

**АНАЛИЗИРАНЕ НА ДАННИ ОТ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА
ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДЪГОВИ ПЕЩИ****Свилен Рачев***Технически университет – Габрово***ANALYSIS OF DATA FROM THE OPERATION OF
ELECTRIC ARC FURNACES****Svilen Rachev***Technical University – Gabrovo***Abstract**

The wide application of electric furnaces in industry is known. At the same time, questions about their economic and ecological work became important. The goals are to achieve sufficient performance with rational energy consumption and compliance with environmental and electrical pollution norms. All this determines the purpose of this paper - analyzing data from the operation of electric furnaces, which is ultimately related to the improvement of operational work.

Keywords: electric arc furnaces, operational exploitation, operating modes, energy efficiency.

ВЪВЕДЕНИЕ

Електродъговите печи (ЕДП) работят на принципа на използване на топлината, отделена от електрическата дъга. В електрическата дъга при сравнително малък обем могат да се съсредоточат големи мощности и да се получат много високи температури. Това е особено удобно за топене на материали и по-специално на метали.

Основните параметри на ЕДП са: мощност на пещния трансформатор, максимална стойност на вторичното напрежение, съпротивление на пещната верига, номинален капацитет, производителност, специфична мощност и специфичен разход на електрическа енергия [1].

Производителността и специфичният разход на електрическа енергия зависят от много фактори, като най-важният е електрическият режим на работа на пещта, респ. подаваната електрическа мощност.

Електрическият режим на работа може да бъде регулиран по два начина:

- Стъпално – чрез изменението на напрежението на пещта;
- Плавно – чрез изменение на дължината на дъгата, следователно на тока на дъгата.

При първия начин се превключват намотките на страна високо напрежение на пещния трансформатор. При втория начин мощността се регулира непрекъснато и плавно, спускайки или повдигайки електродите, обикновено автоматично, като се поддържа постоянен токът на пещта.

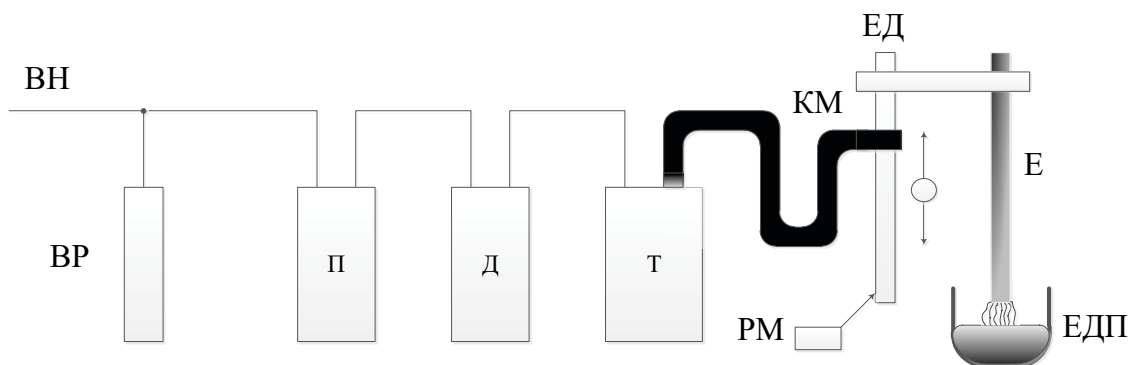
Наред с големите предимства на ЕДП като технологични агрегати работата им е съпроводена с редица особености и явления, които водят до отрицателно въздействие както върху самите тях, така и върху други потребители на електрическа енергия, намиращи се в близост. Товарите по фази са неравномерни.

Неравномерността зависи от съвършенството на конструкцията на пещта и от нестабилността на горене на електрическата

дъга. Коефициентът на мощността също не е добър. ЕДП са източник на хармоници, което се обуславя от природата на самата дъга. Възможно е при изключване на ЕДП по технологични или други причини да се появят комутационни пренапрежения. Всички тези недостатъци внасят смущения в електроенергийната система (ЕЕС) [2].

НЯКОИ СЪОБРАЖЕНИЯ

На фиг. 1 е дадена блокова схема с последователно свързаните главни елементи на електрообзавеждането на една стоманодобивна ЕДП. При другите типове ЕДП елементите са същите, но с параметри, отчитащи особеностите на работата им, съгласно изискванията на технологичния процес.



