

**АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИ ОТ РЕАЛИЗАЦИЯТА НА КОМПЕНСИРАНЕ
НА РЕАКТИВНИТЕ ТОВАРИ С КОНДЕНЗАТОРНИ БАТЕРИИ В
„МИНИ МАРИЦА-ИЗТОК“ ЕАД****ANALYSIS OF RESULTS FROM THE REALIZATION OF REACTIVE
POWER COMPENSATION BY CAPACITORS IN "MINI MARITSA-
IZTOK" EAD****Plamen Tsankov***Technical University of Gabrovo***Plamen Dimitrov***Mini Maritsa Iztok EAD***Milko Yovchev***Technical University of Gabrovo***Abstract**

The report presents analysis of technical and economical results of realization of compensation of reactive loads in a large industrial site - "Mini Maritsa Iztok" EAD. The specific consumption and means for payment of reactive electric energy per unit volume of mining production are calculated and presented in tabular and graphical form. The analysis shows that investments for compensating devices are redeemed in less than a year, as well as the dependence of the average specific price of reactive electricity on the volume of various technological activities in the mines.

Keywords: reactive power compensation, capacitor, specific consumption of reactive electrical energy, mine.

ВЪВЕДЕНИЕ

В доклада се анализират резултати от реализацията на компенсиране на реактивните товари с кондензаторни батерии в най-голямото въгледобивно предприятие в Република България - „Мини Марица-изток“ ЕАД, експлоатиращо „Източномаришкото лигнитно находище“ и с определяща значимост за националния енергиен баланс.

Тежкото минно оборудване (ТМО) в „Мини Марица-изток“ ЕАД се задвижва основно от асинхронни електродвигатели, които са един от основните консуматори на реактивна енергия в индустрията [1]. ТМО включва значителен брой съоръжения - роторни и верижни багери, насипообразуватели (абзетцери), гумено-лентови транспортьори (ГТЛ) и задвижващи и обратни станции за тях. Основна част от ТМО са роторните багери: SRs 470, SchRs 1200, SRs 1301, SRs 2000, SRs 4000 и К 400 – общо за дружеството 27 на брой. В добивните участъци

на трите рудника работят 6 броя верижни многокофови багера тип ERs 710. Други видове машини от ТМО за осъществяване на технологичната дейност са насипообразувателите (абзетцери) As5000, As6300 и As12500, общо 12 броя. Роторен багер заедно с ГТЛ и насипообразувател представляват разкривно-транспортен насипищен комплекс (РТНК). В рудник „Трояново-1“ има 3 РТНК, в рудник „Трояново-север“ – 5 РТНК, а в рудник „Трояново-3“ – 4 РТНК.

Големият брой и мощност на съоръженията, задвижвани с асинхронни електродвигатели, са предпоставка за необходимостта от компенсиране на техните реактивни товари с цел намаляване на средствата за заплащане на реактивна енергия, съгласно Наредба №1/14.03.2017 г. за регулиране на цените на електрическата енергия [2] и загубите от пренасянето ѝ през електроснабдителната система на мините.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В настоящия доклад е извършен технико-икономически анализ на електроенергийни, производствени и финансови резултати от реализирани поетапно в периода 03.2016 г. ÷ 05.2017 г. работни проекти за компенсиране на реактивната мощност на тежкото минно оборудване, въз основа на сключен договор между „Мини Марица-изток” ЕАД и “Сименс“ ЕООД [3,4]. За осъществяване на анализа се извършват:

- проучване на техническите решения за компенсиране на реактивните товари за всяко от съоръженията от ТМО;

- оценка на инвестициите за реализацията на компенсиране на реактивната мощност на ТМО;

- проучване на консумацията на активна и реактивна електрическа енергия и средствата за нейното заплащането преди, по време и след реализацията на компенсирането;

- проучване на количествени показатели за обема на производството в мините за същия период от време.

