременно въздействие на редица съществени фактори върху избран изходен параметър (параметър на оптимизация).*

- *Да се проведе изследване на светотехнически и енергетични показатели за експериментална и действаща управляема светодиодна ОУ, като предварително се анонсират достижения от внедряване на подобни ОУ в национален и световен аспект. За целта са създаде експериментална постановка с помощта на мощни LED осветители и съответна измервателна апаратура за светотехнически и електротехнически анализ. Димиране на LED източниците да се извърши под DALI протокол, както за експерименталната постановка, така и за реално действащата осветителна уредба.*
- *Да се създаде инсталация на Zigbee управляваща система и се изследва нейната ефективност върху различни LED източници. Представянето на основните функции и предимства на системата да се извърши чрез описание на нейната структура, различните опции, контролните функции и маркиране на реалните възможности за икономия на ел. енергия.*
- *Чрез прилагане на класическа методика „минимум на ПГР“ и методиката „полза-разход“ да се даде икономическа оценка за два варианта на LED ОУ, реализирани съответно без управляващи и със управляващи функции. Да се определят показателите, характеризиращи достойнствата на проекта с управляващи функции и се оцени дисконтираният срок на откупуване на този вариант.*
- *За управляеми светодиодни уредби, по критерий „минимум на приведените годишни разходи, да се приложи комплексен многофакторен подход с използване на Теорията на планиране на експеримента. Да се анализира изходния параметър и се определят влияещите съществени фактори, въз основа на което да се синтезира математически модел в многофакторно пространство. Да се определят взаимните връзки и зависимости между съществените фактори и изходния параметър(параметър на оптимизация).*

## **Обект и предмет на изследване**

Провеждат се изследвания в лабораторни и реални условия на различни светотехнически и енергетични показатели.

## **Метод на изследване**

Прилагат се детерминирани и вероятностно-статически методи за изследване, а също и методи от висшата математика, интегралното и диференциално смятане.

## **Място на изследването**

Изследванията са правени в катедра ЕСЕО на ТУ-Варна и в някои действащи светотехнически обекти.

## **Научна новост на изследването**

- Предложена е иновативна теоретична постановка с използване широките възможности за изследване и анализ на Теорията на планиране на експеримента. Аprobацията на постановката е осъществена чрез създаване на научноизследователски експеримент с изходен параметър „относителни приведени годишни разходи“ на реална светодиодна ОУ  $Z_{OU}^*$  и комбинация от четири съществени фактора. В дефинираното многофакторно пространство се обединяват влияещи фактори с различна природа – от светотехническо и електротехническо естество, което е нов прогресивен подход при решаване на оптимизационни задачи в светотехниката.
- В резултат на проведения изследователски процес се установява нееднозначност на резултатите при управление на светодиодни ОУ, извършвано с прилагане на комплексен подход. Някои енергетични показатели в процеса на димиране влошават своите стойности, респективно енергетичния баланс на уредбата, докато светлинния добив и индекса на енергийна ефективност



бележат тенденция към увеличение. Тази констатация представлява мотивирана претенция за иновативност, т.к. е научно обоснована и експериментално доказана.

### **Практическа ценност на изследването**

- Разработена е практично-приложна, научно обоснована концепция с прилагане на комплексен подход при нормиране, проектиране и експлоатация на светодиодни ОУ. Застъпена е тезата за установяване на релативни връзки между светотехническите, енергетичните и технико-икономическите характеристики на управляемите LED осветителни уредби. Внедряването на този подход в нормативната база и в проектантската практика ще способства за изграждане на високо ефективно светодиодно осветление.
- Създадена е експериментална постановка и са проведени изследвания с реализиране на Zigbee протокол за управление на светодиодни ОУ. Няколко различни LED източника са управлявани в LAN мрежа и Wi-Fi среда чрез сървър, датчици за присъствие и осветеност, като е доказана ефективността на системата. Zigbee предоставя и функции на мониторинг, с което се осъществява контрол на надеждността на устройствата и LED източниците.
- Чрез прилагане на метода „полза-разходи“ е апробирана методика за оценка и прогнозиране технико-икономическите предимства на управляемите светодиодни ОУ. С помощта на „чистата дисконтирана печалба“ и „дисконтирания срок на откупуване“ по безспорен начин се доказват достойнствата на системите за управлението на LED ОУ, осигуряващи постигане на висока технико-икономическа ефективност.

## Апробация на изследването

Резултатите от изследвания процес са апробирани в следните публикации на дисертацията:

1. Матов Д.П., В.Н.Гюров, Р.М.Киров, **С.И.Исак**, Художествено и ефектно осветление на крепостната стена на археологически резерват на гр.Хисаря, II Научна конференция ЕФ 2010, гр.Созопол, Сбодник доклади, стр.70-78.

2. Матов Д.П., Киров Р.М., Чиков В.Н., Гюров В.Н., **Исак С.И.** Разработване на стенд за изследване на системи а управление на улично осветление, Проекти финансирани целево от държавния бюджет на ТУ-Варна, 2010, стр.7-8.

3. Киров Р.М., **Исак.С.И.**, Изследване ефективността на светодиодно улично осветление, проекти, финансирани целево от държавния бюджет ТУ-Варна, 2011, стр.57-58.

4. Киров Р.М., Матов Д.П., Гюров В.Н., Македонски Н.И., **Исак С.И.**, Електроенергийна ефективност при компенсация на реактивните товари на димируеми улични осветителни уредби, Енергиен форум 2011., Сборник доклади, стр.283-287.

5. Киров Р.М., Матов Д.П., Гюров В.Н., Николов В.Н., Македонски Н.И., **Исак С.И.** и др., Повишаване на електроенергийната ефективност и изграждане на пилотна система за регистрация на електропотреблението в електроснабдителната система на ТУ-Варна, Проекти, финансирани целево от държавния бюджет ТУ-Варна, 2012, стр.57-58.

6. **Исак С.И.**, Експериментално изследване на светодиодни осветителни уредби с използване на Zigbee протокол за управление, Енергиен форум 2021, Сборник докладим стр. 218-224, ISSN 2367-6728.

7. **Исак С. И.**, Димитров Ц.Д., Панчев Х.И., Киров Р.М., Изследване и анализ на енергетичните показатели и надеждността на LED осветителни уредби при различни режими на управление и експлоатация, БулЕФ 2019

8. **Isak. S.**, Iliev, I., Panchev, H. Research of LED dimming sources and lighting systems (2021) 2021 17<sup>th</sup> Conference on Electrical Machine, Drives and Power System, ELMA 2021 – Proceedings,.

# КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

## ПЪРВА ГЛАВА

### СЪСТОЯНИЕ, ПРИЛОЖЕНИЕ, ПЕРСПЕКТИВИ, ПРОБЛЕМИ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА СЪВРЕМЕННОТО СВЕТОДИОДНО ОСВЕТЛЕНИЕ

1.1 Обща характеристика на светодиодите, захранващите драйвери, интерфейси и системите за управление.

Разглеждани и анализирани са характеристиките на следните елементи:

- Светодиоди;
- Драйвери;
- Интерфейси;
- Системи за управление.

1.2 Нови нестандартни технологични приложения на LED управляемите източници и техните негативни въздействия.

Разглеждани са следните нестандартни приложения:

- Приложения в комуникациите
- Приложения в индустрията и бита

1.3 Негативни въздействия на LED ОУ

- Светлинно замърсяване;
- Биологично и психологично въздействие;
- Недостатъци и проблеми на LED ОУ.

1.4 Критичен концептуален подход по отношение на задачите, проблемите и перспективите на светодиодно осветление.

- В тази глава са анализирани редица публикации, които разглеждат отделни проблеми, предимно със светотехническия характер. Прилаганите подходи са едностранчиви, засягат конкретни насоки и не са потърсени релации с други

характеристики и експлоатационни показатели. Светодиодните ОУ, като физически субект, в условията на експлоатация имат релативна връзка с редица технико-икономически характеристики, като приведените годишни разходи, загубите на мощност, специфичния разход на ел.енергия, електроенергийната ефективност, експлоатационния фактор, характеристиките на зрителния анализатор и др. Следователно е практично и целесъобразно да се осмислят, анализират и дефинират различни критерии за оптимизация при проектиране и изграждане на съвременни светодиодни ОУ.

