

МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ОСВЕТИТЕЛНА СИСТЕМА В ТЕКСТИЛНО ПРЕДПРИЯТИЕ

Пламен ЦАНКОВ, Милко ЙОВЧЕВ

Технически университет - Габрово, Факултет "Електротехника и електроника",
Катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане",
ул."Хаджи Димитър" №4, Габрово, България
e-mail: plamen@tugab.bg

MODERNIZATION OF LIGHTING SYSTEMS IN A TEXTILE ENTERPRISE

Plamen TSANKOV, Milko YOVCHEV

Technical University of Gabrovo, Faculty of Electrical Engineering and Electronics,
Department of Electric Power Distribution and Electrical Equipment,
4 Hadji Dimitar Str., Gabrovo, Bulgaria
e-mail: plamen@tugab.bg

ABSTRACT

The paper presents a project for energy efficient modernization of the lighting systems of sewing, cutting and ironing workshops in a textile enterprise by introducing of a new LED luminaires. The development is carried out in the following stages: audit of the existing lighting system; specifying the requirements of the quantitative and qualitative indicators of lighting in the textile works according to BDS EN 12464-2011 and BDS EN 15193-2017; multivariate lighting calculations of new LED lighting for textile factories using specialized lighting software; assessment of the electricity savings and economic efficiency of the proposed modernization. The results obtained confirm the energy efficiency and economic profitability from the introduction of LED lighting in the textile industry.

Key words: textile workshop lighting, LED, lighting calculations, energy efficiency, payback

ВЪВЕДЕНИЕ

Осветлението на работните места в текстилната индустрия оказва голямо влияние както върху производителността и качеството на работния процес, така и върху безопасността и здравето на работещите [1,2]. Едновременно с това непрекъснато се увеличават изискванията за повишаване на електроенергийната ефективност на вътрешните осветителни уредби, като това не трябва да бъде за сметка на качеството на осветлението и на съответните светло-

технически норми. Иновативните светодиодни (LED - Light-Emitting Diode) осветителни тела осигуряват нови възможности за повишаване на енергийната ефективност и качество на електрическото осветление в текстилните предприятия [3]. Най-съществените предимства на LED осветителите в сравнение с конвенционалните осветители с луминесцентни лампи (ЛЛ) и електромагнитен баласт (дросел) са: дългия срок на експлоатация - около 40 000 часа; висок светлинен добив, който

непрекъснато се увеличава; по-малки загуби в електронния драйвер - до 10% (при 25% в осветителите с ЛЛ и дросел); добър индекс на цвето предаване; възможност за димиране и регулиране на цветната температура и др.

Основният показател, характеризиращ електроенергийната ефективност на LED осветителите, е светлинният добив - η (lm/W). Тенденцията е към повишаване на светлинния добив в резултат на подобряване на електротехническите свойства на полупроводниковата технология. На пазара се предлагат LED осветители, които имат съществена разлика в цените, но и в светло- и електротехническите им качества. Например LED осветители с еднакви мощности могат да имат голяма разлика в светлинния добив - от 80 lm/W до 150 lm/W, което се отразява на постиганата електроенергийна ефективност.

В доклада се представя проект за енергийно-ефективна модернизация на осветителна система с нови LED осветители за различни помещения в текстилно предприятие.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Текстилното предприятие е изградено от 7 помещения с различно функционално предназначение и различни геометрични характеристики. Първоначално се уточняват геометричните характеристики на отделните помещения. В **Таблица 1** са показани функционалното предназначение на всяко помещение, неговите дължината l , широчина w , височината h , височината на работната повърхност h_{pn} , площ A , както и коефициентите на отражение на таван ρ_t , стени $\rho_{ст}$ и работна повърхност ρ_{pn} .

Таблица 1

Геометрични характеристики на отделните помещения от текстилно предприятие

№	Помещение	Геометрични параметри					Коефициенти на отражение		
		l , [m]	w , [m]	h , [m]	h_{pn} , [m]	A , [m ²]	ρ_t	$\rho_{ст}$	ρ_{pn}
1	Плетачна зала	26.50	5.00	3.00	0.80	132.5	0.8	0.7	0.3
2	Шивашка зала	9.80	5.90	3.00	0.80	57.82	0.8	0.7	0.3
3	Гладене и опаковка	8.80	5.00	3.00	0.80	44.0	0.8	0.7	0.3
4	Кроене-1	5.50	3.00	3.00	0.80	16.5	0.8	0.7	0.3
5	Кроене-2	5.90	3.20	3.00	0.80	18.88	0.8	0.7	0.3
6	Кроене-3	6.40	5.90	3.00	0.80	37.8	0.8	0.7	0.3
7	Технолози	5.30	5.00	3.00	0.80	26.5	0.8	0.7	0.3

