INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ОЦЕНКА НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ РАЗХОДИ ПРИ ВНЕДРЯВАНЕ НА ПРОЖЕКТОРНИ LED УРЕДБИ ЗА ОСВЕТЯВАНЕ НА ОТКРИТИ РАБОТНИ МЕСТА В СЛУЧАИ НА ВИСОКА РЕМОНТНА СЛОЖНОСТ – ОСВЕТЛЕНИЕ НА ПРИСТАНИЩЕН ТЕРМИНАЛ ВАРНА-ЗАПАД

Цветомир Димитров[1], Цанко Табаков[2], Валентин Гюров[3]

[1]Технически университет – Варна, ул. „Студентска“ №1, 9010, Варна, България
[2]Технически университет – Варна, ул. „Студентска“ №1, 9010, Варна, Българи
[3]Технически университет – Варна, ул. „Студентска“ №1, 9010 Варна, България

**кореспондиращ автор: valentin.giurov@tu-varna.bg*

ASSESSMENT OF OPERATING COSTS OF LED FLOODLIGHTING INSTALLATIONS FOR OUTDOOR WORKPLACES UNDER HIGH MAINTENANCE COMPLEXITY: THE VARNA-WEST PORT TERMINAL

Tsvetomir Dimitrov[1], Tsanko Tabakov[2], Valentin Gyurov[3]

[1]Technical University of Varna, 1 Studentska St., 9010, Varna, Bulgaria
[2]Technical University of Varna, 1 Studentska St., 9010, Varna, Bulgaria
[3]Technical University of Varna, 1 Studentska St., 9010, Varna, Bulgaria

**Corresponding author: valentin.giurov@tu-varna.bg*

Abstract
The advantages of implementing industrial LED are well known, but achieving optimal design and technical solutions is associated with obtaining an adequate assessment of both the lighting and energy, as well as the operational parameters of the systems. Some particular cases are characterized by significant repair complexity due to the specifics of the installation - on masts and at height in conditions of deteriorated climatic and meteorological conditions, which to a large extent proves to be decisive for obtaining an optimal solution for the entire estimated operational life of the system. The study presents a method for adapting some classic statements for assessing the technical and economic efficiency of the systems taking into account the current technical and economic indicators for a given operational period. A specific object was used as the object of the study - lighting of the port terminal "Varna-West".

Keywords: LED floodlighting; outdoor workplace lighting; port terminal; glare rating; maintenance complexity; annualized costs; net present value.

ВЪВЕДЕНИЕ

Осветяването на открити пристанищни терминали се характеризира със значителни работни площи, променлива конфигурация на складирани товари, движение на специализирана техника и необходимост от поддържане на подходяща видимост при работа в тъмната част на денонощието. За разлика от обектите с леснодостъпни осветители,

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

осветителните системи върху високи мачти са свързани с допълнителни организационни и финансови изисквания при профилактика и аварийно обслужване. В тези условия изборът на осветители само по инсталирана мощност или цена на придобиване не характеризира достатъчно икономическата им целесъобразност [1], [2], [5].