- Препоръчва се да се създаде специална концепция за функциите, изискванията и нормативната база на светодиодното осветление. Проектираните и реализирани LED ОУ трябва да се оценяват не само от гледна точка на екологичен, социален, ергономичен и светотехнически аспект, но също така по отношение на електрическите и енергетични параметри, свързани с качеството на ЕЕ, електромагнитната съвместимост, надеждността, сигурността и устойчивостта на електроснабдяването. Задачата, формулирана по този начин, има универсален характер и решението и изисква прилагане на оптимизационни критерии от комплексен вид, както по отношение на цветоцветовата среда, така и по отношение на параметрите на електроснабдяването и електрообзавеждането.
- Светодиодните уредби трябва да се проектират и изграждат като сложни системи, за които трябва да се дефинират изходни параметри (параметри на оптимизация) в многофакторно пространство, определено от динамично изменящи се съществени фактори. Тези изходни параметри, разглеждани като целеви функции, подлежат на оптимизация по определен критерий или група критерии. Това дава възможност да се определят оптимални области на изменение на целевата

функция и влияещите съществени фактори. Подходящ математически инструмент за такава оптимизация е Теорията на планиране на експеримента(ТПЕ), което дава възможност да се проведат оптимизационни процедури в многофакторното пространство, а също така да се получат математически модели за изходните параметри.

## **ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ПЪРВА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА**

1. В първа глава на дисертационната работа са разглеждани и анализирани публикации, свързани със състоянието, приложението, перспективите, проблемите, целите и задачите на съвременното светодиодно осветление. Представени са основните характеристики на светодиодите на техните захранващи драйвери, интерфейси и системите за управление. Направен е преглед на нестандартни технологични приложения на LED източниците, анализирани са негативните въздействия и са описани недостатъците и проблемите на светодиодното осветление. Този обзор има за цел да посочи благоприятните тенденции за приложение и все по-силно утвърждаващите се предимства на LED източниците в резултат на тяхната висока ефективност , надеждност и управляемост. Развитието на технологиите при производството на светодиоди, създаването на рационални схемотехнически постановки и модерни системи за управление на осветителните уредби, са важни основания за стратегическото утвърждаване на LED източниците като безалтернативна светотехническа концепция
2. Анализирани са широк спектър от възможности за автоматизация, димиране и управление на LED ОУ. Драйверите, освен че са захранващи източници, осъществяват и димиране в широк диапазон в комбинация с различни интерфейси. Аналоговия интерфейс (1-10)V, интерфейс PWM,

известен като ШИМ, цифровите серийни интерфейси, DALI комуникацията, комуникация през хранващата мрежа (Wi-Fi, Zigbee) и др., са основни елементи за изграждане на съвременни системи за управление на външни и вътрешни ОУ. Направено е задълбочено проучване и на интелигентни адаптивни системи за автоматизирано управление по програмата на ЕС „Intelligent Energy of Europe”, гарантиращи висока надеждност при транспортни и атмосферни условия и осигуряващи съществени енергийни, екологични, икономически и транспортни предимства пред конвенционалните ОУ.

3. Обърнато е подобаващо внимание и на разработените в последните години нови, нестандартни технологични приложения на LED източниците. Анализирани са приложенията в комуникациите чрез технологията Li-Fi, при което се съчетават и съвместяват едновременно светлинните функции и комуникационните способности на LED източниците. Прилагането на технологията LED GROW , аквапониката, технологията „Human Centric Lighting” дават възможност за използването на светодиодите в индустрията и битата с нови функции. Отглеждането на растения и аквакултури в една обща екосистема и подобряването на микроклимата в битата и производствения процес през LED източници е изключително прогресивна концепция в развитие на изкуственото осветление.
4. Направените литературни проучвания дават аргументирано основание за необходимостта и целесъобразността от реконструиране на съществуващите инсталации на конвенционални ОУ и превръщането им в модерни системи за изкуствено осветление. Подобни трансформации трябва да се извършват с изключване на възможността за поява на някои негативни ефекти, свързани със светлинно замърсяване,

отрицателни биологични и психофизиологични въздействия, генериране на опасни излъчвания, нестабилност на някои светотехнически показатели и др.

5. Обследването аргументирано утвърждава и необходимостта от реформиране на проектантските концепции в направление създаване на прогресивни и адекватни методики за постигане на оптимални светотехнически решения на базата на LED източници. По аналогичен начин стои въпроса и за усъвършенстване на изследваните понастоящем софтуерни продукти в проектантската светотехническа практика като напр. DIALUX, RELUX и др., които е необходимо да получат своето прогресивно развитие в направление адаптиране на изискванията на LED ОУ. Показателите за енергийна ефективност, дефинирани в светотехническите стандарти, също трябва да получат своята методична софтуерна реализация и да бъдат неразделна част от съвременните, висококачествени проекти за светодиодно осветление.

## **ВТОРА ГЛАВА**

### **СТАНДАРТИ, НОРМИ И ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА СВЕТОДИОДНИ ОУ.**

Проведено е изследване и анализ на следните стандарти и нормативни изисквания за светодиодно осветление;

- 2.1 Нормативни изисквания за външни ОУ
- 2.2 Нормативни изисквания за вътрешни ОУ
- 2.3 Стандарти за светодиодно осветление
  - 2.3.1. Стандарти за техн. х-ки на светодиодите
  - 2.3.2. Стандарти свързани с безопасността
  - 2.3.3. Стандарти за LED драйвери

- 2.4 Нормативни изисквания за енергийна ефективност
- 2.5 Стандарти за системите за управление
- 2.6 Нормативни изисквания за ПКЕЕ
- 2.7 Общи изисквания към LED ОУ

## **ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ВТОРА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА**

1. Във втора глава на дисертационната работа, в съответствие с формулираните цели и задачи, е проведен задълбочен анализ на националните и международни стандарти, свързани със светотехническите и енергетичните характеристики на LED ОУ. Посочени са общите стандарти за външно и вътрешно осветление, като вниманието основно е фокусирано върху нормативните изисквания за светодиодно осветление – във връзка с техническите характеристики, безопасността и енергийната ефективност на LED източниците, техните драйвери и системите за управление. В анализа на нормативните изисквания за електроенергийната ефективност е приложени критичен подход във връзка с голямото разнообразие на показатели за оценка и липсата на унификация. Необходимо е да се изработи комплексна методика, представяща осветлението като производствен фактор, участващ в пазарна среда като потребител на ел. енергия с вложен капитал е период на възвръщаемост.
2. Стандартите за показателите на качеството на електрическата енергия и електромагнитната съвместимост са подробно обследвани, т.к. имат директно отношение към проблемите на експлоатацията на LED ОУ. Направен е сравнителен анализ на стандартите на ANSI, ГОСТ, CNS, БДС EN, BS, IEEE, ESKOM и др., като някои от характеристиките са систематизирани в таблична форма. Обърнато е внимание на голямото



разнообразие в световен аспект от нормативни изисквания и често срещана нееднозначност в тази връзка.

3. В резултат на проведения анализ са разработени общи изисквания към светодиодните уредби, свързани с източниците, драйверите, електроенергийната ефективност, LED ОУ, светлинното замърсяване, управлението на ОУ, качеството на ЕЕ, технико-икономическите и екологичните параметри и др. Този модел за анализ може да послужи на проектантите и експлоататорите на светодиодни ОУ за проектиране и изграждане на висока ефективни LED ОУ.

### **ТРЕТА ГЛАВА**

#### **ТЕОРЕТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА КРИТЕРИИТЕ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ НА СВЕТОДИОДНИ ОУ**

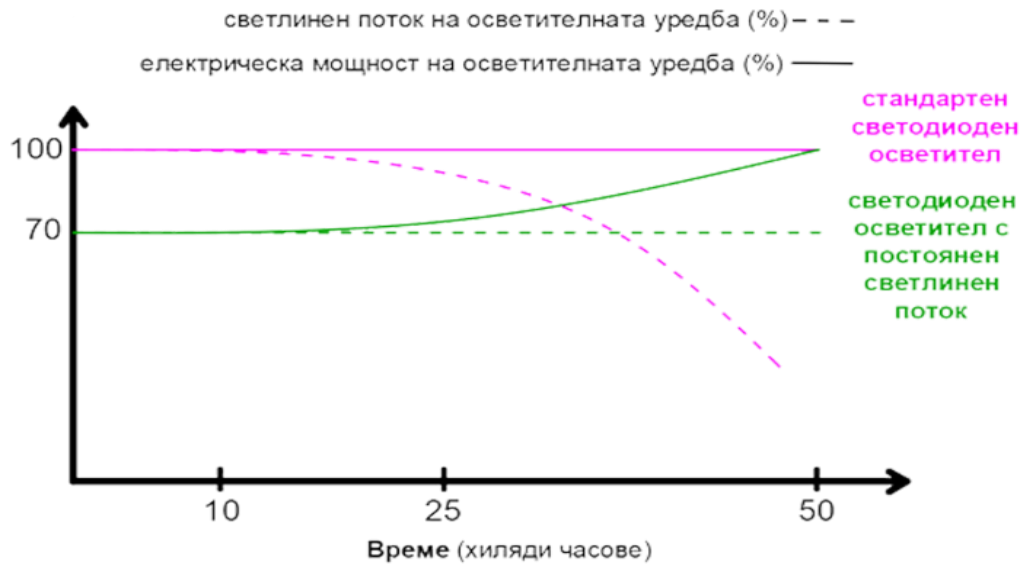
##### **3.1 Критерий за оптимизация на база оптимални експлоатационни характеристики**