Таблица 2

Нормени стойности на светлотехнически показатели по БДС EN 12464-2011 и препоръчителни стойности на електроенергийни показатели по БДС EN 15193-2017 за отделните помещения

№	Помещение	$\bar{E}_m$, [lx]	U_o	UGR_L	R_a	PN, [W/m ²]	LENI, [kWh/(m ² x година)]
1	Плетачна зала	500	0.60	22	80	12.76	41.57
2	Шивашка зала	750	0.70	22	80	12.76	41.57
3	Гладене и опаковка	300	0.60	22	80	12.76	41.57
4	Кроене	500	0.60	22	80	12.76	41.57
5	Технолози	500	0.60	22	80	12.76	41.57

Осветителната система трябва да удовлетворява нормените светлотехнически показатели за всяко помещение, съгласно действащия у нас БДС EN 12464-2011 [4]. В Таблица 2 са

представени нормените стойностите на средната експлоатационна осветеност $\bar{E}_m$, общата равномерност U_o , обобщения показател на заслепяване UGR_L (Unified Glare Rating) и

индекса на цвето предаване R_a за отделните помещения в промишленото предприятие, както и препоръчителните електроенергийни показатели специфична инсталирана мощност за осветление PN и цифров показател на енергия за осветление LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), съгласно [4], съобразени с техническите характеристики на осветителната система за модернизация [5].

Съществуващата осветителна система в отделните помещения е реализирана с осветители с луминесцентни лампи, тип T8, с мощност 2x36W, захранвани с електромагнитен

баласт, чиито загуби на мощност са 25% от мощността на осветителите. В **Таблица 3** са представени работни часове, брой на съществуващите осветители, удовлетворяващи нормите по БДС EN 12464 за съответните помещения в текстилното предприятие, инсталираната мощност за осветление P, специфичната мощност за осветление PN, годишната консумация на електрическа енергия за осветление W_a , показателят LENI и показателят за енергийна ефективност на електрическото осветление $W/m^2/100lx$.

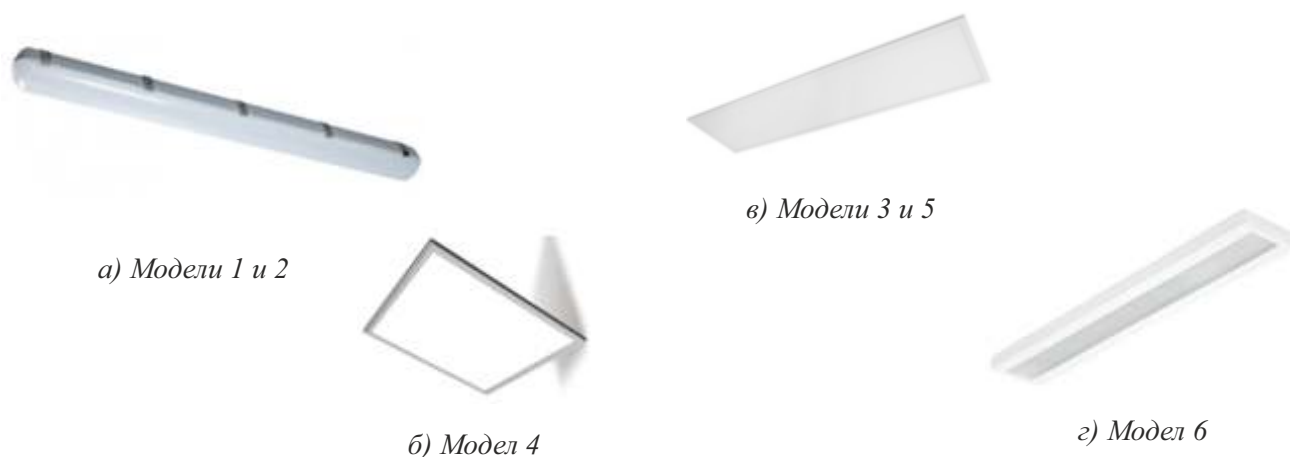
Таблица 3

Инсталирана мощност и консумирана електрическа енергия на съществуващата осветителна уредба с осветители с ЛЛ с мощност 2x36W

