

ФИЗИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ И СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ЗАЗЕМТЕЛИ С ПРОВОДИМА БЕТОННА ОБМАЗКА ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В МИННАТА ИНДУСТРИЯ

Георги Велев

Технически университет - Габрово, 5300 Габрово, E-mail: g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Представеният доклад дава яснота относно целесъобразността от използването на проводими бетони за обмазване на вертикалните и хоризонтални заземителни електроди, участващи като съставни в заземителните инсталации за приложение в условията на откритите рудници в нашата страна с цел намаляване съпротивлението на заземяване и защита на електрод от корозия. На базата на физическо моделиране на заземители с проводима бетонна обмазка, статистическа информация получена чрез полеви измервания на техните експлоатационни параметри и последващата обработка на резултатите са направени изводи относно приложимостта и икономическия ефект, който предлаганите заземители ще имат при тяхното прилагане в практиката.

PHYSICAL MODELING AND STATISTIC ANALYSIS REGARDING THE OPERATING PARAMETERS OF CONDUCTIVE CONCRETE ENCASED GROUNDING ELECTRODES FOR APPLICATION IN MINING INDUSTRY

Georgi Velev

Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, e-mail: g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

ABSTRACT. The paper presented in here clarifies the advisability regarding the use of conductive concretes for encasing vertical and horizontal grounding electrodes as components of grounding installations for application in open air mines' environment in our country aiming at grounding resistance decrease and increasing electrodes' corrosion protection. Relevant conclusions are made on the basis of conductive concrete encased grounding electrodes' physical modeling in real conditions; statistic data obtained by operating parameters site measurements and its consecutive post processing regarding the applicability and economic effect that these proposed grounding electrodes would have if applied in industry.

Въведение

Проблемът с ефективността и надеждността на заземителните инсталации в условията на откритите рудници е основно в две направления:

- **при рудници с ниско специфично обемно съпротивление на почвата, повишена корозионна активност и електрифициран железопътен транспорт** заземителните електроди и металната подземна инфраструктура са подложени на интензивна електрокорозия в следствие на протичане на блуждаещи токове с много голям интензитет в почвата. В резултат експлоатационния период на заземителите рязко намалява и освен това при тяхното постепенно унищожаване съпротивлението на заземителната инсталация постепенно нараства и представлява риск от поява на опасни допирни и крачни напрежения, както в нормален работен така и при аварийен режим. Комплексът „Марица Изток“ и неговите открити рудници за въгледобив са типичен пример със своите около 340 км. електрифициран железопътен транспорт и изключително ниски стойности на специфичното съпротивление на почвата, в някои зони в границите 12–20 $\Omega \cdot m$ (Данев, 1974).
- **при открити рудници с високо специфично обемно съпротивление на почвата** основен проблем е трудното постигане нормените стойности на

съпротивлението на заземяване, неговото голямо колебание през годината в следствие изменение на годишните сезони и конкретно концентрацията на влага в почвения слой, както и неоправдано големите разходи в следствие преразхода на метал при изграждането и поддръжката на заземителните инсталации. Минно-обогатителният комплекс „Асарел-Медет“ АД, гр. Панагюрище е представител на този тип рудници.

Разработваните в период на 3 години заземители с проводима бетонна обмазка биха могли да решат ефективно горепосочените проблеми. В първия случай са извършени редица изследвания за корозионна защита на електрода положен в еднослойна и двуслойна проводима бетонна обмазка като резултатите са публикувани съгласно (Петров и Велев, 2007). Като извод е заключено, че експлоатационния период на заземителите се увеличава с повече от 3 пъти ако те се обмазват с два слоя проводима бетонна обмазка с различна проводимост и състав.