➤  $MF=L_m/L_{нсп}$  (3.1)

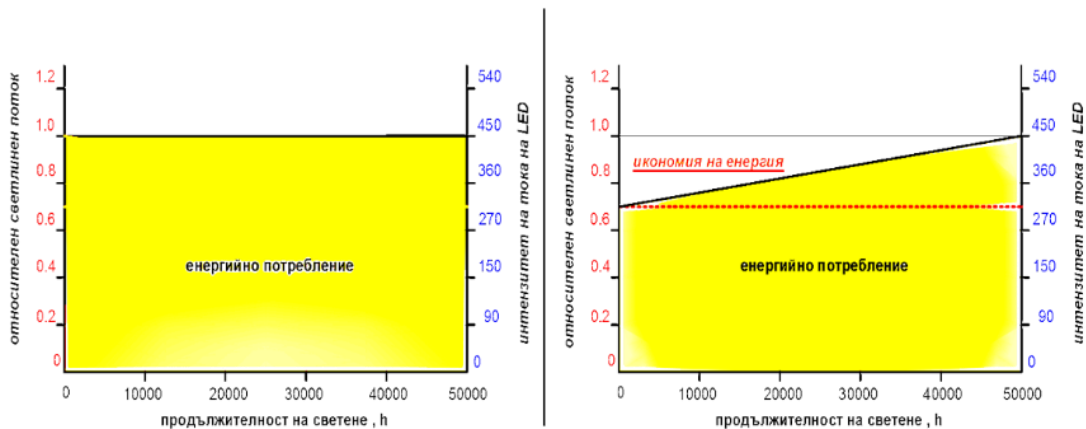
➤  $MF=LLMF.LSF.LMF$  (3.2)

➤  $MF=1.LSF.LMF$  (3.3)

➤  $L_{\text{действ.}} \geq L_{\text{норм.}}$  ;  $E_{\text{действ.}} \geq E_{\text{норм.}}$



**Фиг.3.3. Изменение на светлинния поток и инсталираната мощност на стандартен светодиоден осветител и светодиоден осветител с постоянен светлинен поток**



**Фиг.3.4 Реализирана икономия на електроенергия със светодиоден осветител с постоянен светлинен поток. Постепенно увеличаване на мощността на ОУ с оглед компенсиране деградацията на LED осветителя (дясна фигура)**

Без постоянен източник на светлина

$$MF=0.7 \times 0.98 \times 0.96 = 0.66$$

С наличието на постоянен източник на светлина

$$MF=1 \times 0.98 \times 0.96 = 0.94$$

### 3.2 Критерий за оптимизация на база на съвместимост на характеристиките на LED източниците и зрителния анализатор

Разгледана е оценката на лъчист поток при скотопична, фотопична и мезопична яркост.

- $L = (5 \cdot 10^{-3} \div 5)[\text{cd/m}^2]$
- $S / P = a \cdot \text{CCT}^2 + b \cdot \text{CCT} + c$
- $a = -7 \cdot 10^{-8}$  ;  $b = 10^{-3}$  ;  $c = -1,3152$

	LXH7 -PW40	LXML- PWN2	LXW8- PW50	Cool-White
CCT (K)	4000	4100	5000	6500
S/P (3.10)	1,523	1,528	1,941	2,179
S/P (3.11)	1,565	1,608	1,935	2,227
$\text{EPS} = \frac{\frac{S}{P(3.11)} - \frac{S}{P(3.10)}}{\frac{S}{P(3.10)}} \cdot 100\%$	2,75	5,24	-0,31	2,2

Таб: 3.2

### 3.3 Критерий за оптимизация на база технико икономически оценки на светодиодни ОУ

Анализирани са метода ПГР и метода „полза-разходи“.

- $Z = C + p_{н.к}$  ;  $C = C_e + C_l + C_a$
- $\text{TotK} = K/C_e + C_l + C_a$
- $PV = \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i}$  ;  $r = \frac{[F_H - b]}{1+b} \cdot 100\%$
- $K = C_a [1/r - 1/r(1+r)^T]$
- $NVP = PV - K = C_a [1/r - 1/r(1+r)^T] - K$

$$\text{➤ ЧДП} = Ca \frac{1-(1+r)^T}{r} - K$$

$$\text{➤ Тотк}_d = - [\ln(1-\text{Тотк. Fн})]/\ln(1+Fн)$$

$$\text{➤ AФ} = 1 - (1+r)^{-T}/r$$

### 3,4 Комплексен многофакторен подход при оптимизиране енергетичните показатели на светодиодни осветителни уредби

На база на теория на планиране на експеримента е синтезиран комплексен многофакторен подход, описан по-долу.

$$\text{➤ } Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2$$

$$\text{➤ } B = [F^T \cdot F]^{-1} \cdot F^T \cdot Y$$

$$\text{➤ } b_0 = a \cdot \sum_{u=1}^N y_u + p \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^N \bar{x}_{ij}^2 \cdot y_u$$

$$\text{➤ } b_i = e \cdot \sum_{u=1}^N \bar{x}_{iu}^2 \cdot y_u \quad b_{ij} = g \cdot \sum_{u=1}^N \bar{x}_{iu} \cdot \bar{x}_{ju} \cdot y_u$$

$$\text{➤ } b_{ii} = c \cdot \sum_{u=1}^N \bar{x}_{ii}^2 \cdot y_u + d \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^N \bar{x}_{ji}^2 \cdot y_u + p \cdot \sum_{u=1}^N y_u$$

## ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ТРЕТА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. В трета глава на дисертационната работа са предложени различни критерии за оптимизация на светодиодни ОУ. Доказано е, че експлоатационния фактор MF има определящо значение за подобряване на електроенергийната ефективност и съвместно с функцията „постоянен светлинен поток“ (CLO) може да послужи като основен критерий за оптимизация на LED ОУ. За вътрешни LED ОУ чрез експлоатационен метод е прогнозирано изменението на MEF за десет годишен период при оптимален вариант. Направеният теоретичен анализ потвърждава възможността за

използване на MF като съществен фактор при решаване на оптимизационни светотехнически задачи за вътрешни и външни ОУ.

2. Предложен е нестандартен критерий за оптимизация, отчитащ съвместимостта на характеристиките на LED източниците и зрителния анализатор. Доказано е, че с помощта на отношението Scotopic Photopic, т.е. (S/P), може да се постигне по-висока ефективност при възприемане на светлинния поток, когато  $(S/P) \geq 1.35$ , респективно CCT > 3500 K. В такива случаи при ниски нива на яркостта на уличното платно, са подходящи източници с бяла светлина (по-висока цветна температура). Направен е сравнителния анализ по два метода за 4 вида бели светодиоди с различни CCT е определено отношението (S/P), като се потвърждава, че по-голямата цветна температура обуславя по-голямо отношение (S/P). Наличието на синя светлина в общия светлинен поток (скоточен и фотопичен S+P), оказва влияние на възприемането от страна на зрителния анализатор, което трябва да се отчита при провеждане на изследователска дейност в тази насока.

3. Представен е теоретичен анализ на методи и критерии за технико-икономическа оценка на LED ОУ. Анализирани са критерия „Минимум на приведените годишни разходи“ и препоръчва неговото използване за оптимизиране на управляемите светодиодни ОУ. Регламентиран от ЕС метод „полза-разходи“ детайлно обяснен, като основните понятия и величини са представени с дисконтиран вид. Направени са конкретни препоръки и указания както по отношение на проектантски икономически, инфлационни и енергетични особености, така и във връзка с обосноваването на приложимостта на този метод в сферата на светлотехниката.