№	Помещение	Работни часове t, [h]	Съществуващо състояние					
			Брой осветители	P, [W]	PN, [W/m ²]	W_a , [kWh/година]	LENI, [kWh/(m ² x година)]	[W/m ² /100lx]
1	Плетачна зала	2 750	34	3 060	23.09	8 415	96.08	4.62
2	Шивашка зала	2 750	15	1 458	25.22	4 009.5	104.60	3.36
3	Гладене и опаковка	2 750	9	810	18.41	2 227.5	77.36	3.68
4	Кроене-1	2 000	4	360	21.82	720	91.00	4.36
5	Кроене-2	2 000	4	360	19.07	720	80.00	3.81
6	Кроене-3	2 000	8	720	19.04	1 440	79.88	3.81
7	Технолози	2 000	6	540	20.38	1 080	85.24	4.08

Модернизацията на осветителната система в отделните помещения на текстилното предприятие включва замяна на съществуващите луминесцентни осветители с нови енергийно-ефективни LED осветители. Предлагат се 6 модела LED осветители, показани на **Фигура 1**.

Те имат различни светло-, електротехнически и експлоатационни характеристики, както и различни цени, посочени в **Таблица 4**. На **Фигура 2** са показани светлоразпределителните криви (СРК) на LED осветителите.

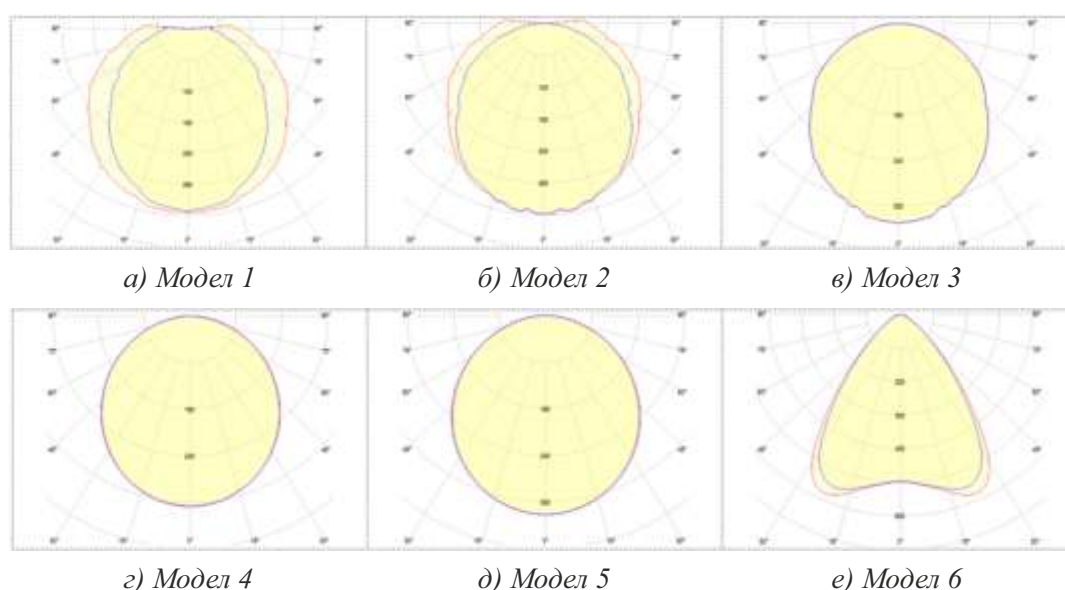


Фигура 1 LED осветители, използвани за модернизация на осветлението в текстилното предприятие

Таблица 4

Технически характеристики и цена на LED осветителите, използвани за модернизация на осветителната система в текстилното предприятие