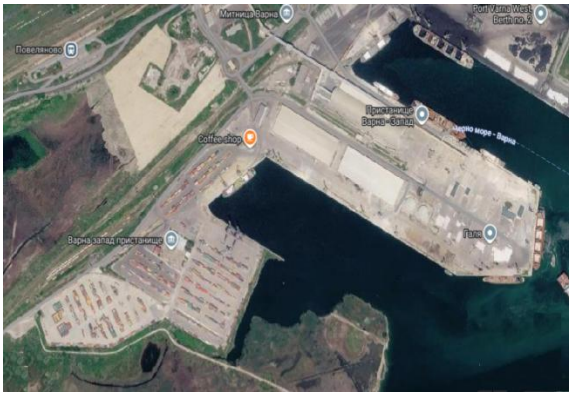
Нормативната рамка на светлотехническата оценка се определя от EN 12464-2:2024 „Светлина и осветление. Осветление на работни места. Част 2: Работни места на открито“ [3]. Наред с количествените показатели, при оценяването е необходимо да се отчитат равномерността на осветеността и ограничаването на заслепяването[4]. Целта на настоящия доклад е въз основа на конкретния светлотехнически проект за пристанищен терминал Варна-Запад да се систематизират техническите характеристики на прожекторната LED уредба и да се адаптира методика за оценка на експлоатационните разходи при висока ремонтна сложност. Използвани са класическият оптимизационен критерий „приведени годишни разходи“ (ПГР) и подходът на дисконтираните парични потоци (Net Present Value – NPV), приложим при инвестиционни алтернативи на инженер-ни технически решения. Разгледаното проектно решение е реализирано и получените резултати обективно съответстват на описания обект – пристанищен терминал „Варна-Запад”.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследването е една от трите основни транспортно-съхранителни зони за товари от контейнерен тип на пристанищен терминал „Варна-Запад”. Разработен е светлотехнически проект посредством софтуер DIALuxEvo 14. Проектът разглежда действителната инженерна задача, която е реализирана – реновация на осветителната уредба чрез замяна на прожекторно осветление с натриеви лампи високо налягане (НЛВН) със светодиодни (LED) прожектори.

Проектното решение включва четири съществуващи осветителни мачти, всяка с две монтажни нива: кота +24 m за 24 бр. нови LED прожектори с номинална мощност 450 W и кота +16 m за 12 бр. нови LED прожектори с номинална мощност 200 W. Общият брой източници на светлина е 144 бр., разпределени в две функционални групи – основно (работно) и охранно осветление. Под работно осветление се разбира едновременната работа на група 1 (+24 m) и група 2 (+16 m) в ситуациите, в които са налице транспортни и товаро-разтоварни дейности. Под охранно осветление се разбира работата само на група 2 (+16 м), която е постоянна в тъмната част от денонощието.

Сателитен изглед на пристанищния терминал и третата транспортна площадка са показани на Фигура 1 и Фигура 2.



***Фиг. 1**. Изглед на пристанищен терминал „Варна – Запад” – сателитна снимка*

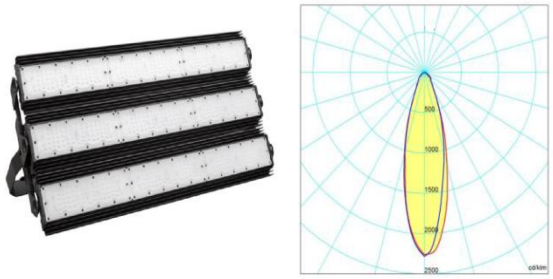


***Фиг. 2**. Изглед на транспортна площадка №3 – сателитен иглед*

Светлотехнически проект

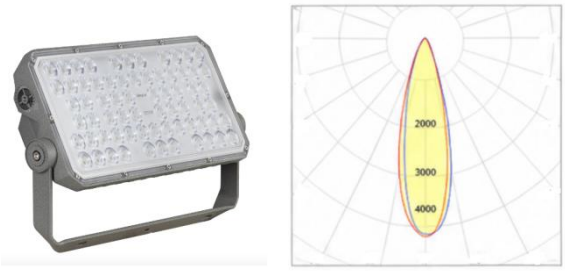
За източник на светлина на осветление група 1 (+24 m) е избран осветител

Ultralux LSF45050 с параметри P_H = 450 [W], Φ_H = 63400 [lm], CCT = 5000 [K], IP65, 30 deg. Изглед на прожектор за група 1 и неговата светлоразпределителна крива са показани на Фигура 3.



***Фиг. 3**. Изглед и светлоразпределителна крива на прожектор Ultralux LSF45050*

За източник на светлина на осветление група 2 (+16 m) е избран осветител Ultralux LSFT20050 с параметри P_H = 200 [W], Φ_H = 28996 [lm], CCT = 5000 [K], IP66, 20 deg. Изглед на прожектор за група 2 и неговата светлоразпределителна крива са показани на Фигура 4.