Необходимата компенсираща мощност за отделните електродвигатели в обектите с ТМО се определя по формулата:

$$Q_k = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_e - \operatorname{tg} \varphi_o), \quad (1)$$

където: - P е мощността на двигателя, kW; $\operatorname{tg} \varphi_e$ е тангенсът на ъгъла, съответстващ на естествената стойност на фактора на мощността ($\cos \varphi$); $\operatorname{tg} \varphi_o$ е тангенсът на ъгъла, съответстващ на оптималната (желана) стойност на фактора на мощността [1].

Съгласно изискванията на възложителя се монтират нови кондензаторни батерии (КБ) в уредбите за напрежение 6 kV и 500 V с необходимата защитна и комутационна апаратура (контактори). Кондензаторните батерии са снабдени с разрядни съпротивления, чрез които се осъществява бързото им разреждане до 300 секунди за 6 kV и до 60 секунди за 500 V след тяхното изключване до напрежение от 50 V. За ограничаване на комутационните пренапрежения се монтират вентилни отводи в близост до из-

водите на КБ. За защита от къси съединения на КБ се използват вградени в тях стопяеми предпазители.

Приложените технически решения за компенсиране на реактивните товари на различните електродвигатели в ТМО са базирани на следните изчисления по формула (1) – Таблици 1 и 2 [3,4]:

Таблица 1. Избор на КБ за напрежение 6 kV

P, kW	Мощност на КБ при $\cos \varphi_{ж}$, kVAr				
	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
250	66.3	75.3	85.8	97.5	112.8
280	74.2	84.3	96	109	126
315	83.5	95	108	123	142
450	119	135	154	175	202
500	132	150.5	171	195	225
560	148.4	168.6	192.1	218.4	252.5
800	212	240.8	274.4	312	360.8
900	238.5	270.9	308.7	351	405.9
1000	265	301	343	390	451

Таблица 2. Избор на КБ за напрежение 500 V

P, kW	Мощност на КБ при $\cos \varphi_{ж}$, kVAr				
	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
100	26.5	30.1	34.3	39	45.1
110	29.1	33.1	37.8	42.9	49.6
132	35	39.7	45	51.5	59.5
315	83.5	94.8	108	122.9	142.1
400	106	120.6	137.2	156	180.4

Типът, количеството и основните технически данни на компенсиращите устройства [3,4], както и оценката на инвестициите за реализацията на компенсирането на реактивната мощност по съоръжения от тежкото минно оборудване в „Мини Марица-изток” ЕАД, са представени в Таблица 3.

Проучените консумация на активна и реактивна електрическа енергия, средства за заплащането им и отчетени количествени показатели за обема на производството в мините – отчетените минна маса, въглища и откривка по месеци за периода преди, по време и след реализацията на компенсирането (01.2016÷05.2017 г.), са систематизирани в Таблица 4.

Таблица 3. Тип, основни технически данни и цена на монтираните КБ за компенсиране на реактивните товари в съоръженията от ТМО в „Мини Марица-изток” ЕАД