Фиг. 1. Блокова схема на електрообзавеждането на електродъгова стоманодобивна пещ [1]

ЕДП като мощни консуматори на електрическа енергия се захранват с високо напрежение (ВН) от ЕЕС. По този начин може да се намали отрицателното им влияние върху другите консуматори. Стойностите на високото напрежение са 6, 10, 20 или 35 kV, но при свръхмощни ЕДП достигат 110 и повече kV.

При честите изключвания на ЕДП възникват комутационни пренапрежения. При стоманодобивни ЕДП тези изключвания са няколко десетки броя за денонощие. Защитата от пренапрежения се изпълнява от вентилни разрядници ВР, монтирани непосредствено преди входа към електропещта. Свързването им е в звезда и триъгълник. Избират се специални за целта разрядници с по-ниска стойност за срязване на пренапрежението. Разрядници не се монтират, когато възникващите пренапрежения не са опасни.

На фиг. 1 с П е означен високоволтовият прекъсвач, предназначен за включване и изключване на пещния трансформатор при празен ход и при товар и за изключване при продължителни експлоатационни и аварийни къси съединения. Той е най-отговорното електрическо съоръжение за управление на пещта. При напрежение 35 kV и

повече се използват въздухоструйни прекъсвачи, издържащи голям брой включвания и изключвания, с много предимства пред маслените прекъсвачи. При по-ниски напрежения и малки по капацитет ЕДП се използват многообемни маслени прекъсвачи и съвсем рядко маломаслени.

Пещният трансформатор Т е най-отговорното съоръжение при една пещ. Той се отличава от един обикновен силов трансформатор по следните особености: трябва да издържа механически на непрекъснатите токови удари, възникващи при честите експлоатационни къси съединения; да издържа претоварвания за определен интервал от време; да позволява превключване (по възможност под товар) на различни степени на вторичното напрежение, броят на които достига до 27. Големите пещни трансформатори се правят с принудително охлаждане с циркулация на маслото. Пещните трансформатори имат по-големи габаритни размери и са по-тежки от обикновените при една и съща мощност. Вторичните им намотки трябва да позволяват в зависимост от мощността протичането на десетки kA. Това означава голям коефициент на трансформация, което заедно с изискването за малко индуктивно съпротивление

затруднява конструктивното изпълнение.

Участъкът на електрическата верига след трансформатора до електрода се нарича „къса мрежа" и се означава с *КМ*. Тя се характеризира с малка дължина и големи токове, следователно с големи сечения на проводниците. При протичането на големи променливи токове в проводниците активното им съпротивление се увеличава вследствие повърхностния (скин) ефект. Затова *КМ* се изпълнява от проводници с голямо сечение. Голямо значение за работата на *КМ* има индуктивното ѝ съпротивление, което зависи от магнитните полета, създадени от големите токове. Върху индуктивното съпротивление съществено влияние оказва ефектът „близост" – то намалява, когато близко се разположат проводниците от различни фази. Дължината на проводниците също има много голямо значение, затова трансформаторът се разполага възможно най-близко до пещта.

Поради неравенството на взаимните индуктивности между отделните фази се появява явлението „пренос на мощност" от едната крайна към другата крайна фаза. Мощността на дъгата на първата фаза намалява, затова тази фаза се нарича „мъртва", а на третата се увеличава, затова се нарича „дива". Средната фаза практически запазва мощността си. Това различие в мощностите на отделните фази води до неравномерно износване на топлинната изолация на пещта срещу съответната дъга. Най-доброто средство за борба с явлението „пренос на мощност" е разполагането на трите фази на късата мрежа по върховете на равноностранен триъгълник, което конструктивно е сложно и понякога невъзможно.

Довеждането на тока вътре до пещта и горенето на електрическата дъга се осъществява с помощта на електродите *E*, захванати в електродържачи *ЕД*. При ЕДП с пряко и косвено действие се използват преди всичко графитни електроди, отличаващи се с механична издръжливост и малко специфично съпротивление. При стоманодобивните ЕДП се използват и импрегнирани графитни електроди, които са с още по-добри качества, у нас се използват графитни електроди със защитно метално

покритие, изпълнено по специална патентована наша технология. Това покритие позволява по-добре да се използват електродите и специфичният им разход за един Mg стомана намалява – $7\div 8$ g/kg метал.