4. Разгледан и анализиран е комплексен многофакторен подход при оптимизиране на светодиодни ОУ. Прилагането му се осъществява с помощта на Теорията на планиране на експеримента. Представена е методологията за провеждане на активно пасивен експеримент в четири факторно пространство с помощта на плана от втори порядък В4. Пояснени са предпоставките, условията и съоразженията а определянето на изходните параметри и сбора на съществените фактори. Указани са методите, критериите за значимост и адекватност на съществените фактори и математическите модели, както и за оценка на грешките. Обоснована е приложимостта, значимостта и ефективността, предложения подход за изследване на управляени светодиодни ОУ.

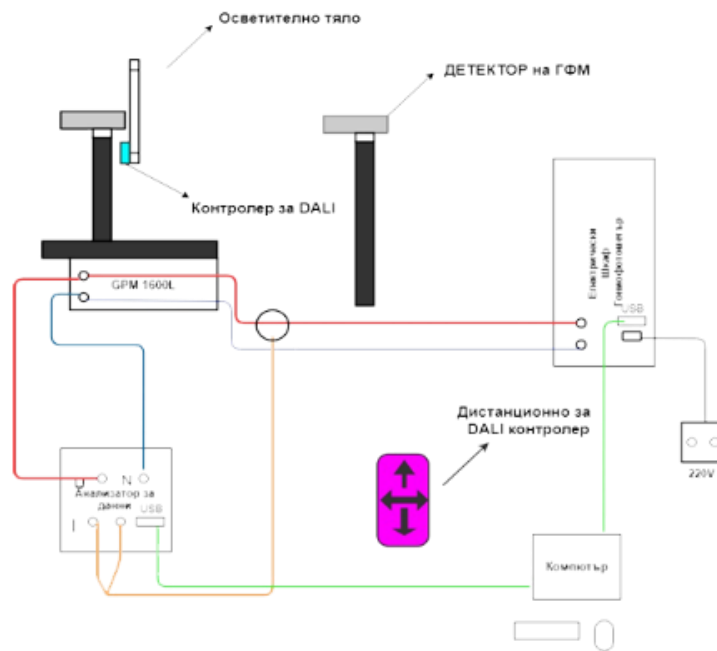
## **ГЛАВА ЧЕТВЪРТА**

### **ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ УПРАВЛЯЕМИ СВЕТОДИОДНИ ОУ**

Проучени са изследвания, свързани с енергетични характеристики на светодиодни управляеми ОУ и са представени достижения в национален и световен аспект

#### **4.3. Провеждане на изследователския процес.**

Синтезирана е опитна постановка от фиг.4.7 и са представени резултатите от изследанията на фиг.4.8 до фиг. 4.12 и в табл.4.1 до табл.4.5. Изработен е макет, осъществяващ два вида управление на LED ОУ, проведено е изследване в работеща под DALI управление инсталация и е изследвана Zigbee система в лабораторни условия.



Фиг.4.7 Схема на свързване на ОУ към анализатор и гониофотометър

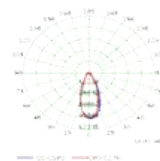
Светодиоден осветител тип  
**HIGHSPACE 285W**



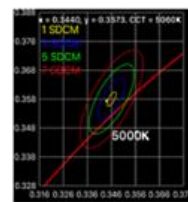
Светотехнически данни на осветителя:

LED Chip	PHILIPS
LED Driver	PHILIPS
Материал на корпуса:	алуминий
Вид на оптичната система	Optical grade PMMA
Захранващо напрежение	AC 220 V
Работен ток	AC 1.31F A
Активна мощност	285.1 W
cos(φ)	0.990
Цветна температура	5060 K
Индекс на цветоотдаване CRI	82
Светлинен поток излъчен от осветителя	33 736.7 lm
Светлинен добив на осветителя	177.97 lm/W

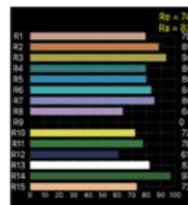
Светлоразпределителна крива



Цветна температура



Цветоотдаване



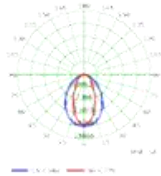
Светодиоден осветител тип  
**LED PROJECTOR 220W**



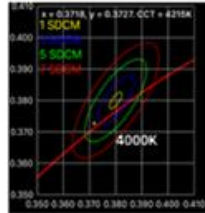
Светотехнически данни на осветителя:

LED Chip	EPI STAR
LED Driver	SPRING
Материал на корпуса	листова ламарина
Вид на оптичната система	опалов разсейвател
Захранващо напрежение	AC 220 V
Работен ток	AC 1.011 A
Активна мощност	214.6 W
Cos(φ)	0.965
Цветна температура	4215 K
Индекс на цветопрераждане CRI	74
Светлинен поток излъчен от осветителя	21851.4 lm
Светлинен добив на осветителя	101.87 lm/W

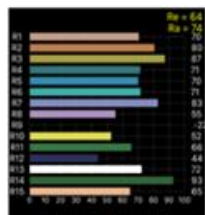
Светлоразпределителна крива



Цветна температура



Цветопрераждане



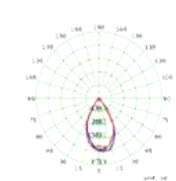
Светодиоден осветител тип  
**TRITON 60W**



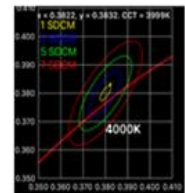
Светотехнически данни на осветителя:

LED Chip	OSRAM
LED Driver	TRIDONIC
Материал на корпуса	алуминий
Вид на оптичната система	Optical grade PMMA
Захранващо напрежение	AC 220 V
Работен ток	AC 0.284 A
Активна мощност	60.84 W
Cos(φ)	0.973
Цветна температура	3999 K
Индекс на цветопрераждане CRI	71
Светлинен поток излъчен от осветителя	7459.7 lm
Светлинен добив на осветителя	122.66 lm/W

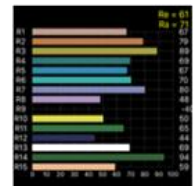
Светлоразпределителна крива



Цветна температура



Цветопрераждане



Фиг.4.9 Данни за LED осветител  
**PROJECTOR 220W**

Фиг.4.10 Данни за LED LED осветител  
**TRITON 60W**

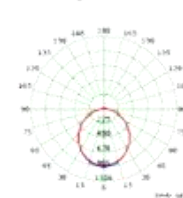
Светодиоден осветител тип  
**S-LINE 77 54W**



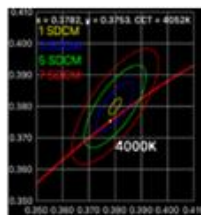
Светотехнически данни на осветителя:

LED Chip	ELECTRIO
LED Driver	TRIDONIC
Материал на корпуса	алуминий
Вид на оптичната система	опалов разсейвател
Захранващо напрежение	AC 220 V
Работен ток	AC 0.246 A
Активна мощност	53.7 W
Cos(φ)	0.99
Цветна температура	4052 K
Индекс на цветопрераждане CRI	54
Светлинен поток излъчен от осветителя	2413 lm
Светлинен добив на осветителя	44.95 lm/W

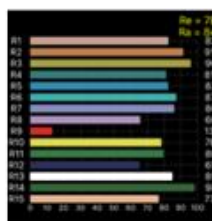
Светлоразпределителна крива



Цветна температура



Цветопрераждане



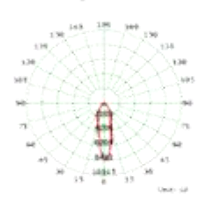
Светодиоден осветител тип  
**Moon Z002 34W**



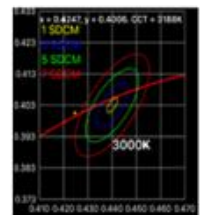
Светотехнически данни на осветителя:

LED Chip	TRIDONIC
LED Driver	LIFUD
Материал на корпуса	алуминий
Вид на оптичната система	алуминиев разсейвател
Захранващо напрежение	AC 220 V
Работен ток	AC 0.160 A
Активна мощност	33.63 W
Cos(φ)	0.956
Цветна температура	3188 K
Индекс на цветопрераждане CRI	82
Светлинен поток излъчен от осветителя	3583.9 lm
Светлинен добив на осветителя	106.62 lm/W