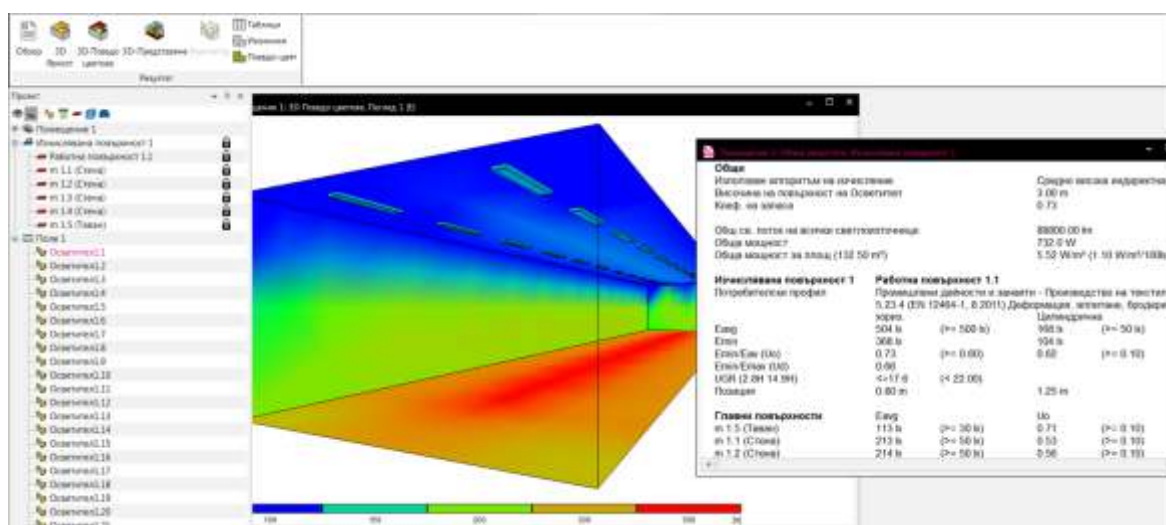
Модел на LED светително тяло	Мощност на LED осветителя, [W]	Светлинен добив, [lm/W]	Индекс на цвето-предаване R_a	Експлоатационен срок, [h]	Цена [лв.] (с ДДС)
Модел 1 (Фигура 1-а)	60.3	106.3	80	20 000	123
Модел 2 (Фигура 1-а)	58.6	101.6	80	50 000	80.16
Модел 3 (Фигура 1-в)	39.8	95.2	80	30 000	72
Модел 4 (Фигура 1-б)	48	81.7	80	30 000	66
Модел 5 (Фигура 1-в)	40	100	80	50 000	110
Модел 6 (Фигура 1-г)	30.5	121.3	80	50 000	267



Фигура 2 Светлоразпределителни криви на новопредложените LED осветители

Посредством софтуерен продукт Relux се извършват светлотехнически изчисления с описаните шест модела LED осветители [6]. На

Фигура 3 е показан резултат от светлотехнически изчисления и разпределение на осветеността с новите LED осветители за шивашка зала.



Фигура 3 Светлотехнически изчисления на шивашка зала с LED осветители

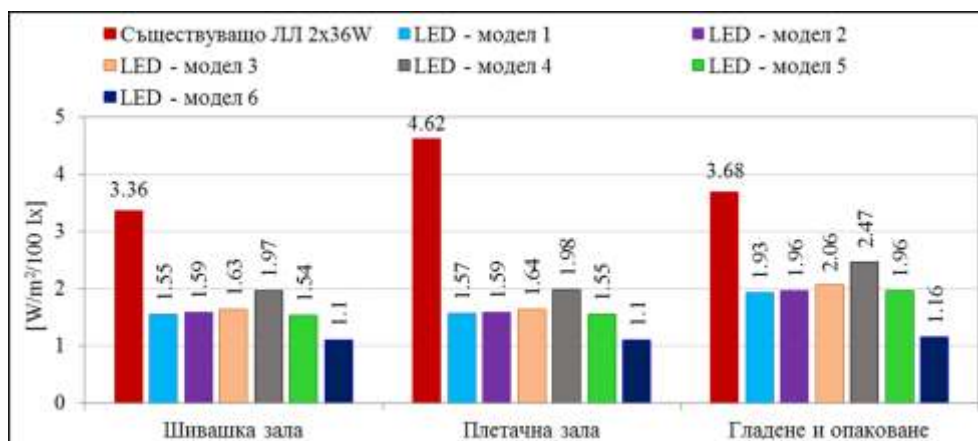
В **Таблица 5** са представени резултати от реализираните светлотехнически показатели (средна осветеност E_{cp} , обща равномерност U_o и обобщен показател на заслепяване UGR) и електроенергийни показатели за отделните помещения с новопредложените LED осветители. На **Фигура 4** е показан в графичен вид сравнителен резултат на реализирания показател за

енергийна ефективност на осветлението $W/m^2/100lx$ за съществуващото и новопредложените LED осветители за три от помещенията - шивашка и плетачна зала (цех) и помещение за гладене, а на **Фигура 5** - аналогично сравнение за същите помещения, но за цифровия показател на енергията за осветление (LENI).