ЕДП имат няколко механизма с електрозадвижване. Най-важният от тях е този за вертикално преместване на електродите (за всяка фаза), свързан с регулатора на мощност *РМ* за поддържане на постоянна мощност.

За осъществяване на оптимално по избран критерий управление е необходимо да се познават електрическите характеристики на пещта. Това са зависимостите на пълната мощност *S*, активната мощност *P*, реактивната мощност *Q*, мощността на дъгата *P_д*, електрическите загуби *P_{ел.заг.}*, напрежението на дъгата *U_д*, фактора на мощност *cosφ* и електрически к.п.д. *η_{ел}* във функция от тока на дъгата *I_д* [3].

С увеличаване на тока на дъгата електрическият к.п.д. *η_{ел}* и коефициента на мощност *cosφ* намаляват, а електрическите загуби, реактивната и пълна мощност растат. Общата активна мощност и мощността на дъгата в началото растат, имат максимум при работен ток *I_д*, мощността на дъгата е най-голяма. Това е точката на максимална производителност на пещта. С увеличаване на работния ток електрическите загуби и реактивната мощност растат, мощността на дъгата намалява, влошават се к.п.д. и *cosφ*. Режимът на работа е рационален, когато нарастването $\Delta P_{д}$ остава по-голямо от $\Delta P_{ел.заг.}$. Електрическите характеристики спомагат да се определи при какъв ток на дъгата се постига най-добра производителност на пещта при ниска специфична мощност, т.е. определя се режимът на максимална производителност чрез подходяща настройка на автоматичния *РМ* [3].

Във връзка с гореизложеното интерес представлява определянето на някои статистически характеристики, свързани с работата на ЕДП.

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Обработена е съвкупност от записани данни за електродъгови пещи. Елементи на

съвкупността са т.нар. статистически единици [4].

В табличен вид по-долу са представени данни, получени от измервания на определени електрически величини с електронни многофазни електромери за работата на четири ЕДП за период една година, които впоследствие са систематизирани – Табл. 1, Табл. 2 и Табл. 3.

Табл. 1. Дневна енергия – пещ 1

Дата и време	Еа купува [kWh]	Ер индуктивна	Ер капацитивна	Среден Cos	Сума Еа куп. [лв.]
1 01.01.2009	0	0	7,981000215	0	0
2 02.01.2009	0	0	8,058000162	0	0
3 03.01.2009	1293,035989	316,9849997	527,514002	0,971241	115,080206
4 04.01.2009	1479,389998	424,9850028	512,6199987	0,961128	131,665712
5 05.01.2009	859,7839971	462,8030014	225,1470013	0,880538	76,5207774
6 06.01.2009	1077,35501	597,9219964	278,9979983	0,874367	95,8845962
7 07.01.2009	0	0	7,832000077	0	0
8 08.01.2009	0	0	7,989000112	0	0
9 09.01.2009	244,6539995	101,6100001	79,98699868	0,923517	21,7742064
10 10.01.2009	572,0730007	271,6520016	184,8899995	0,903328	50,9144978
11 11.01.2009	293,6110005	101,4140022	122,4929997	0,945205	26,1313793
12 12.01.2009	0,002	0	1,887999997	1	0,000178
13 0	0	0	0	0	0
14 0	0	0	0	0	0
15 0	0	0	0	0	0
16 0	0	0	0	0	0
17 0	0	0	0	0	0
18 18.01.2009	0,335999995	0,481000006	143,8049955	0,572661	0,029904
19 19.01.2009	0,008	0,052000002	10,51200001	0,152057	0,000712
20 20.01.2009	0,009	0,003	10,42099993	0,948683	0,000801
21 21.01.2009	0	0	7,892999932	0	0
22 22.01.2009	0	0	7,965000093	0	0
23 23.01.2009	235,3460028	381,2930057	21,71399942	0,525237	20,9457943
24 24.01.2009	613,1859918	396,6059986	186,8769997	0,839671	54,5735551
25 25.01.2009	64,71999886	18,37899971	28,95799972	0,961964	5,76008007
26 26.01.2009	0,003	0	10,34699996	1	0,000267
27 27.01.2009	422,661998	168,6949983	170,9049971	0,928757	37,6169188
28 28.01.2009	919,5490017	355,1320004	212,7930015	0,932849	81,8398631
29 29.01.2009	0	0	7,921000004	0	0
30 30.01.2009	1171,818999	325,7240016	473,676999	0,963472	104,291892
31 31.01.2009	684,186002	564,9549983	164,309	0,771096	60,8925548