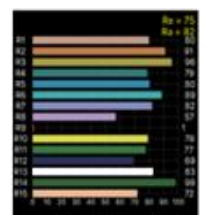
Светлоразпределителна крива



Цветна температура



Цветопрераждане



Фиг.4.11 Данни за LED осветител  
**S-LINE 77W**

Фиг.4.12 Данни за LED LED осветител  
**Moon Z002 34W**



Степен на димиране	P [W]	Q [var]	S [VA]	I [A]	PF -	THDv [%]	THDi [%]	I2 [%]	I3 [%]	I5 [%]	I7 [%]	I9 [%]	I13 [%]	I15 [%]	Φ [lm] æ [lm/w]	Tc	Ra	EEl
1 (Φ max)	283	317	422	1,31	0,63	1,63	84,2	1,28	52,7	30,7	22,7	8,15	2,15	2,02	33720 119,2	5012	81,5	0,149
2	252	285	380	1,19	0,58	1,66	93,7	1,05	53,8	30,9	24,5	9,13	2,27	2,15	31097 123,4	4905	81,3	0,153
3	226	247	344	1,06	0,52	1,71	101,4	1,18	56,3	31,4	25,8	13,7	3,55	2,31	29086,2 128,7	4900	81,2	0,157
4	187	208	279	0,95	0,46	1,7	102,8	1,39	59,9	34,2	30,2	12,8	4,26	2,27	29086 132,8	4904	81	0,162
5	154	174	232,3	0,84	0,41	1,74	123,5	2,14	66,1	32,7	29,3	15,3	6,12	2,83	24834 134,2	4892	80,9	0,166
6	119	138	182,2	0,73	0,38	1,73	128,2	2,86	62,7	33,8	33,5	18,2	6,44	3,15	16136 135,6	4886	80,7	0,169
7	93,8	118	150,7	0,62	0,35	1,76	137,2	3,22	69,5	35,4	38,2	21,4	6,87	4,28	12831,84 136,8	4886	80,3	0,172
8	62,3	78	99,8	0,48	0,32	1,78	144,2	3,71	70,2	32,7	36,4	22,7	6,17	4,31	8591 137,9	4885	79,4	0,175
9 (Φ min)	27,2	37	45,9	0,35	0,29	1,79	156,2	3,94	71,1	36,5	39,7	25,3	6,63	4,5	3767 138,5	4870	79,1	0,177

**Табл.4.1 Резултати от изследванията за осветител HIGHSPACE 285W**

Степен на димиране	P [W]	Q [var]	S [VA]	I [A]	PF -	THDv [%]	THDi [%]	I2 [%]	I3 [%]	I5 [%]	I7 [%]	I9 [%]	I13 [%]	I15 [%]	Φ [lm] æ [lm/w]	Tc	Ra	EEl
1 (Φ max)	219	251	333,1	1,1	0,59	1,63	87,4	1,03	50,7	28,6	20,9	7,7	1,9	2,3	21851,4 101,8	4215	74	0,145
2	195	217	291,7	0,96	0,49	1,69	92,5	1,07	52,3	29,7	23,1	8,2	3,4	2,7	20650,3 105,7	4195	73,7	0,147
3	153	175	232,45	0,84	0,41	1,7	99,6	1,11	55,2	30,8	27,3	8,9	4,2	2,9	17356,1 113,4	4170	73,1	1,53
4	123	146	190	0,73	0,36	1,73	101,5	1,21	57,1	31,9	31,2	9,9	4,85	3,36	14231,7 115,7	4163	72,9	1,57
5	99	117	153	0,61	0,32	1,76	117,3	1,23	63,1	32,4	34,6	11,3	4,92	3,41	11612,7 117,3	4125	71,7	1,59
6	62	91	110	0,42	0,28	1,73	124,6	1,66	65,4	33,1	35,1	15,5	5,65	3,65	7371,8 118,9	4101	71,2	1,61
7	35	56	66	0,29	0,25	1,78	131,6	2,02	68,1	34,9	36,3	18,9	5,76	3,77	4186 119,5	4095	70,9	1,65
8	23	37	44	0,19	0,22	1,82	142,9	2,6	69,2	36,3	37,5	20,1	5,88	3,9	2750,8 119,7	4087	70,3	1,68
9 (Φ min)	15	22	27	0,11	0,17	1,83	153,1	3,2	70,8	37,1	38,1	21,7	5,9	4,1	1800,2 120,1	4056	69,8	1,71

**Табл.4.2 Резултати от изследванията за осветител LED PROJECTOR 220W**

Степен на димиране	P [W]	Q [var]	S [VA]	I [A]	PF -	THDv [%]	THDi [%]	I2 [%]	I3 [%]	I5 [%]	I7 [%]	I9 [%]	I13 [%]	I15 [%]	Φ [lm] æ [lm/w]	Tc	Ra	EEl
1 (Φ max)	60,8	83	103	0,28	0,56	1,53	68,5	0,7	45,5	26,6	19,7	5,9	1,03	1,9	7459,7 122,6	4195	71	0,163
2	49,5	62,6	80	0,235	0,49	1,59	71,3	0,95	47,7	28,8	24,4	6,1	2,9	2,02	6202,5 125,3	4170	70,8	0,165
3	37,3	50,1	62	0,19	0,41	1,63	79,1	1,03	51,5	29,9	28,2	7,9	3,6	2,09	4733,37 126,9	4163	70,5	0,167
4	25,9	39,3	42	0,17	0,36	1,66	85,5	1,1	53,5	30,9	29,6	9,1	4,01	2,13	3330,74 128,6	4128	70,4	0,168
5	21,6	30	37	0,143	0,32	1,69	89,9	1,23	56,1	31,1	31,9	10,3	4,25	2,36	2831,76 131,1	4101	70,3	0,169
6	17,1	26,6	32	0,11	0,28	1,7	95,3	1,53	58	31,6	32,2	11,1	4,89	2,56	2244 132	4087	70,1	0,17
7	14,9	21,8	26	0,09	0,25	1,72	112,3	1,84	61,8	32,1	33,9	12,9	5,01	2,71	1968 132,2	4062	69,8	0,172
8	11,6	19,3	23	0,07	0,22	1,75	1,23,8	2,15	63,3	32,5	35,1	15,6	5,23	3,1	1535,84 132,4	4049	69,6	0,172
9 (Φ min)	7,1	14,4	16	0,05	0,17	1,77	136,6	2,45	65,4	33,1	36,6	19,8	5,5	3,9	943,5 132,9	4037	69,4	0,174

**Табл.4.3 Резултати от изследванията за осветител TRITON 60W**

Степен на димиране	P [W]	Q [var]	S [VA]	I [A]	PF -	THDv [%]	THDi [%]	I <sub>2</sub> [%]	I <sub>3</sub> [%]	I <sub>5</sub> [%]	I <sub>7</sub> [%]	I <sub>9</sub> [%]	I <sub>13</sub> [%]	I <sub>15</sub> [%]	Φ [lm]	T <sub>c</sub>	Ra	EEl
															æ [lm/w]			
1 (Φ max)	53,7	79	96	0,246	0,53	1,41	61,3	0,69	43,2	28,7	18,1	4,9	2,9	1,78	2413	4052	84	0,165
															44,98			
2	44,5	60	75	0,235	0,49	1,45	68,5	0,89	45,6	29,91	20,5	5,6	3,45	1,85	2113,5	4046	83,5	0,168
															47,5			
3	36,6	49,1	61	0,21	0,44	1,49	72,1	1,01	48,6	30,03	23,6	6,3	3,9	1,93	1789,74	4037	83,2	0,169
															48,9			
4	29,9	38,7	49	0,19	0,41	1,52	79,6	1,32	51,3	30,3	26,4	7,9	4,1	1,99	1497,99	4032	82,6	0,17
															50,1			
5	24,3	28,8	38	0,15	0,38	1,55	81,2	1,65	54,8	30,43	28,5	8,7	4,38	2,03	1244,6	4027	82,1	0,171
															51,2			
6	19,8	25,5	32	0,1	0,36	1,59	95,6	1,95	56	30,56	29,9	9,9	4,75	2,08	1035,54	4023	81,7	0,172
															53,2			
7	16,2	21,3	27	0,09	0,32	1,61	109,6	2,09	57,9	30,8	31,5	11,8	4,89	2,1	858,6	4021	81,3	0,174
															53			
8	13,1	16,6	21	0,6	0,29	1,63	118,4	2,13	60,1	31,1	32,8	13,2	5,05	2,9	700,85	4005	80,9	0,175
															53,5			
9 (Φ min)	6,3	13,3	15	0,04	0,18	1,66	129,6	2,18	63,2	31,9	33,1	16,9	5,25	3,5	339,57	3989	80,5	0,176
															53,9			