Съоръжение	Тип и технически данни на монтираните КБ за компенсиране на реактивните товари	Количество	Единична цена, [лв.]	Обща цена*, [лв.]
ГТЛ 3x560 kW	5N30 с $U_n=6,3kV$ и $C_n=48.1\mu F$, 3 бр.х200=600 kVAr	1	1 689	1 689
Обща стойност за ГТЛ 3x560 kW в лева				2 495
ГТЛ 4x1000 kW	5N30-600 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=48.1\mu F$, 2 бр.х600=1 200 kVAr	2	1 689	3 378
Обща стойност за ГТЛ 4x1000 kW в лева				4 184
Багер SRs 2000	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=36\mu F$, 2 бр.х200=400 kVAr	3	912	2 736
	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=18\mu F$, 1 бр.х200=100 kVAr	2	495	990
Обща стойност за Багер SRs 2000 в лева				4 532
Багер SRs 1200	ZnPP-60 kVAr с $U_n=500V$ и $C_n=\mu F$, 1 бр.х60=60 kVAr	1	285	285
	ZnPP-120 kVAr с $U_n=500V$ и $C_n=\mu F$, 2 бр.х120=240 kVAr	2	495	990
Обща стойност за Багер SRs 1200 в лева				2 081
Багер SRs 470	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=36\mu F$	1	912	912
	ZnPP-60 kVAr с $U_n=500V$ и $C_n=\mu F$	1	285	285
Обща стойност за Багер SRs 470 в лева				2 003
Багер SRs 1300	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=36\mu F$	1	912	912
Обща стойност за Багер SRs 1300 в лева				1 718
Багер ERs 710	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=18\mu F$, 1 бр.х200=200 kVAr	1	912	912
	ZnPP-60 kVAr с $U_n=500V$ и $C_n=2*115.6\mu F$, 1 бр.х60=60 kVAr	1	285	285
Обща стойност за Багер ERs 710 в лева				2 003
Насипообразувател As 12500	5N30-600 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=48.1\mu F$, 2 бр.х600=1 200 kVAr	2	1 689	3 378
	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=18\mu F$, 1 бр.х200=200 kVAr	1	912	912
Обща стойност за Абзетцер As 12500 в лева				5 096
Насипообразувател As 6300	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=18\mu F$, 2 бр.х200=400 kVAr	2	912	1 824
	5N30-100 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=8\mu F$, 1 бр.х100=100 kVAr	1	734	734
Обща стойност за Абзетцер As 6300 в лева				3 364
Насипообразувател As 5000	5N30-200 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=36\mu F$	2	912	1 824
	5N30-100 kVAr с $U_n=6,3kV$ и $C_n=8\mu F$	1	734	734
Обща стойност за Абзетцер As 5000 в лева				3 364

*Забележка: в общата цена на всички съоръжения се добавят: кабел и вентилни отводи – комплект на цена 717 лв. и соф-уред на цена 89 лв. Всички цени са без ДДС.

Таблица 4. Консумация на активна W и реактивна V електрическа енергия, средства за заплащането им C и отчетени количествени показатели за обема на производството в минуте по месеци за периода 01.2016÷05.2017 г.

Месец и година	Активна енергия	Реактивна енергия	Разход за W	Разход за V	Отчетени количествени показатели за обема на производство в минуте		
	W , [MWh]	V , [MVarh]	C_w , [лв.]	C_v , [лв.]	Минна маса, $10^3 \times [m^3]$	Въглища, $10^3 \times [t]$	Откривка, $10^3 \times [m^3]$
01.2016	59 141.518	59 328.667	7 723 420.37	317 484.42	9 057.510	3 216.225	6 415.080
02.2016	54 777.945	56 379.025	7 163 495.03	334 945.81	8 973.011	2 421.327	6 985.360
03.2016	53 371.843	54 673.339	7 055 930.71	404 120.80	9 471.405	1 557.151	8 193.150
04.2016	49 247.598	53 594.984	6 573 818.55	401 273.33	9 393.044	1 626.397	8 056.770
05.2016	40 651.930	45 515.733	5 550 665.34	470 769.80	7 586.452	1 660.039	6 223.940
06.2016	43 190.996	47 434.175	5 683 987.24	351 051.08	8 249.025	1 533.650	6 993.110
07.2016	42 454.645	46 603.649	5 455 661.66	316 060.32	8 455.595	2 121.871	6 714.080
08.2016	46 281.882	44 704.603	5 951 475.22	299 132.28	9 623.680	2 103.470	7 895.710
09.2016	36 143.164	26 678.168	4 512 803.69	206 300.77	8 479.504	2 231.988	6 642.980
10.2016	52 796.665	41 974.271	6 664 962.86	232 590.37	9 662.195	3 145.441	7 075.800
11.2016	53 894.770	39 566.901	6 844 864.97	179 241.30	9 622.624	3 059.056	7 105.680
12.2016	63 325.268	43 430.466	7 993 596.16	93 321.17	10 017.987	3 085.547	7 482.590
01.2017	50 178.232	32 879.296	6 440 619.38	131 532.54	6 482.038	3 019.083	3 998.780
02.2017	53 794.285	33 986.862	6 853 995.93	85 140.37	8 110.212	3 122.224	5 543.843
03.2017	56 111.868	35 884.116	6 988 664.66	99 947.89	8 758.696	2 036.236	7 084.000
04.2017	50 264.685	30 530.755	6 384 790.62	83 783.19	9 170.078	2 025.503	7 503.050
05.2017	48 413.339	28 200.418	6 139 405.95	67 327.27	9 685.285	2 508.080	7 623.640