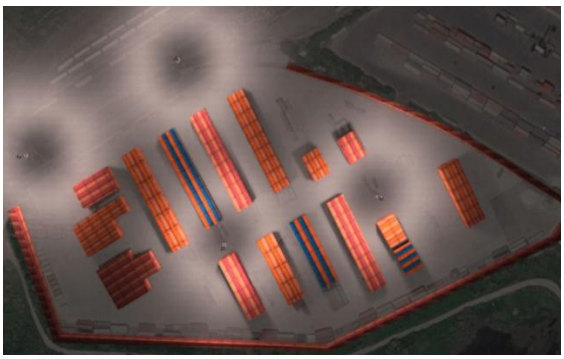
***Фиг. 4**. Изглед и светлоразпределителна крива на прожектор Ultralux LSFT20050*

В съответствие с EN 12464-2:2024 [1] оценката на светлотехническите показатели се извършва според характера на визуалните задачи и съответните работни зони. Дефинирани са седем изчислителни повърхности, съответстващи на зоните на движение на подемните и транспортни средства при товаро-разтоварните дейности с контейнери. За наблюдатели се приемат водачите на специализираните транспортни средства.

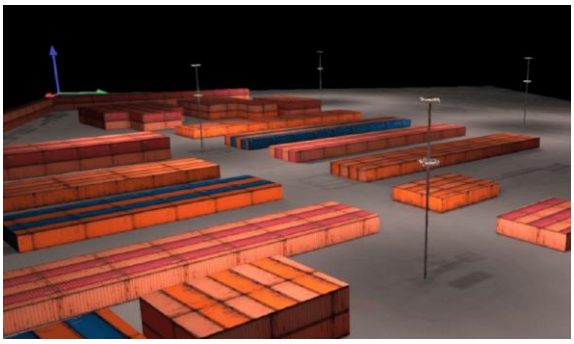


***Фиг. 6**. Примерен изглед на специализиран транспортьор-повдигач на контейнери*

Примерна снимка на специализиран повдигач и транспортьор от типа „ричс такер" ("reach stacker") е показана на Фигура 5. Изчислителните полета са зададени като съответстващи на възможните зони на движене на ричстакера с отчитане на необходимия габарит за повдигане и снемане на контейнер. Симулацията на прожекторната осветителна уредба със софтуер Dialux Evo 14, съответства-ща на разглежданата работна площадка е показана на Фигура 7. На Фигура 8 е показана 3D визуализация на светлинната среда Изчислителните полета и позициите за изчисляване на заслепяването на наблюдателите е показано на Фигура 9. За изчисляване на заслепяването по показател GR са приети позиции на наблюдателите в зоната на най-голямо очаквано заслепяване - началото на всяко изчислително поле.



***Фиг. 7**. Ситуационен план на прожекторната осветителната уредба*



***Фиг. 8**. 3D визуализация на прожекторната осветителната уредба*



***Фиг. 9**. Разположение на изчислителите полета и позициите на GR наблюдателите*

Изискванията към светлината среда за работното и охранното осветление, дефинирани в стандарт EN 12464-2:2024 са съответно:

- За работно осветление: E_m>50 lx, U0>0.25, GR<55, Ra>20,
- За охранно осветление: Em>20 lx, U0>0.25, GR<55, Ra>20.

Основните проектни параметри на осветителната уредба са показани в показани в Таблица 1.

Таблица 1

Показател	Основно осветление	Охранно осветление
Прожектори на мачта	24	12
Брой мачти	4	4
Общ брой прожектори	96	48
Номинална мощност на прожектор	450 W	200 W
Монтажна височина	24 m	16 m
Обща номинална мощност	43,2 kW	9,6 kW

Получените стойности за средна осветеност и равномерност на осветеността в изчислително поле са показани в Таблица 2.

Таблица 2

Зона	Ecp, [lx]	U_0,
CG1	112	0,45
CG2	98,9	0,45
CG3	117	0,33
CG4	119	0,62
CG5	62,9	0,30
CG6	116	0,39
CG7	121	0,28

Показателят на заслепяване GR за всеки един наблюдател се изчислява по Формула 1.

$$GR = 27 + 24 \cdot \log_{10}\left(\frac{L_{Vl}}{L_{VC}^{0.9}}\right) \qquad (1)$$

където: L_{vl} [cd/m^2] – обща воалираща яркост; L_{vc} [cd/m^2] – еквивалентна воалираща яркост на заобикалящата среда.