**Табл.4.4 Резултати от изследванията за осветител S-LINE 77 54W**

Степен на димиране	P [W]	Q [var]	S [VA]	I [A]	PF -	THDv [%]	THDi [%]	I <sub>2</sub> [%]	I <sub>3</sub> [%]	I <sub>5</sub> [%]	I <sub>7</sub> [%]	I <sub>9</sub> [%]	I <sub>13</sub> [%]	I <sub>15</sub> [%]	Φ [lm]	T <sub>c</sub>	Ra	EEl
															æ [lm/w]			
1 (Φ max)	33,63	61,8	70	0,16	0,4	1,29	58,2	0,06	41,4	27,5	18,1	4,1	2,89	1,68	3583,9	3188	82	0,161
															106,62			
2	29,8	49,6	58	0,145	0,39	1,3	61,8	0,07	43,2	27,9	20,5	4,9	3,32	1,7	3167,6	3202	81,7	0,163
															106,6			
3	27,3	45,6	53	0,13	0,37	1,32	65,5	0,09	45,6	28,1	23,6	5,5	3,78	1,81	2901,9	3215	81,4	0,169
															106,3			
4	24,5	42,3	49	0,11	0,35	1,35	79,5	1,24	47,7	28,5	26,4	6,5	4,05	1,89	2599,5	3222	81,12	0,17
															106,1			
5	22,2	39,7	45	0,1	0,33	1,37	85,3	1,69	50,2	28,8	28,5	7,6	4,28	1,9	2350,9	3235	81	0,172
															105,9			
6	19,1	33,6	39	0,08	0,29	1,39	99,5	1,85	53,6	29,1	29,9	8,5	4,35	2	2020,78	3249	80,9	0,173
															105,8			
7	16,5	27,6	32	0,07	0,25	1,4	107,3	2,01	55,4	29,5	31,5	9,9	4,5	2,05	1744,05	3254	80,65	0,176
															105,7			
8	12,4	23,3	26	0,05	0,23	1,43	117,8	2,06	58,8	29,9	32,8	11,7	4,75	2,1	1309,44	3268	80,43	0,178
															105,6			
9 (Φ min)	7,3	19,7	21	0,03	0,17	1,46	126,6	2,1	62,3	30,8	33,1	15,6	4,9	2,5	770,15	3272	80,13	0,179
															105,5			

**Табл.4.5 Резултати от изследванията за осветител Moon Z002 34W**

## ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. В четвърта глава на дисертационната работа са проведени лабораторни и реални изследвания на светотехнически и енергетични показатели при управляеми светодиодни ОУ. Представени са и достиженията от внедрявания в тази насока в национален и световен аспект. Изследователския процес е проведен чрез използване на анализатори на светотехнически и енергетични от висок клас. В обсега на изследването са обхванати както индивидуални мощни LED източници, така и управляеми светодиодни ОУ. Изследванията са проведени под DALI протокол и с използване на системата Zigbee. Резултатите

от изследваните светотехнически и енергетични показатели са систематизирани в табличен вид, което дава възможност да се направят конкретни изводи на база сравнителен анализ на данните.

2. В съответствие с горните съображения и предпоставки за енергетичните показатели на управляемите светодиодни ОУ, може да се синтезират следните по-важни заключения. При димирането на LED източниците и светодиодните ОУ на 10 степени по DALI протокол ( 1-10V), се наблюдава значително влошаване на фактора на мощността PF. Причина за това е възникването на деформационна мощност D При генериране на висши хармоници на тока и напрежението. Установено е ,че с намаляване мощността на LED източниците, този ефект се усилва. В резултат на тези негативни тенденции, загубите на активна мощност, предизвикани от висшите хармоници, чувствително се завишават, което влошава енергетичния баланс на осветителните уредби. Освен това високите нива на висши хармоници на тока, водят до съществено нарушение на изискванията на нормативните документи и стандарти за качеството на електрическата енергия.
3. При светотехническите величини се наблюдават различните тенденции на поведение в процеса на димиране на светодиодните ОУ. Светлинния поток на LED източниците за най-ниска степен на димиране намалява около 8 – 9 пъти, докато светлинният и добив бележи увеличение с около 15 %. Подобна тенденция на увеличение се наблюдава и при индекса на енергийна ефективност, като максималната дълбочина на димиране, т.е. при най-малката мощност, LED източниците „изсмукват“ повече светлина. Цветната температура  $T_c$  в процеса на димиране запазва относителна стабилност и устойчивост, а индекса на цвето предаване Ra бележи тенденция за намаляване в рамките на 2 – 5 единици.

## ПЕТА ГЛАВА

### ОПТИМИЗИРАНЕ НА УПРАВЛЯЕМИ СВЕТОДИОДНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ

#### 5.1 Приложение на метода „полза-разходи“ за оценка и прогнозиране на управляеми светодиодни ОУ.

Методологията и резултатите при два изследвани варианта на конвенционална и управляема LED ОУ са анализирани по-долу.

➤  $3 = r \cdot K + C$

➤  $F_H = 14 \% ; v = 5 \%$

➤  $r = \frac{F_H - v}{1 + v} \cdot 100 = \frac{0,14 - 0,05}{1 + 0,05} \cdot 100 = 8,57 \%$

Вариант	К [лв]	С [лв]	$3 = r \cdot K + C$	Т <sub>отк</sub> [г.]
Първи (съществуващ)	$K_1 = 185\,600$ лв	$C_1 = 48\,700$ лв	$3_1 = 64\,476$ лв	$T_{отк} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = 2,98$ [г.]
Втори (със система за управление)	$K_2 = 224\,800$ лв	$C_2 = 35\,560$ лв	$3_2 = 54\,668$ лв	
Разлика $\Delta$	$\Delta K = 39\,200$ лв	$\Delta C = 13\,140$ лв	$\Delta 3 = 9808$ лв	

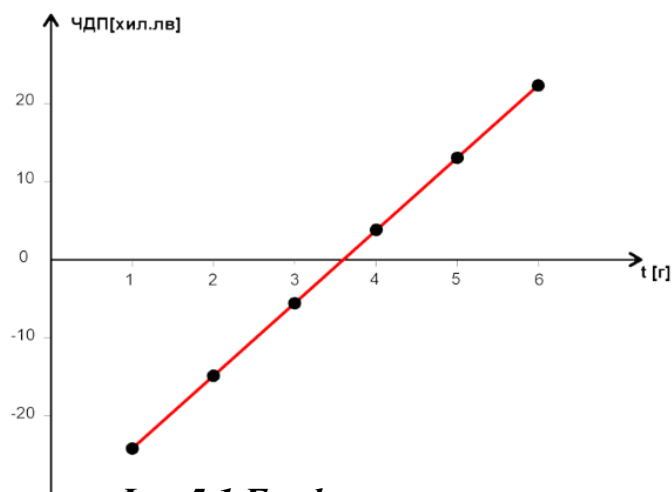
**Табл.5.1 Сравнителен анализ за разглежданите варианти**

➤  $\Delta C_d = \Delta C (1 + r)^{-t}$

➤  $ЧДП = \Delta C \frac{1 + (1 + r)^{-t}}{r} - \Delta K$  [лв]

Период на дискретизация $t$ [г]	Разлика в капиталовложението $\Delta K$ [лв]	Постоянна годишна икономия на експлоатационни разходи $\Delta C$ [лв]	Дисконтирана икономия на експлоатационни разходи $C_d = C (1 + r)^{-t}$ [лв]	Чиста дисконтирана печалба $ЧДП = \Delta C \frac{1 + (1 + r)^{-t}}{r} - \Delta K$ [лв]
1	39 200	13140	12 110	-27 080
2	39 200	13140	11 162	-16343
3	39 200	13140	10 285	-5607,9
4	39 200	13140	9479	3485,7
5	39 200	13140	8735	12 618
6	39 200	13140	8051	20 532

**Табл.5.2 Дисконтирани показатели за управляема светодиодна уредба**



- $T_{откд} \approx 3.52 \text{ г.}$
- $(K_2 - K_1).100 \approx 17 \%$
- $(C_1 - C_2).100 \approx 27 \%$
- $\Delta \text{ ПГР}.100 \approx 16 \%$

Фиг. 5.1 Графична интерпретация на зависимостите  $ЧДП = f(t)$

## 5.2 Приложение на комплексен многофакторен подход за оптимизиране на светодиодна ОУ

Реализиран е комплексен многофакторен подход с изходен параметър  $З_{ОУ}^*$  и четири съществени фактора.