В Таблица 5 е направена обобщена количествено-стойностна сметка на монтираните компенсиращи устройства за всички ТМО съоръжения в „Мини Марица-изток“ ЕАД.

Таблица 5. Обобщена количествено-стойностна сметка на компенсиращите устройства за всички ТМО съоръжения

Съоръжение	Количество	Ед. цена, [лв.]	Обща цена, [лв.]
ГТЛ 3x560 kW	127	2 495	316 865
ГТЛ 4x1000 kW	17	4 184	71 128
Багер SRs 2000	13	4 532	58 916
Багер SRs 1200	9	2 081	18 729
Багер SRs 470	2	2 003	4 006
Багер SRs 1300	1	1 718	1 718
Багер ERs 710	6	2 003	12 018
Абзетцер As 12500	2	5 096	10 192
Абзетцер As 6300	8	3 364	26 912
Абзетцер As 5000	2	3 364	6 728
Общо в лева без ДДС			527 212

Таблица 6. Осреднени по месеци $\cos \varphi_{cp}$, цена на активна и реактивна електрическа енергия

Месец и година	$\cos \varphi_{cp}$	Осреднена цена на активната енергия, [лв./MWh]	Осреднена цена на реактивната енергия, [лв./MVarh]
01.2016	0.71	130.59	5.35
02.2016	0.70	130.77	5.94
03.2016	0.70	132.20	7.39
04.2016	0.68	133.49	7.49
05.2016	0.67	136.54	10.34
06.2016	0.67	131.60	7.40
07.2016	0.67	128.51	6.78
08.2016	0.72	128.59	6.69
09.2016	0.80	124.86	7.73
10.2016	0.78	126.24	5.54
11.2016	0.81	127.00	4.53
12.2016	0.82	126.23	2.15
01.2017	0.84	128.35	4.00
02.2017	0.85	127.41	2.51
03.2017	0.84	124.55	2.79
04.2017	0.85	127.02	2.74
05.2017	0.86	126.81	2.39

В Таблица 6 са представени изчислени осреднени месечни стойности на фактора на мощността $\cos \varphi_{cp}$ и на цената на активната и реактивна електрическа енергия преди, по време и след реализацията на компенсирането на реактивните товари. Изчи-

слената осреднена по месеци специфична реактивна електрическа енергия по отношение на количествените показатели за даден на производство в мините е показана в Таблица 7.

Таблица 7. Осреднена месечна специфична реактивна енергия за кубичен метър минна маса $V_{сп,мм}$ за единица тон въглища $V_{сп,в}$ и за кубичен метър откритка $V_{сп,о}$

Месец и година	$V_{сп,мм}$, [kVArh/m ³]	$V_{сп,в}$, [kVArh/t]	$V_{сп,о}$, [kVArh/m ³]
01.2016	6.55	18.45	9.25
02.2016	6.28	23.28	8.07
03.2016	5.77	35.11	6.67
04.2016	5.71	32.95	6.65
05.2016	6.00	27.42	7.31
06.2016	5.75	30.93	6.78
07.2016	5.51	21.96	6.94
08.2016	4.65	21.25	5.66
09.2016	3.15	11.95	4.02
10.2016	4.34	13.34	5.93
11.2016	4.11	12.93	5.57
12.2016	4.34	14.08	5.80
01.2017	5.07	10.89	8.22
02.2017	4.19	10.89	6.13
03.2017	4.10	17.62	5.07
04.2017	3.33	15.07	4.07
05.2017	2.91	11.24	3.70