Изчисленията за GR се извършват автоматично в Dialux Evo при дефинирани позиции на наблюдателите. Резултатите са показани в Таблица 3.

Резултатите от изчисления показват съответствие на всички показатели в съответствие с изискванията на стандарт EN 12464-2:2024. По отношение на реализираната осветеност са налице близо два пъти по-високи стойности от минималните. Това гарантира постигането на качествена светлинна среда през целият заложен 10 год. срок на експлоатация. Стойностите за GR са в допустимите норми.

Таблица 3

Изчислителна точка	Индекс на заслепяване GR
CP1	24
CP2	< 10
CP3	23
CP4	17
CP5	35
CP6	49
CP7	< 10

Технико-икономически анализ

- ***Метод на приведените годишни разходи (ПГР)***

Методът се състои в постигането на минимални стойности на технико-икономическият показател ПГР, определен по Формула 2.

$$З = C_i + \alpha_н \cdot K_i \rightarrow \min \qquad (2)$$

където: З [EUR/год] – приведени годишни разходи; C_i [EUR/год.] - годишни експлоатационни разходи; K_i [EUR] – капитални вложения; $\alpha_Н$ [1/год.] – нормативен коефициент на ефективност на капиталните инвестиции.

Експлоатационните разходи се изчисляват с Формула 3.

$$C_i = C_П + C_A + C_{ТП} + C_{ЕЕ} \qquad (3)$$

където: $C_П$ [EUR/год.] – разходи за почистване на осветителите; C_A [EUR/год.] – разходи за амортизационни отчисления; $C_{ТП}$ [EUR/год.] – разходи за текущ ремонт, периодични прегледи и междуремонтно поддържане; $C_{ЕЕ}$ [EUR/год.] – разходи за консумирана електрическа енергия.

В капиталовложенията трябва да се включват разходи за изграждане на осветителната уредба (осветители, разпределителните и команди табла, електрическата мрежа, стълбове, носещи арматури и др.). Капиталовложенията се определят по Формула 4.

$$K_i = K_{ОСВ.} + K_T + K_M \qquad (4)$$

където: $K_{ОСВ}$ [EUR] – разходи за осветители; K_T [EUR] – разходи за разпределителни и командни табла; K_M [EUR] – разходи за електрическа мрежа.

- ***Метод на текущата нетна стойност (Net Present Value - NPV)***

Показателят за текуща нетна стойност е технико-икономически параметър, показващ целесъобразността на съответната капиталова инвестиция като инженерно решение. В инвестиционното проектиране се счита, че при NPV<0 инвестицията е неприемлива, при NPV=0 инвестицията има нулев добавен икономически ефект, а при NPV>0 води до допълнителни икономически ползи. При приложението на методиката за технически системи е необходимо е да се отчита спецификата на приложение на NPV за всяка област, както и факта, че специално в областта осветление, някои видове осветителни уредби според своето предназначение, могат да са целесъобразни и при NPV<0, ако са свързани с други обществени и социални ползи (например улично осветление, осветление на обществени сгради, обекти от стратегическо значение и др.). Показателят NPV се изчислява по Формула 5.

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \qquad (5)$$

където: I_0 - първоначална инвестиция; CF_t –нетен паричен поток през дадена година t; r- дисконтов процен.

Под нетен паричен поток се разбират финансовите ползи от съответното техническо решение. В областта на осветлението това са намалени разходи от консумация на електрическа енергия и експлоатационни разходи за поддръжка.