№	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_1.X_2$	$X_1.X_3$	$X_1.X_4$	$X_2.X_3$	$X_2.X_4$	$X_3.X_4$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	$X_4^2$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
5	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
6	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1
7	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1
9	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
11	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1
12	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
14	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1
15	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
21	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
22	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
23	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Табл. 5.3 Разширена матрица за планиране на експеримента на план  $B_4$

$$З = r.K + C$$

Съществени фактори	Интервал на определение	Интервал на вариране	Долно ниво (-1)	Основно ниво (0)	Горно ниво (+1)
$X_1 \equiv MF$	$MF=0.5 \div 0.95$	30%	$MF=0.5 \div 0.65$	$MF=0.65 \div 0.8$	$MF=0.8 \div 0.95$
$X_2 \equiv (S/P)$	$(S/P)=1.2 \div 2.4$	30%	$(S/P)=1.2 \div 1.6$	$(S/P)=1.6 \div 2.0$	$(S/P)=2.0 \div 2.4$
$X_3 \equiv THD_1$	$THD_1=(40 \div 160)\%$	30%	$THD_1=(40 \div 80)\%$	$THD_1=(80 \div 120)\%$	$THD_1=(120 \div 160)\%$
$X_4 \equiv D$	$D=(10 \div 55)[mW/kx.m^2]$	30%	$D=(10 \div 25)[mW/kx.m^2]$	$D=(25 \div 40)[mW/kx.m^2]$	$D=(40 \div 55)[mW/kx.m^2]$

**Табл.5.5 Интервали на определение и нива на вариране на съществените фактори**

$$Z^*_{oy} = 4200 \div 11500 \text{ [лв/kW]}$$

$$Y = Z^*_{oy} = 8050,6 - 738,2X_1 - 234,5X_2 - 422,7X_3 - 625,4X_4 + 93,8.X_1.X_2 - 112,6.X_1.X_3 - 98,6.X_1.X_4 + 138,5.X_2.X_3 - 61,7.X_2.X_4 + 84,7.X_3.X_4 + 58,7.X_1^2 + 61,5.X_2^2 + 47,5.X_3^2 + 79,3.X_4^2$$

№	$X_0$	$X_1 \equiv MF$	$X_2 \equiv (S/P)$	$X_3 \equiv THD$	$X_4 \equiv D$	$X_1.X_2$	$X_1.X_3$	$X_1.X_4$	$X_2.X_3$	$X_2.X_4$	$X_3.X_4$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	$X_4^2$	$Y_u=3^*_{oy}$
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10362.5
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	9120.9
3	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	9552.3
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	8685.9
5	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	9295.9
6	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	6353.1
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	9039.7
8	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	7722.9
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	9262.9
10	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	9103.3
11	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	6729.5
12	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	8421.5
13	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	7058.7
14	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	7925.1
15	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	8032.1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6320.9
17	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8847.5
18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7371.1
19	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8346.6
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8112.1
21	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8520.8
22	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7675.4
23	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8755.3
24	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7504.5
-	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{34}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_{44}$	-
-	8050,6	-738,2	-234,5	-422,7	-625,4	93,8	-112,6	-98,6	-138,5	-61,7	84,7	58,7	61,5	47,5	79,3	-

**Табл.5.6 Разширена матрица на планиране на експеримента на план В4**

Влиянието на съществените фактори върху ИП в тяхната линейна част е разнородно. Факторите  $X_1 \equiv MF$  ;  $X_2 \equiv (S/P)$  и  $X_4 = D$  имат отрицателно влияние върху изменението на ИП, т.е. тяхното увеличаване спомага за намаляване на относителните ПГР  $Z^*_{oy}$  . Третия фактор  $X_3 \equiv THD_1$  има обратен ефект – увеличаването му предизвиква съответно увеличаване на относителните ПГР  $Z^*_{oy}$  .

Ефектите на взаимодействие също имат разнородно влияние върху ИП. Отрицателен ефект оказват  $X_1.X_2$  ;  $X_1.X_4$  ;  $X_2.X_4$  , т.е. взаимодействието на посочените фактори предизвиква увеличение на ИП  $Z^*_{OU}$  .

Квадратичните членове създават нелинейност на ММ формулират дисперсионната му съответстваща, т.е. определят разсейването около средната стойност на ИП  $Z^*_{OU}$  във всяка точка на матрицата на планиране на експеримента.

## **ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ПЕТА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА**

1. В тази глава на дисертационната работа е направено апробация на метода „Полза-разходи“ за оценка и прогнозиране на стойността на управляеми светодиодни ОУ. Извършено е сравнение на два варианта на изпълнение на ОУ – със и без система за управление. Доказани са безспорните предимства на управляемите светодиодни ОУ пред конвенционалните чрез количествена оценка на годишните икономии от експлоатационните разходи и приведените годишни разходи, които са с около 16% по-малки. Представена е графична интерпретация на чистата дисконтирана печалба, чрез която се определя дисконтирания срок на откупуване около 3.52г. Изследването по безспорен начин доказва предимството на управляемите улични светодиодни ОУ пред конвенционалните.

2. В съответствие с поставените цели и задачи в първа глава на дисертационната работа, за управляеми улични светодиодни ОУ е приложен комплексен многофакторен подход с използване Теория на планиране на експеримента. За изходен параметър „Приведени годишни разходи“ е синтезиран математически модел в многофакторно пространство с четири влияещи съществени фактора. Проведен е задълбочен анализ на предложения изходен параметър и съществените фактори като е доказана тяхната

обоснованост и тъждественост. Разработената постановка може да послужи като базисна методика за провеждане на изследователска дейност при други изходни параметри и съществени фактори на управляеми светодиодни ОУ. Това ще даде възможност за постигане на значителен технико-икономически ефект в това направление.

## **РЕЗУЛТАТИ ОТ ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА**

1. Направен е широк, всеобхватен и задълбочен литературен обзор върху състоянието, приложението, перспективите, проблемите, целите и задачите на светодиодното осветление. Анализирани са различни схемотехнически постановки, проследено е развитието на технологиите във всяка сфера на LED осветлението и са маркирани стратегическите насоки и тенденции за повишаване на ефективността и надежността на светодиодните ОУ. Проведено е прецизно проучване на популярни и интелигентни адаптивни системи за автоматизирано управление, осигуряващи съществени енергийни, екологични, икономически и ергономични предимства пред съществуващите конвенционални ОУ. Нови нестандартни технологични приложения с използване на LED източници в индустрията, селското стопанство, аквапониката, бита и др. са обект на специалното внимание в проведения изследователски процес. Посочени са възможностите за постигане на оптимални светотехнически решения с използване на LED източници, внедряване на усъвършенствани софтуерни продукти в проектантската практика, включващи прогресивни тенденции в областта на енергийната ефективност, светотехническата стандартизация, светлинното замърсяване, биологичното и психофизиологичното въздействие, опасните излъчвания, надежността и др. светотехнически показатели. Всичко това



утвърждава LED източниците като прогресивна и безалтернативна светотехническа концепция.

2. Проведен е обстоен анализ на националните и международните стандарти, свързани със светотехническите и енергичните характеристики на ОУ, като вниманието е фокусирано върху нормативните изисквания на LED ОУ. Разработена е нова концепция, характеризираща се с отказ от възприетия по настоящем в процеса на нормиране едностранчив подход. Застъпва се тезата за прилагане на комплексен подход, при който светодиодните ОУ като физически обект, да се проектират и експлоатират в релативна връзка с редица други технико-икономически характеристики като загубите на мощност и ел.енергия, специфичния разход на ел.енергия, качеството на ЕЕ, електроенергийната ефективност и др. В тази връзка са разработени общи изисквания към светодиодните ОУ свързани с източниците, драйверите, електроенергийната ефективност, светлинното замърсяване, управлението на LED ОУ, качеството на ЕЕ, технико-икономическите и екологични параметри и др. Този комплексен и оптимизиран модел се препоръчва да се внедри от проектантите и експлоататорите за изграждане на високоефективни LED ОУ.