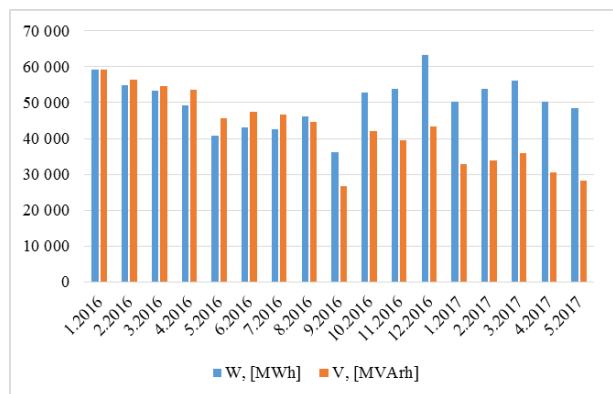
Таблица 8. Осреднен месечен специфичен паричен разход за реактивна енергия относно показателите на производителността

Месец и година	$C_{V_{сп,мм}}$, [лв./x.m ³]	$C_{V_{сп,в}}$, [лв./t]	$C_{V_{сп,о}}$, [лв./x.m ³]
01.2016	35.05	98.71	49.49
02.2016	37.33	138.33	47.95
03.2016	42.67	259.53	49.32
04.2016	42.72	246.73	49.81
05.2016	62.05	283.59	75.64
06.2016	42.56	228.90	50.20
07.2016	37.38	148.95	47.07
08.2016	31.08	142.21	37.89
09.2016	24.33	92.43	31.06
10.2016	24.07	73.95	32.87
11.2016	18.63	58.59	25.23
12.2016	9.32	30.24	12.47
01.2017	20.29	43.57	32.89
02.2017	10.50	27.27	15.36
03.2017	11.41	49.08	14.11
04.2017	9.14	41.36	11.17
05.2017	6.95	26.84	8.83

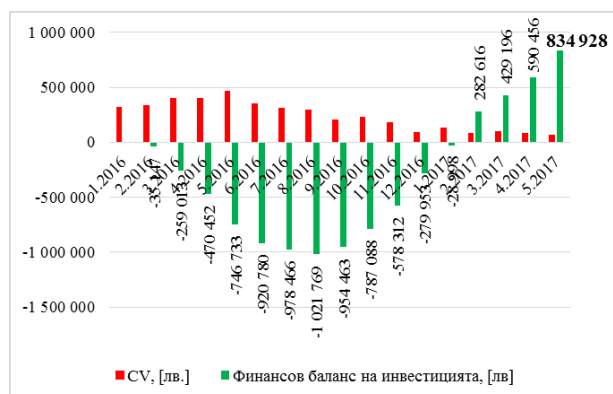
В Таблица 8 е представен изчисленият осреднен месечен специфичен разход за

реактивна енергия относно показателите на производителността в мините.

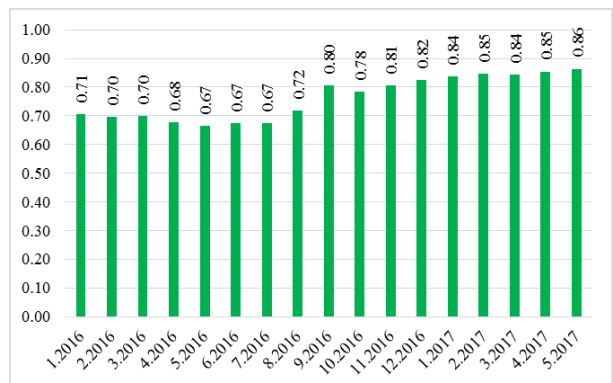
На Фигура 1 е показано сравнение на изменението на консумираната активна и реактивна енергия в „Мини Марица-изток“ ЕАД преди, по време и след реализацията на компенсиранието на реактивните товари, а на Фигура 2 – заплатените парични суми за реактивната енергия CV и финансов баланс на инвестицията при равномерно влагане по месеци за периода 03.2016÷05.2017 г.