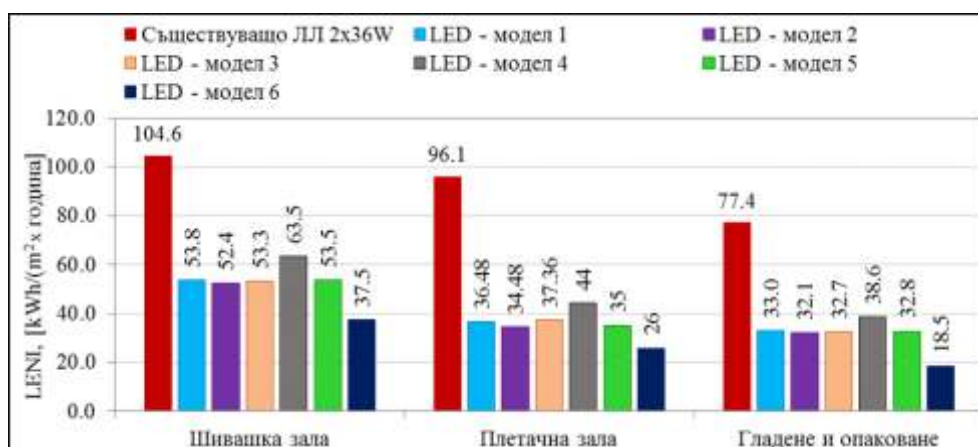
Таблица 5

Реализирани показатели с новопредложените LED осветители

Функционално предназначение на помещението	Модел на LED осветителя	Брой	Реализирани показатели							
			Светлотехнически			Електроенергийни				
			E_{cp} , [lx]	U_o	UGR	P, [W]	PN, [W/m ²]	W _a , [kWh/година]	LENI, [kWh/(m ² x година)]	[W/m ² /100lx]
Плетачна зала	1	18	521	0.78	27.6	1 085.4	8.19	2 984.8	36.48	1.57
	2	18	500	0.78	36.3	1 054.8	7.69	2 900.7	34.48	1.59
	3	28	514	0.75	21.3	1 114.4	8.41	3 064.6	37.36	1.64
	4	28	513	0.75	20.6	1 344	10.14	3 696	44.28	1.98
	5	26	507	0.75	20.9	1 040	7.85	2 860	35.12	1.55
	6	24	504	0.73	17.6	732.0	5.52	2 013	25.80	1.10
Шивашка зала	1	12	807	0.86	26.9	723.6	12.51	1 989.9	53.76	1.55
	2	12	767	0.86	35	703.2	12.16	1 933.8	52.36	1.59
	3	18	761	0.83	21.2	716.4	12.39	1 970.1	53.28	1.63
	4	18	759	0.82	20.4	864	14.94	2 376	63.48	1.97
	5	18	807	0.82	20.8	720	12.45	1 980	53.52	1.54
	6	16	768	0.84	17.6	488	8.44	1 342	37.48	1.10
Гладене и опаковка	1	2	379	0.81	24.1	120.6	7.31	331.7	32.96	1.93
	2	2	363	0.80	31.8	117.2	7.10	322.3	32.12	1.96
	3	3	352	0.80	19.1	119.4	7.24	328.4	32.68	2.06
	4	3	353	0.80	18.3	144	8.73	396	38.64	2.47
	5	3	371	0.80	18.8	120	7.27	330	32.80	1.96
	6	2	319	0.83	17.3	61	3.70	167.8	18.52	1.16
Кроене-1	1	3	557	0.81	24.1	180.9	10.96	361.8	47.56	1.97
	2	3	531	0.80	31.8	175.8	10.65	483.8	46.32	2.01
	3	6	649	0.84	19.1	238.8	14.47	656.7	61.60	2.23
	4	4	513	0.84	19.2	192	11.64	528	50.28	2.27
	5	6	687	0.84	18.8	240	14.55	660	61.92	2.12
	6	4	563	0.80	17.3	122	7.39	335.5	33.28	1.31
Кроене-2	1	3	513	0.79	24.4	180.9	9.58	361.8	42.04	1.87
	2	4	607	0.83	32	234.4	12.42	644.6	53.40	2.04
	3	6	593	0.83	19.3	238.8	12.65	656.7	54.32	2.13
	4	6	594	0.83	18.5	288	15.25	792	64.72	2.57
	5	6	628	0.83	19	240	12.71	660	54.56	2.02
	6	4	511	0.79	17.3	122	6.46	335.5	29.56	1.27
Кроене-3	1	6	591	0.84	25.6	361.8	9.58	723.6	42.04	1.62
	2	6	557	0.84	33.5	351.6	9.31	966.9	40.96	1.67
	3	9	550	0.83	20.5	358.2	9.49	985.1	41.68	1.73
	4	9	547	0.83	19.7	432	11.44	1 188	49.48	2.09
	5	8	523	0.82	20.2	320	8.47	880	37.60	1.62
	6	8	583	0.80	17.5	244	6.46	671	29.56	1.11
Технолози	1	4	516	0.86	24.4	241.2	9.10	482.4	40.12	1.76
	2	6	722	0.86	32.1	351.6	13.27	966.9	56.80	1.84
	3	8	643	0.84	19.5	318.4	12.02	875.6	51.80	1.87
	4	8	647	0.84	18.7	384	14.49	1 056	61.68	2.24
	5	6	516	0.84	19.2	240	9.06	660	39.96	1.75
	6	6	583	0.77	17.3	183	6.91	503.3	31.36	1.18