Табл. 2. Нощна енергия – пещ 1

Дата и време	Еа купува [kWh]	Ер индуктивна	Ер капацитивна	Среден Cos	Сума Еа куп. [лв.]
1 01.01.2009	0	0	6,461	0	0
2 02.01.2009	62,79200101	224,560999	5,368	0,26929156	3,453559972
3 03.01.2009	818,3139954	920,694005	34,93	0,66432725	45,00727007
4 04.01.2009	969,7699938	569,003	264,79	0,86249724	53,33734921
5 05.01.2009	856,997004	371,273002	237,222	0,9175917	47,1348348
6 06.01.2009	556,0529983	318,724002	166,226	0,86758409	30,5829149
7 07.01.2009	0	0	6,594	0	0
8 08.01.2009	0	0	6,592	0	0
9 09.01.2009	287,3629944	45,5699992	120,342	0,98765849	15,80496483
10 10.01.2009	66,33599961	118,551001	6,028	0,4883088	3,648480079
11 11.01.2009	533,9459973	348,524	129,743	0,83739644	29,36702955
12 12.01.2009	0,009	0	6,655	1	0,000495
13 0	0	0	0	0	0
14 0	0	0	0	0	0
15 0	0	0	0	0	0
16 0	0	0	0	0	0
17 0	0	0	0	0	0
18 18.01.2009	0	0	1,862	0	0
19 19.01.2009	0,004	0	8,472	1	0,00022
20 20.01.2009	0,018	0,002	8,218	0,99388373	0,00099
21 21.01.2009	0	0	6,718	0	0
22 22.01.2009	0	0	6,496	0	0
23 23.01.2009	0	0	4,837	0	0
24 24.01.2009	0,008	0	2,069	1	0,00044
25 25.01.2009	0,02	0	9,15	1	0,0011
26 26.01.2009	0,009	0	8,817	1	0,000495
27 27.01.2009	0,061000001	0	8,632	1	0,003355
28 28.01.2009	380,7510009	456,273001	5,222	0,64070414	20,9413049
29 29.01.2009	0	0	7,389	0	0
30 30.01.2009	24,23699969	25,3480005	9,028	0,6910899	1,333034976
31 31.01.2009	465,9079966	231,732001	117,987	0,89536457	25,62493989

Табл. 3. Върхова енергия – пещ 1

Дата и време	Еа купува	Ер индуктивна	Ер капацитивна	Среден Cos	Сума Еа куп. [лв.]
1 01.01.2009	0	0	4,885000095	0	0
2 02.01.2009	0	0	4,752000049	0	0
3 03.01.2009	917,303	122,1560006	406,6409962	0,99124927	132,0916269
4 04.01.2009	733,825	101,6020003	292,1889993	0,9905507	105,6707953
5 05.01.2009	680,112	326,7959994	177,0899985	0,90134604	97,93612397
6 06.01.2009	462,949	362,0040039	98,56399906	0,78775392	66,66465342
7 07.01.2009	0	0	5,001000091	0	0
8 08.01.2009	0	0	4,683000073	0	0
9 09.01.2009	297,14	50,08999972	162,1119997	0,98608728	42,78815805
10 10.01.2009	309,576	104,3730007	124,2399981	0,94759323	44,57894226
11 11.01.2009	415,203	63,09400071	220,8889994	0,98865036	59,78922938
12 12.01.2009	0,009	0	0,568000004	1	0,001296
13 0	0	0	0	0	0
14 0	0	0	0	0	0
15 0	0	0	0	0	0
16 0	0	0	0	0	0
17 0	0	0	0	0	0
18 18.01.2009	0,002	0	2,928000033	1	0,000288
19 19.01.2009	0,007	0	4,827999979	1	0,001008
20 20.01.2009	0,028	0	6,398000017	1	0,004032
21 21.01.2009	0	0	4,794999897	0	0
22 22.01.2009	0	0	4,874000058	0	0
23 23.01.2009	0	0	2,817000017	0	0
24 24.01.2009	1822,378	820,1230027	642,5230036	0,9119116	262,4224261
25 25.01.2009	165,409	0,161000002	60,08000015	0,99999953	23,81889545
26 26.01.2009	0,01	0	6,048000023	1	0,00144
27 27.01.2009	131,113	33,7999994	45,84099974	0,96834093	18,88027118
28 28.01.2009	230,991	210,2159981	43,94099922	0,73958271	33,26270216
29 29.01.2009	0	0	4,829999954	0	0
30 30.01.2009	828,942	280,6459955	267,6359967	0,94718786	119,3676434
31 31.01.2009	386,557	251,8170017	119,4640006	0,83789353	55,6642057