Фиг. 1. Консумация на активна и реактивна енергия за периода 01.2016÷05.2017 г.



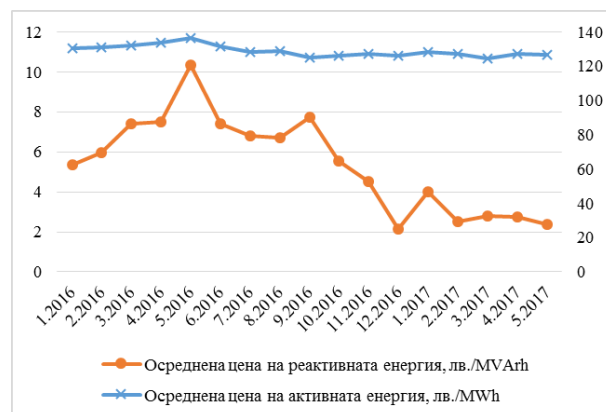
Фиг. 2. Заплатени парични суми за реактивна енергия и финансов баланс на инвестицията за периода 01.2016÷05.2017 г.



Фиг. 3. Осреднен месечен cos φ за периода 01.2016÷05.2017 г.

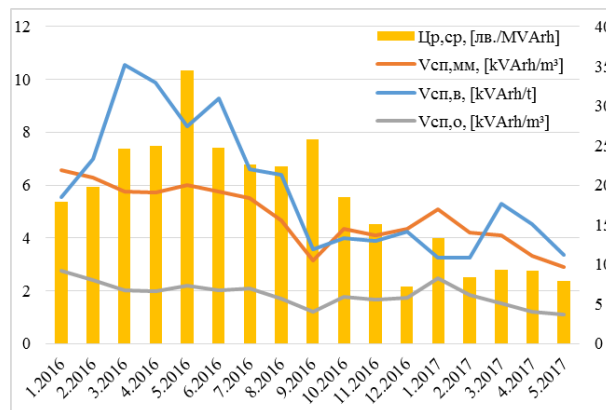
На Фигура 3 е представено изменението на постигнатия осреднен месечен cos φ за периода 01.2016÷05.2017 г.

Анализът на изменението на изчислените осреднени месечни цени на активната и реактивната енергия (Фигура 4) показва, че осреднената цена на реактивната електрическа енергия не следва характера на изменение на осреднения месечен cos φ.

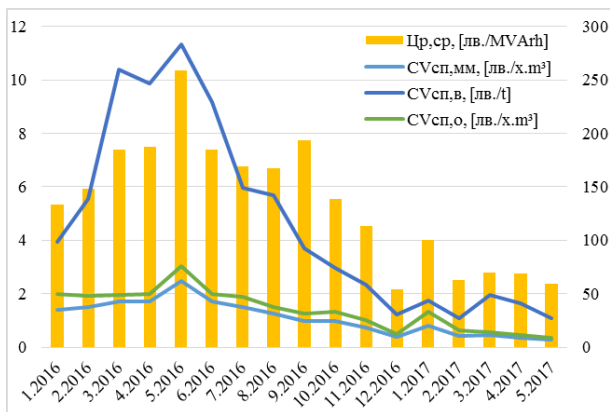


Фиг. 4. Осреднени цени за активна и реактивна енергия за периода 01.2016÷05.2017 г.