Фигура 4 Сравнително представяне в графичен вид на показателя за енергийна ефективност на осветлението $[W/m^2/100lx]$ при съществуващото и новопредложено LED осветление



Фигура 5 Сравнително представяне в графичен вид на цифровия показател на енергия за осветление LENI при съществуващото и новопредложено LED осветление

Таблица 6

Технико-икономически показатели с новопредложените LED осветители плетачен цех

Крайни резултати от сравнението на технико-икономически показатели за помещение плетачен цех	LED - №1	LED - №2	LED - №3	LED - №4	LED - №5	LED - №6
Първоначална инвестиция, [BGN]	2 214	1 443	2 016	1 848	2 860	6 408
Енергийни спестявания, [kWh/година]	5 430	5 514	5 350	4 719	5 555	6 402
Парични спестявания, [BGN/година]	1 249	1 268	1 231	1 085	1 278	1 472
Спестена мощност за помещението, [kW]	1.97	2.01	1.95	1.72	2.02	2.33
CO ₂ спестени емисии, [tCO ₂ /година]	6.08	6.18	5.99	5.29	6.22	7.17
Срок на откупуване РВ, [години]	1.77	1.14	1.64	1.70	2.24	4.35
Нетна сегашна стойност NPV, [BGN]	10 039	12 009	9 915	8 747	10 684	9 056
Коефициент на нетна сегашна стойност NPVQ	4.53	8.32	4.92	4.73	3.74	1.41
Вътрешната норма на възвращаемост IRR, [%]	60.3	93.6	65.0	63.0	47.0	23.4%
Години с вторични инвестиции за съществуващи осветителни тела	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13
Размер на една вторична инвестиция за LED осветителни тела, [BGN]	2 214	1 443	2 016	1 848	2 860	6 408
Години с вторични инвестиции за LED тела	14	-	10	10	-	-

Разликата в електроенергийните и ценови характеристики на предложените LED осветители, поражда необходимостта да се изследват технико-икономическите показатели на проекта за модернизация на осветителната система с отделните LED осветители [7]. При известни цена на единичен LED осветител, единична мощност, общ брой осветители в едно помещение за удовлетворяване на нормите и работ-

ни часове за година, се изчисляват технико-икономическите показатели за три от помещенията с най-голяма площ - плетачен и шивашки цех и помещение за гладене и опаковане. Резултатите от изчислените технико-икономически показатели с предложените LED осветители за модернизация на осветителната система за трите помещения в текстилното предприятие са представени в **Таблицы 6÷8**.

Таблица 7

Технико-икономически показатели с новопредложените LED осветители за шивашки цех

Крайни резултати от сравнението на технико-икономически показатели за помещение плетачен цех	LED - №1	LED - №2	LED - №3	LED - №4	LED - №5	LED - №6
Първоначална инвестиция, [BGN]	1 476	962	1 296	1 188	1 980	4 272
Енергийни спестявания, [kWh/година]	1 723	1 779	1 742	1 337	1 733	2 371
Парични спестявания, [BGN/година]	396	409	401	307	398	545
Спестена мощност за помещението, [kW]	0.63	0.65	0.63	0.49	0.63	0.86
CO ₂ спестени емисии, [tCO ₂ /година]	1.93	1.99	1.95	1.50	1.94	2.65
Срок на откупуване РВ, [години]	3.73	2.35	3.23	3.86	4.97	7.84
Нетна сегашна стойност NPV, [BGN]	1 181	3 490	2 335	1 584	2 367	1 521
Коефициент на нетна сегашна стойност NPVQ	0.80	3.63	1.80	1.33	1.20	0.36
Вътрешната норма на възвращаемост IRR, [%]	21.1	46.6	31.6	25.9	21.0	10.8
Години с вторични инвестиции за съществуващи осветителни тела	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13
Размер на една вторична инвестиция за LED осветителни тела, [BGN]	1 476	962	1 296	1 188	1 980	4 272
Години с вторични инвестиции за LED тела	7; 14	-	10	10	-	-