3. Анализирани са различни теоритични критерий за оптимизация на ОУ от електротехнически и светотехнически характер въз основа на предложената нова комплексна светотехническа концепция. Експлоатационният фактор MF за външни и вътрешни LED ОУ се разглежда в съответствие с функцията „Постоянен светлинен поток“ (CLO), а съвместимостта на LED източниците и зрителния анализатор се оценява с помощта на отношението Scotopic/Photopic (S/P), което дава възможност да се постигнат по-високи нива на възприемане на светлинния поток. Технико-икономическите оптимизационни подходи са анализирани на база на критерия „минимум на приведените годишни разходи“ и

препоръчаните на ЕС методи PRESENT VALUE (PV) и NET PRESENT VALUE (NPV). В тази връзка са синтезирани конкретни препоръки и указания за приложимостта на тези методи в сферата на светодиодното осветление. На база на „Теория на планиране на експеримента“ е разработен комплексен многофакторен подход, в който целевата функция и влияещите съществени фактори подлежат на оптимизация в многофакторно пространство. Прилагането на различни оптимизационни процедури дава възможност за дефиниране на математически модели и определяне на оптимални области на изменение на изследваните по ефективност параметри, икономисва време и средства и е приложим за изследване и оптимизация на светодиодни ОУ.

4. Проведени са лабораторни и реални изследвания на светотехнически и енергетични показатели на управляеми LED ОУ с помощта на прецизни анализатори под DALI протокол и с използване на Zigbee системата. Установено е негативно влияние на димирането върху някои ПКЕЕ и ЕМС, респективно върху енергетичния баланс на осветителите. При светотехническите показатели се наблюдават различни тенденции на поведение в процеса на димиране – това се отнася за светлинния поток, светлинния добив, индекса на електроенергийната ефективност и цветната температура Тцв. Въпреки нееднозначните резултати свързани с ефективността на димирането, може да се направи извод за електроенергийната и светотехническата полза от процеса на управление в глобален аспект на експлоатацията на LED ОУ. Това се потвърждава и от резултатите от приложението на Zigbee протокола в изследвания процес.

5. Разработените теоретични постановки дават възможност да се апробират оптимизационни подходи при експлоатация на реални светодиодни ОУ. С помощта на метода „ползи-разходи“ по безспорен начин се доказани предимствата на управляемите светодиодни ОУ пред неуправляемите. Прилагането на

комплексния многофакторен подход с изходен параметър. „Приведени годишни разходи“  $Z_{OU}$  и четири съществени фактора (експлоатационен фактор MF, отношението S/P, интегралния коефициент на несинусоидалност по ток THD<sub>I</sub> и плътността на мощността на светодиодното ОУ) дава възможност, с използване на Теория на планиране на експеримента, да се синтезира математическия модел на целевата функция. На тази база се определят оптимални области на изменение на параметъра на оптимизация  $Z_{OU}^*$  и съществените фактори с отчитане също така влиянието на ефектите на взаимодействие и квадратичните членове на математическия модел.

## **ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД НАУЧНИ ПРИНОСИ**

1. Създадена е иновативна теоретична постановка апробирана чрез създаване на научноизследователски експеримент с изходен параметър „относителни приведени годишни разходи“ на реална светодиодна ОУ  $Z_{OU}^*$  и комбинация от четири съществени фактора. Методиката обединяват влияещи фактори с различна природа – от светотехническо и електротехническо естество, което е нов прогресивен подход при решаване на оптимизационни задачи в светотехниката.

2. Установена е нееднозначност на резултатите при управление на светодиодни ОУ, извършвано с прилагане на комплексен подход. Някои енергетични показатели в процеса на димиране влошават своите стойности, респективно енергетичния баланс на уредбата, докато светлинния добив и индекса на енергийна ефективност бележат тенденция към увеличение. Тази констатация представлява мотивирана претенция за иновативност, т.к. е научно обоснована и експериментално доказана

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработена е практично-приложна, научно обоснована концепция с прилагане на комплексен подход при нормиране, проектиране и експлоатация на светодиодни ОУ. Застъпена е тезата за установяване на релативни връзки между светотехническите, енергетичните и технико-икономическите характеристики на управляемите LED осветителни уредби. Внедряването на този подход в нормативната база и в проектантската практика ще способства за изграждане на високо ефективно светодиодно осветление.
2. Създадена е експериментална постановка и са проведени изследвания с реализиране на Zigbee протокол за управление на светодиодни ОУ. Няколко различни LED източника са управлявани в LAN мрежа и Wi-Fi среда чрез сървър, датчици за присъствие и осветеност, като е доказана ефективността на системата. Zigbee предоставя и функции на мониторинг, с което се осъществява контрол на надеждността на устройствата и LED източниците.
3. Чрез прилагане на метода „полза-разходи“ е апробирана методика за оценка и прогнозиране технико-икономическите предимства на управляемите светодиодни ОУ. С помощта на „чистата дисконтирана печалба“ и „дисконтирания срок на откупуване“ по безспорен начин се доказват достойнствата на системите за управлението на LED ОУ, осигуряващи постигане на висока технико-икономическа ефективност.

## ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Матов Д.П., В.Н.Гюров, Р.М.Киров, **С.И.Исак**, Художествено и ефектно осветление на крепостната стена на археологически резерват на гр.Хисаря, **II** Научна конференция ЕФ 2010, гр.Созопол, Сборник доклади, стр.70-78.
2. Матов Д.П., Киров Р.М., Чиков В.Н., Гюров В.Н., **Исак С.И.** Разработване на стенд за изследване на системи а управление на улично осветление, Проекти финансирани целево от държавния бюджет на ТУ-Варна, 2010, стр.7-8.
3. Киров Р.М., **Исак.С.И.**, Изследване ефективността на светодиодно улично осветление, проекти, финансирани целево от държавния бюджет ТУ-Варна, 2011, стр.57-58.
4. Киров Р.М., Матов Д.П., Гюров В.Н., Македонски Н.И., **Исак С.И.**, Електроенергийна ефективност при компенсация на реактивните товари на димируеми улични осветителни уредби, Енергиен форум 2011., Сборник доклади, стр.283-287.
5. Киров Р.М., Матов Д.П., Гюров В.Н., Николов В.Н., Македонски Н.И., **Исак С.И.** и др., Повишаване на електроенергийната ефективност и изграждане на пилотна система за регистрация на електропотреблението в електроснабдителната система на ТУ-Варна, Проекти, финансирани целево от държавния бюджет ТУ-Варна, 2012, стр.57-58.
6. **Исак С.И.**, Експериментално изследване на светодиодни осветителни уредби с използване на Zigbee протокол за управление, Енергиен форум 2021, Сборник докладим стр. 218-224, ISSN 2367-6728.
7. **Исак С. И.**, Димитров Ц.Д., Панчев Х.И., Киров Р.М., Изследване и анализ на енергетичните показатели и надеждността на LED осветителни уредби при различни режими на управление и експлоатация, БулЕФ 2019
8. **Isak. S.**, Iliev, I., Panchev, H. Research of LED dimming sources and lighting systems (2021) 2021 17<sup>th</sup> Conference on Electrical Machine, Drives and Power System, ELMA 2021 – Proceedings,.

## СЪКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ В ТЕКСТА

1. LENI – Lighting Energy Numeric Indicator;
2. ELI – Ergonomic Lighting Indicator;
3. ППР – приведени годишни разходи;
4. PV – PRESENT VALUE;
5. NVP – NET PRESENT VALUE;
6. TAV – TOTAL ANNUAL VALUE;
7. LCC – LIFE CYCLE COST;
8. АФ – анюитетен фактор;
9. LED – Light Emmiting Diode;
10. EMC – електромагнитна съвместимост;
11. PF – фактор на мощността;
12. CLO – Constant Lumen Output;
13. MF – експлоатационен фактор;
14.  $K_{\text{п}}$  – коефициент на пулсации;
15.  $K_3$  – коефициент на запълване;
16. ШИМ – широчинно импулсна модуляция;
17. DALI – Digital Addressable Lighting;
18. PLC – Power Line Communications;
19. ИАСАУ – интелигентни адаптивни системи;  
за автоматизирано управление;
20. PLM – Power Line Modem;
21. Li-Fi – Light Fidelity;
22. Wi Fi – Wireless Fidelity;
23. ЕЕ – електрическа енергия;
24. ОУ – осветителна уредба;
25. ПКЕЕ – показатели за качеството на ЕЕ;
26. LLMF – Lamp Lumen Maintenance Factor;
27. LSF – Lamp Survival Factor;
28. LMF – Luminaire Maintenance Factor;
29. CCD – Charge Coupled Device;
30. М/Р – мезопична към фотопична яркост;
31. S/P – Scotopic / Photopic;
32. ЧДП – чисто дисконтирана печалба;
33. ИП – индекс на печалбата;
34. СФ – съществен фактор;
35. ИП – изходен параметър;
36. ТПЕ – теория на планиране на експеримента;
37. ММ – математически модели;
38. ГИС – географска информационна система;