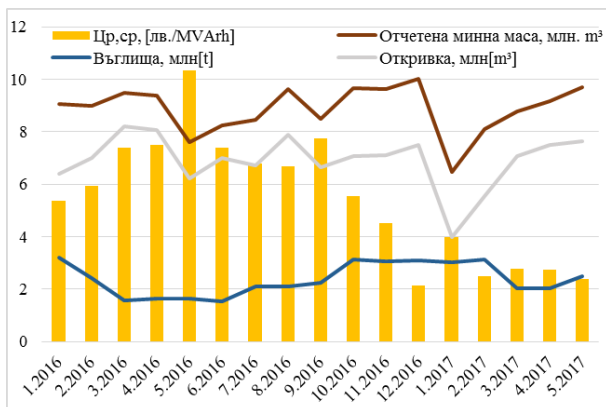
Характерът на изменение на реактивните товари в мините за разглеждания период се влияе не само от въвежданото компенсиране, а също и от режима на работа съоръженията и обема на производство за отделните месеци. За оценка на това влияние се сравнява изменението на осреднената цена на реактивната енергия със специфичната реактивна енергия (Фигура 5), специфичен паричен разход (Фигура 6) и реален обем на производство (Фигура 7).



Фиг. 5. Изменение на осреднената цена на реактивната енергия и специфичната реактивна енергия за единица обем на производство



Фиг. 6. Изменение на осреднената цена и специфичния паричен разход на реактивната енергия за единица обем на производство



Фиг. 7. Изменение на осреднената цена на реактивната енергия и показателите за реалния обем на производство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на резултатите от реализацията на компенсиране на реактивните товари с кондензаторни батерии в „Мини Марица-изток“ ЕАД води до следните основни изводи:

1. Откупуването на инвестицията от 527 212 лева за компенсиращи устройства става за по-малко от 1 година, като в края на разглеждания период е натрупана печалба от 834 928 лева (Фигура 2).

2. Сравнението на характера на изменение на осреднената цена на реактивната енергия спрямо специфичните реактивна енергия (Фигура 5) и паричен разход (Фигура 6) за единица обем производство показва, че общото ѝ намаление се дължи

основно на значителното намаляване на специфичната реактивна енергия, консумирана от технологичните съоръжения за добив на въглища и в по-малка степен от тези за минна маса и откривка.

3. При анализа на изменение на осреднената цена на реактивната енергия спрямо показателите за реалния обем на производство (Фигура 7) се установява, че в месеците с по-малка отчетена минна маса и откривка (5.2016, 9.2016 и 1.2017 г.), тя се увеличава, независимо от общата тенденция за намаление, в резултат на внедрените компенсиращи устройства. Това може да се дължи на нарастването на отдаваната капацитивна реактивна енергия към доставчика при празен ход на технологичните съоръжения за минна маса и откривка, която е с 10 пъти по-висока цена в сравнение с консумираната индуктивна реактивна енергия [2].

Изводите от извършения в настоящия доклад анализ потвърждават положителния ефект от реализирането на компенсиране на реактивните товари на тежкото минно оборудване с кондензаторни батерии в „Мини Марица-изток“ ЕАД и могат да бъдат полезни при реализация на аналогични проекти за индустриални обекти в България.

REFERENCE

- [1] Vasilev, N., S. Siderov. Electric Power Distribution of Industrial Enterprises. Sofia, Technika, 1991.
- [2] Ordinance No. 1 of 14 March 2017 on the Regulation of Electricity Prices. Energy and Water Regulatory Commission, published in State Gazette, issue 25 of 24 March 2017.
- [3] Project: Part "Primary commutation", Subject: Troyanovo - 1 Rudnik - 1, Object: Rotary excavator with SRS 2000 + VR reloader. SIEMENS, 2016.
- [4] Project: Part "Primary commutation", Project: Troyanovo-1, Troyanovo-North and Troyanovo-3 mines, Subject: 3x560 kW Power Station. SIEMENS, 2016.