Данните са за конкретна фирма, произвеждаща лети изделия от сив чугун, въглеродни и легирани стомани съобразно изискванията на съответните стандарти – БДС, DIN, ГОСТ и др. или съгласно изискванията на клиента, като такива отливки намират приложение в машиностроенето, автомобилната, химическата, минната промишленост и др. Относно малките стойности на активна енергия в определени дни – това са точно загуби, т.к. не е възможен самоход на електромера. Препоръката е захранващите кабели по възможност да се изключват двустранно при неработещи пещи.

Обработена е реална статистическа съвкупност от статистически единици, които в случая се явяват емпирични данни за активната и реактивна енергия и фактор на мощността на четири ЕДП, което позволява въз основа на анализ да се установят определени закономерности. Направените таблици, включващи в себе си изчислителни резултати, са реализирани по правилата на статистиката [5].

В табличен вид са представени т.нар. измерители на разсейването [6], съответно среден годишен товар на пещите, средноаритметична стойност, средноаритметично отклонение δ , дисперсия σ^2 и средноквадратично отклонение σ на $\cos\varphi$.

Табл. 4. Среден годишен товар P_{CP}

	P_{CP}, kW
Пещ 1	3398.164
Пещ 2	4250.575
Пещ 3	7522.93
Пещ 4	7396.243

Табл. 5. Средноаритметична стойност на $\cos\varphi$

Месец	Пещ 1	Пещ 2	Пещ 3	Пещ 4
I	0.51792800	0.242141	0.3825082	0.3817140
II	0.25666216	0.405856	0.8823432	0.2842741
III	0.56058501	0.092401	0.8592293	0.3081771
IV	0.59001820	0.006021	0.8715555	0.3429076
V	0.61500289	0.755907	0.8045680	0.8045680
VI	0.65702460	0.774847	0.8569999	0.3643593
VII	0.61520630	0.520055	0.6368514	0.3384763
VIII	0.43170900	0.586646	0.6589060	0.1560351
IX	0.21273301	0.875742	0.9240094	0.3665646
X	0.34552220	0.721920	0.8885567	0.3132156
XI	0.55455990	0.505497	0.8014897	0.3608446
XII	0.63048900	0.922526	0.6665919	0.2871813

Табл. 6. Средноаритметично отклонение δ на $\cos\varphi$

Месец	Пещ 1	Пещ 2	Пещ 3	Пещ 4
I	0.441285	0.165498	0.305866	0.305071
II	0.180020	0.329213	0.805701	0.207632
III	0.483943	0.015758	0.782587	0.231535
IV	0.513376	0.070620	0.794913	0.266265
V	0.538360	0.679264	0.727925	0.696814
VI	0.580382	0.698204	0.780357	0.287717
VII	0.538564	0.443412	0.560209	0.261834
VIII	0.355066	0.510003	0.582263	0.079393
IX	0.136091	0.799099	0.847367	0.289922
X	0.268880	0.645277	0.811914	0.236573
XI	0.477917	0.428854	0.724847	0.284202
XII	0.553847	0.845883	0.589949	0.210539