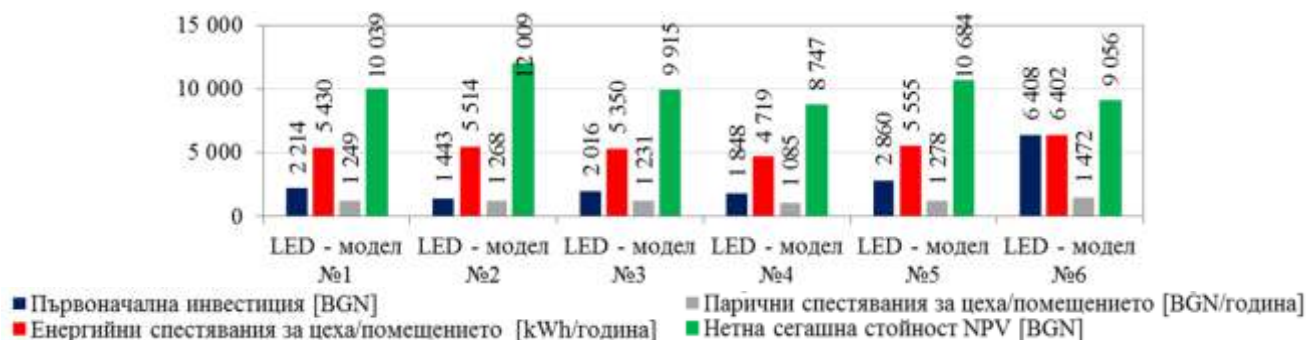
Таблица 8

Технико-икономически показатели с новопредложените LED осветители за помещение за гладене и опаковане

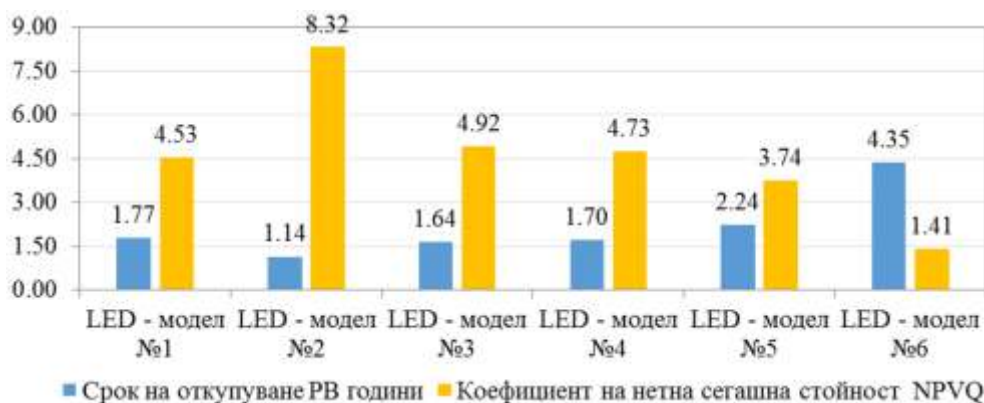
Крайни резултати от сравнението на технико-икономически показатели за помещение плетачен цех	LED - №1	LED - №2	LED - №3	LED - №4	LED - №5	LED - №6
Първоначална инвестиция, [BGN]	246	160	216	198	330	534
Енергийни спестявания, [kWh/година]	1 896	1 905	1 899	1 832	1 898	2 060
Парични спестявания, [BGN/година]	436	438	437	421	436	474
Спестена мощност за помещението, [kW]	0.69	0.69	0.69	0.67	0.69	0.75
CO ₂ спестени емисии, [tCO ₂ /година]	2.12	2.13	2.13	2.05	2.13	2.31
Срок на откупуване РВ, [години]	0.56	0.37	0.49	0.47	0.76	1.13
Нетна сегашна стойност NPV, [BGN]	4 025	4 410	4 218	4 093	4 223	4 387
Коефициент на нетна сегашна стойност NPVQ	16.36	27.51	19.53	20.67	12.80	8.21
Вътрешната норма на възвращаемост IRR, [%]	184.5	282.6	210.1	221.2	138.3	92.8
Години с вторични инвестиции за съществуващи осветителни тела	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13	2; 5; 8; 10; 13
Размер на една вторична инвестиция за LED осветителни тела, [BGN]	246	160	216	198	330	534
Години с вторични инвестиции за LED тела	7; 14	-	10	10	-	-

Сравнителните резултати на реализираните първоначална инвестиция, годишни енергийни и парични спестявания, нетна сегашна стой-