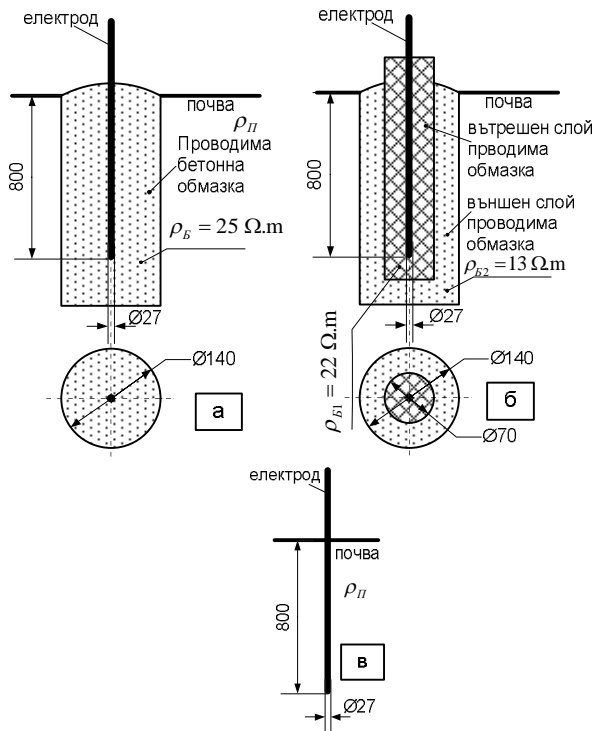
Във вторият случай се цели намаляване съпротивлението на единичните заземители участващи в заземителните контури с цел икономия на метал и намаляване на капиталовложенията за изграждане.

Подобни изследвания са правени и чрез смесване на цимент, гранулирана шлага от стоманодобивната

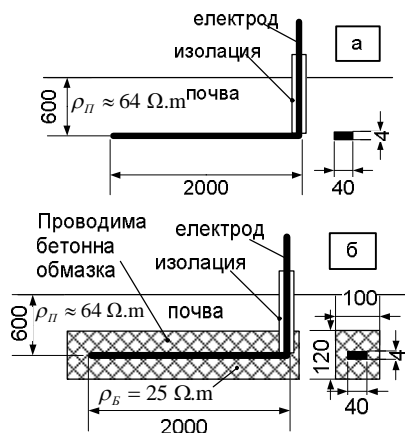
промишленост и сол (Chen et al., 2004) или чрез комбинация от цимент и различни видове проводяща пръст (Sancosha Corporation, 2000; D'Alessandro et al., 2004).

1. Описание на физическите модели на предлаганите заземители

За оценка степента на редукция на съпротивлението на заземяване е извършено физическо моделиране в реални условия и размери на вертикални и хоризонтални стоманени заземители с и без обматка в района на ТУ-Габрово.



Фиг. 1.1. Скици на вертикалните електроди на територията на ТУ Габрово: а) вертикален заземител с еднослойна проводима обматка; б) вертикален заземител с двуслойна проводима обматка; в) конвенционален вертикален заземител без обматка.



Фиг. 1.2. Скици на хоризонтални заземители, монтирани на територията на ТУ Габрово: а) конвенционален хоризонтален лентов заземител без обматка; б) хоризонтален заземител с еднослойна обматка.

Геометричните размери на различните образци вертикални и съответно хоризонтални заземители са подбрани еднакви за да има сравнимост на резултатите от

последващите измервания. На фиг. 1.1 са представени скици на вертикалните заземители, положени в района на ТУ-Габрово, а на фиг. 1.2 на хоризонталните.

Проводимият бетон при еднослойно-обмазаните заземители от фиг. 1.1а и фиг. 1.2б е изготвен с обемно отношение на съставките графит, пясък, цимент – 1/3Г+1/2Ц+1/6П (Петров и Велев, 2007).

Вътрешният слой на двуслойно-обмазания вертикален заземител от фиг. 1.1б е със състав 1/2Г+1/2Ц(без пясък), а външният слой 1/2Г+1/3Ц+1/6П (Петров и Велев, 2007).

2. Статистическа информация получена от ежемесечни измервания съпротивлението на заземление за разглежданите заземители

За оценка ролята на проводимата обматка относно намаляване съпротивлението на заземление е нужно да се разполага със статистическа информация относно изменението на въпросния параметър през годината, като честотата на измерванията да не е по-голяма от един месец. За разглежданите експериментални електроди са извършвани периодично такива измервания като резултатите от тях са представени в табл. 2.1 за вертикалните заземители и табл. 2.2 за хоризонталните.