Табл. 7. Дисперсия σ^2 на $\cos\varphi$

Месец	Пещ 1	Пещ 2	Пещ 3	Пещ 4
I	0.479111	0.203324	0.343691	0.342897
II	0.217845	0.367039	0.843526	0.245457
III	0.521768	0.053584	0.820412	0.269360
IV	0.551201	0.032800	0.832738	0.304090
V	0.576185	0.717090	0.765751	0.654640
VI	0.618207	0.736030	0.818182	0.325542
VII	0.576389	0.481238	0.598034	0.299659
VIII	0.392892	0.547829	0.620089	0.117218
IX	0.173916	0.836925	0.885192	0.327747
X	0.306705	0.683103	0.849739	0.274398
XI	0.515742	0.466680	0.762672	0.322027
XII	0.591672	0.883709	0.627774	0.248364

Табл. 8. Средноквадратично отклонение σ на $\cos\varphi$

Месец	Пещ 1	Пещ 2	Пещ 3	Пещ 4
I	0,692178	0,450914	0,586251	0,585574
II	0,466738	0,605837	0,918437	0,495436
III	0,722335	0,231481	0,905766	0,518999
IV	0,742429	0,181108	0,912545	0,551444
V	0,759069	0,846811	0,875072	0,764961
VI	0,786261	0,857922	0,904534	0,570563
VII	0,759203	0,693713	0,773327	0,547411
VIII	0,626811	0,740154	0,787457	0,342371
IX	0,417032	0,914836	0,940846	0,572492
X	0,553809	0,826500	0,921813	0,523830
XI	0,718152	0,683139	0,873311	0,567474
XII	0,769202	0,940058	0,792322	0,498361

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистиката е математическа дисциплина, която изучава добиването на информация чрез анализ и интерпретация на емпирични данни, използвайки теорията на вероятностите. Използвайки статистиката са определени измерителите на разсейване – средноаритметична стойност, средноаритметично и средноквадратично отклонение, дисперсия на фактора на мощността. Важно е средноаритметичното отклонение, т.к. то е по-точна мярка от размаха (т.е. ширина на вариацията или числената разлика между крайните стойности).

Средноквадратичното (стандартно) отклонение и средноаритметичното такова са основните характеристики на статистическите разпределения. Средноаритметичното отклонение има свойството да подценява различията в сравнение със стандартното отклонение. Стандартното отклонение играе роля на най-точен и адекватен измерител на разсейването в съвкупността и затова е най-използвано.

По отношение на дисперсията – стремежът винаги е тя да е минимална.

Необходимо е да се уточни, че при статистическите обработки се използват стойностите на данните такива, каквито са, като и нулата също е стойност, а не липса на данни.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изпълнението на този доклад е благодарение на подкрепата на:

- Проект 2206С ‘Приложни математически изследвания в електроснабдяването и електрообзавеждането с фокус върху енергийната и икономическа ефективност’, финансиран от Министерството на образованието и науката на Република България.

- Проект BG05M2OP001-1.002-0023 Competence Center ‘Intelligent Mechatronic, Eco- and Energy-Saving Systems and Technologies’ financed by the Operational Program ‘Science and Education for Intelligent Growth’ of the European Regional Development Fund.

REFERENCES

[1] Рачев С., Д. Коева Д., Л. Димитров, Електрообзавеждане, Габрово, УИ „Васил Априлов”, 2018 // Rachev S., D. Koeva, L.

Dimitrov, Elektroobzavezhane, Gabrovo, UI „Vasil Aprilov”, 2018.

[2] Стоянов С., Ц. Цанев, Електрообзавеждане на производствени агрегати, София, Техника, 1990 // Stoyanov S., Ts. Tsanev, Elektroobzavezhane na proizvodstveni agregati, Sofia, Tehnika, 1990.

[3] Стоянов С., Г. Ковачев, Рационално използване на енергията в електрическите пещи, София, Техника, 1983. // Stoyanov S., G. Kovachev. Ratsionalno izpolzvanе na energiyata v elektricheskite peshti, Sofia, Tehnika, 1983.

[4] Moses, Lincoln E. Think and Explain with statistics. Addison-Wesley, 1986. pp. 1-3.

[5] Moore, David. Teaching Statistics as a Respectable Subject. // Statistics for the Twenty-First Century. Washington, DC, The Mathematical Association of America, 1992. pp. 14–25.

[6] Chance, Beth L. Investigating Statistical Concepts, Applications, and Methods. Duxbury Press, 2005.