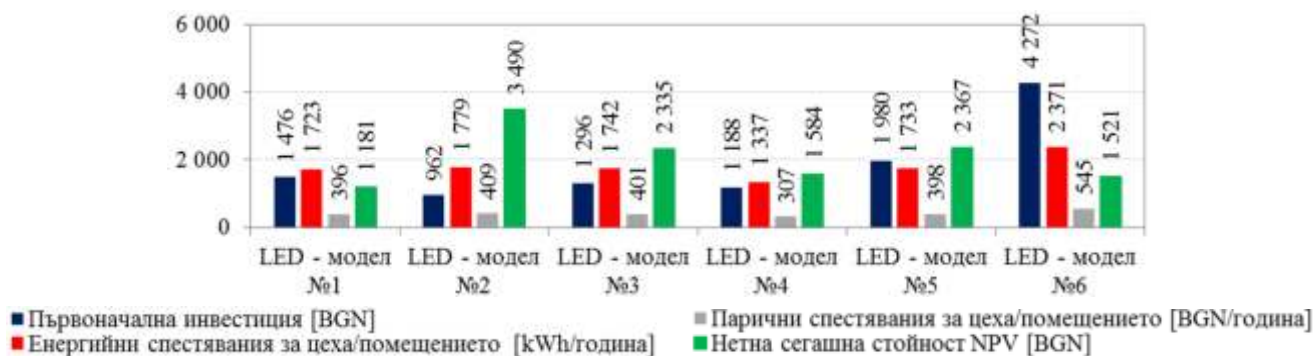
ност, срок на откупуване и коефициент на нетна сегашна стойност за плетачен и шивачен цех са представени графично на **Фигури 6÷9**.



Фигура 6 Реализирани технико-икономически показатели за плетачен цех



Фигура 7 Реализирани технико-икономически показатели за плетачен цех



Фигура 8 Реализирани технико-икономически показатели за шивачен цех



Фигура 9 Реализирани технико-икономически показатели за шивачен цех

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на анализа на вариантите за модернизация на осветителната система в помещенията от текстилно предприятие с нови LED осветители, имащи различни електроенергийни и ценови характеристики, могат да бъдат направени следните основни изводи:

1. Броят на новопредложените LED осветители зависи от светлинния добив на осветителя и от нормената осветеност на помещенията. При LED осветители със светлинния добив над 100 lm/W (модел 1, 2 и 6 - **Таблица 4**) броят на LED осветителите е по-малък от този на съществуващите с ЛЛ при удовлетворяване на нормените светлотехнически показатели осветеност, обща равномерност и индекс на цветопрераждане.

2. Установява се значително влияние на светлоразпределението върху степента на заслепяване UGR, причинено от осветителната система. LED осветител - модел 2 реализира недопустимо високи стойности на UGR за всички помещения, докато LED осветител - модел 6, който е единствен със светлоразпределение, различно от косинусното - **Фигура 2**, реализира най-нисък UGR, удовлетворяващ нормата за всички помещения (Таблица 5). Това показва, че изборът на осветители с подходяща СРК и прецизиране на местоположението на осветителните тела по отношение на работните зони е от съществено значение за ограничаване на заслепяващото въздействие на LED осветлението на помещения в текстилни предприятия.

3. Общата консумация на електрическа енергия за осветление за една година от всичките 7 помещения в текстилното предприятие намалява с 1,9 до 3 пъти - от 18 611 kWh/година със съществуващите осветителни тела с луминесцентни лампи на (10 032÷6 215) kWh/година при различните модели с новопредложените LED осветители, съгласно резултатите от **Таблицы 3 и 5**.

4. Техничко-икономическите показатели на вариантите за модернизация на осветителната система при различните модели LED осветите-

ли показват висока рентабилност на проекта, но със силно различаващи се срокове на откупуване на инвестициите - от 0,4 до 7,8 години.

Независимо от различните технически характеристики на LED осветителите, за всички анализирани варианти се постига повишаване на електроенергийната и икономическата ефективност на предлаганата модернизация. Необходимо е да се извършват детайлни светлотехнически изчисления за оценка на светлотехническите показатели за да не се допуска повишаването на енергийната ефективност да става за сметка на качеството на осветлението, здравето и безопасността на работещите в текстилната промишленост.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the European Regional Development Fund within the OP "Science and Education for Smart Growth 2014 - 2020", Project CoC "Smart Mechatronic, Eco-And Energy Saving Systems And Technologies", № BG05M2OP001-1.002-0023.

REFERENCES

- [1] D'Herdt, P., A. Deneyer, B. Roisin, M. Bodart. The Use of Energy Efficient Lighting in Dwellings Challenges and Potentials. ResearchGate, 2009.
- [2] Zumtobel - The Lighting Handbook. 6th edition, April 2018.
- [3] Vasilev, H., V. Geogriev, I. Draganova. Opportunities for Saving Electricity Using LED Lighting. Energy Forum, Varna, 2012.
- [4] BDS EN 12464-1:2011 - Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places.
- [5] BDS EN 15193:2017 - Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9.
- [6] <https://www.relux.biz> - Relux - Software for lighting calculations.
- [7] Dukov, D. Financing of Sustainable Buildings Projects. Training Course "Design of Low Energy Buildings", Borovets, 2009.