Процентната редукция на съпротивлението на заземяване при използване на проводими обматки за различните образци заземители е изчислена съгласно следната зависимост в общ вид:

$$R_{ij}\% = \frac{R_i - R_{ij}}{R_i} \cdot 100, \% \quad (1)$$

$R_{ij}\%$ - редукция на съпротивлението в проценти за съответния заземител с проводима бетонна обматка, %;
 R_{ij} - измерено съпротивление на заземяване за съответния заземител с проводима бетонна обматка, Ω;
 Таблица 2.1

R_i - измерено съпротивление на заземление за заземител със същата конфигурация но без обматка, Ω;

Таблица 2.1

Резултати от измерванията за вертикалните заземители по дати

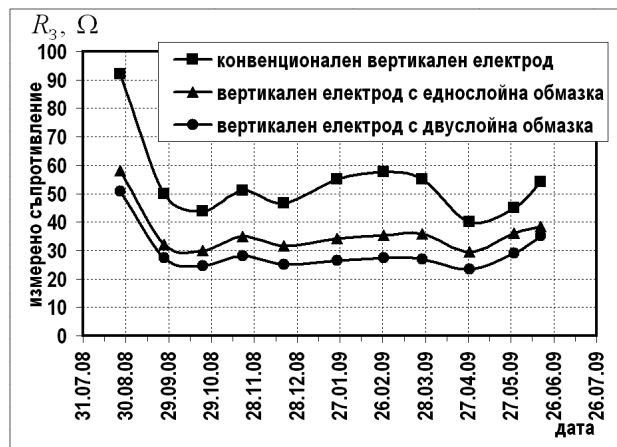
Дата	сезон	RH	t	Съпротивление на заземление			Редукция	
				R_B	R_{B1}	R_{B2}	$R_{B1}\%$	$R_{B2}\%$
		%	°C	Ω	Ω	Ω	%	%
26.08.08	С	40,8	35	92	58	50,8	37	44,8
26.09.08	В	44,4	22	50	32	27,5	36	45
23.10.08	В	49,7	18	43,8	30	24,5	31,4	44
20.11.08	В	42,5	15	51	35	28,2	31,4	44,7
19.12.08	В	43,2	10	46,5	31,5	25	32,3	46,2
25.01.09	В	44,1	15	55	34,25	26,5	37,7	51,8
27.02.09	В	33,8	4,3	57,5	35,3	27,4	38,6	52,3
26.03.09	В	48,2	9,6	55	35,75	26,9	35	51,1
28.04.09	В	42	18,1	40	29,5	23,5	26,3	41,3
29.05.09	С	54,3	16,3	45	36	29	20	35,6
17.06.09	С	42,1	20,6	54	38,5	35,2	28,7	34,8
средно							32,2	44,7

Таблица 2.2

Резултати от измерванията за хоризонталните заземители по дати

Дата	сезон	RH	t	Съпротивление на заземление		Редукция
				R_X	R_{X1}	$R_{X1\%}$
		%	°C	Ω	Ω	%
26.08.08	С	40,8	35	26	16,1	38,1
26.09.08	В	44,4	22	20,5	14,3	30,2
23.10.08	В	49,7	18	20,5	14	31,7
20.11.08	В	42,5	15	25	16,5	34
19.12.08	В	43,2	10	23,5	16	31,9
25.01.09	В	44,1	15	24	17	29,2
27.02.09	В	33,8	4,3	24,3	17,8	26,7
26.03.09	В	48,2	9,6	24,5	16,5	32,7
28.04.09	В	42	18,1	21	14,8	29,5
29.05.09	С	54,3	16,3	30,5	17,5	42,6
17.06.09	С	42,1	20,6	37,5	20,5	45,3
средно						33,8