- ***Общи параметри на осветителната уредба***

Представената LED осветителна уредба е заменила предходно техническо решение със същата геометрия на монтаж, базирано на 96 бр. прожектори с НЛВН с $P_Н$=1000W (група 1) и 48 бр. прожектори с НЛВН с $P_Н$=400W (група 2). За средна годишна използваемост на осветлението се приема $T_{ГОД.}$=4200 [h], като охранно осветление се използва в 70% от общата използваемост, т.е. $T_{ОХР}$=2940 [h], а $T_{ОСН}$ = 1260 [h]. Годишната консумация на електрическа енергия по варианти стар и нов е съответно:

Вариант 1 (стар с НЛВН): $E_{ОХР.НЛВН}$= 81 MWh/год., $E_{РАБ.НЛВН}$=145 MWh/год. или общата годишна консумация е $E_{НЛВН.ГОД.}$=226 MWh/год.

Вариант 2 (нов с LED): $E_{ОХР.LED}$ = 28.2 MWh/год., $E_{РАБ.LED}$ = 66.5 MWh/год. или общата годипна кнсумация е $E_{LED.ГОД}$= 94.7 MWh/год.

Реализираната икономия на ЕЕ=131.3 MWh/год., което в проценти спрямо базисната (начална) консумация на ЕЕ е икономия с 42%. Резутатите за изчислени ПГР в стария и новия вариант са показани в Таблица 4. За цена на ЕЕ е приета средната цена от IBEX за тъмната част от денонощието в размер 155 [EUR/MWh]

Таблица 4

Параметър	Вариант НЛВН	Вариант LED
$C_П$ [EUR/год.]	1200	600
$C_А$ [EUR/год.]	0	7650
$C_{ТП}$ [EUR/год.]	2500	650
$C_{ЕЕ}$ [EUR/год.]	35030	14678
C_i [EUR/год.]	38730	23578
$K_{ОСВ}$ [EUR]	0	72000
$K_Т$ [EUR]	2500	2500
$K_М$ [EUR]	2000	2000
K_i [EUR]	4500	76500
α_N [1/год.]	0.1	0.1
З [EUR/год.]	**43230**	**31228**

И в двата варианта е заложено подмяна на захранващите линии и табла. Таблицата отразява какви ще са ПГР при продължаване използването на старата осветителна уредба със съответните значими годишни ремонти и какви ще са в новия вариант с отчитане на инвестицията и нейната амортизация при заложен 10 год. период на експлоатация.

Резултатите за NPV са представени в Таблица 5. За показател CF е заложена сумата от разликите в $C_{ЕЕ}$, $C_{ТП}$ и $C_{П.}$ За икономически показатели са приети средно нарастване на $C_{ЕЕ}$ с 4%/год., съответстващо на средностатистическото нарастване на цената на ЕЕ за последните 10 год.

Таблица 5

Параметър	Вариант LED
$CFT_1 = \Delta C_П$ [EUR]	600
$CFT_2 = \Delta C_{ТП}$ [EUR]	1850
$CFT_3 = \Delta C_{ЕЕ}$ [EUR]	20352
r	0.051
$\Delta C_{ЕЕ}$ [%/год.]	4
NPV [EUR]	130517

За дисконтов коефициент е приет r = 0.051, съответстващ на 5.1% годишна инфлация по данни на Национален статистически институт (НСИ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представен е способ за адаптиране на методиките за ПГР и NPV при технико-икономическа оценка на прожекторни осветителни уредби за открити работни места в индустрията и транспорта. Разгледано е конкретно приложение на методиката в характерен обект – пристанищен терминал „Варна – Запад”. Получените резултати показват количествена оценка при приложимостта на показаните методи. Предимство на предложения подход е задълбочаване и прецизиране на методите за оценка на целесъобразността при реновиране на осветителни уредби. За конкретният случай е получен NPV за 10 г. период, по-голям от началната инвестиция.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Sawicki D, Wolska A. Glare at Outdoor Workplaces—An Underestimated Factor of Occupational Risk. Energies. 2022; 15(2): 472.

[2] Pracki, P.; Skarżyński, K. A Multi-Criteria Assessment Procedure for Outdoor Lighting at the Design Stage. *Sustainability* 2020, *12*, 1330.

[3] EN 12464-2:2024. Light and lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places. CEN, 2024.

[4] CIE S 015/E:2005, Lighting of outdoor work places.

[5] IEEE 3001.9 Recommended Practice for the Lighting of Industrial and Commercial Facilities.