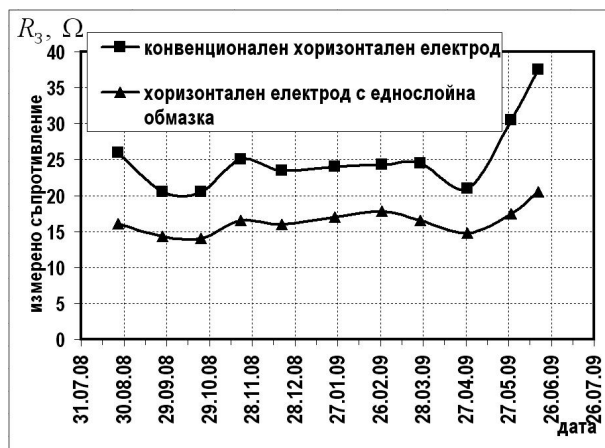
Използваните съкращения в табл. 2.1 и табл. 2.2 са както следва: С – сух сезон; В – влажен сезон; RH – влажност на въздуха; t – температура на въздуха; R_B – съпротивление на конвенционален вертикален заземител; R_{B1} – съпротивление на вертикален заземител с еднослойна обмазка; R_{B2} – съпротивление на вертикален заземител с двуслойна обмазка; R_X – съпротивление на хоризонтален конвенционален лентов заземител; R_{X1} – съпротивление на хоризонтален заземител с еднослойна проводима обмазка; $R_{B1\%}$, $R_{B2\%}$ и $R_{X1\%}$ – редуция в проценти на съответния вид заземител с проводима бетонна обмазка;



Фиг. 2.1. Изменение на съпротивлението на заземяване за изследваните вертикални заземители.

Въз основа на резултатите от измерванията са построени графичните зависимости относно изменението на съпротивлението на заземяване за различните електроди във времето (фиг. 2.1 и фиг. 2.2).

Процентната редуция на съпротивлението на заземяване във времето спрямо конвенционални хоризонтални и вертикални електроди е показана на фиг. 2.3.



Фиг. 2.2. Изменение на съпротивлението на заземяване за изследваните хоризонтални заземители.



Фиг. 2.3. Редуция в проценти на съпротивлението на заземяване за различните видове заземители с проводима бетонна обмазка спрямо конвенционалните.

3. Интерпретиране на получените резултати и изводи по отношение на практиката.

3.1. При вертикалните заземители:

- За еднослойно-обмазани електроди средната стойност на редуцията на съпротивлението е приблизително 32,2 %. Минималната регистрирана стойност е 20,5 % а максималната 38,6%;
- За двуслойно-обмазани електроди средната стойност на редуцията на съпротивлението е 44,7 %. Минималната регистрирана стойност е 34,8 %, а максималната 52,3 %;
- От фиг. 2.1. се вижда, че минимална редуция на съпротивление има през сухите летни периоди, като по силно изразена е при еднослойно-обмазаните заземители, поради по-високото специфично съпротивление на използваната обмазка.
- Зависимостите от фиг. 2.1 имат ясно различни минимума и максимума, като положително е, че при обмазаните електроди кривата е доста по-полегата, отколкото тази на конвенционалния електрод. Причина за това е хигроскопичната природа на бетона, и задържаната от него влага за по-дълъг период от време;
- Изсъхването на горния почвен слой се отразява негативно не само на конвенционалните заземители, но и на тези в проводящ бетон, но при тях

повишаването на съпротивлението в голяма степен се ограничава от проводимостта на графитната обmazка. В голяма степен проблема може да бъде овладян, ако вертикалните електроди се поставят под нивото на земята на дълбочина минимум 50 - 60 cm;

- Сравнително ниско колебание на съпротивлението на заземяване през годината.

3.2. При хоризонталните заземители:

- За еднослойно-обмазани електроди средната стойност на редуцията на съпротивлението е приблизително 33.8 %. Минималната регистрирана стойност е 29,5 %, а максималната 45,3 %;
- От фиг. 2.2 и 2.3 се вижда, че през сухите летни периоди степента на редуция на съпротивлението достига своя максимум от 45,3 %. Това е изключително благоприятно относно подобряване експлоатационните параметри на заземителя;
- Ниско колебание стойността на съпротивлението на заземяване през различните сезони, в следствие контактуването на проводящия бетон с по-долните слоеве почва, където влажността е по-голяма.

3.3. Изводи по отношение на практиката и предписания:

- От проведените изследвания може да се заключи, че използването на проводими бетонни обmazки за намаляване съпротивлението на заземителите и защита на електродите от корозия в условията на откритите рудници и други индустрии е целесъобразно и препоръчително;
- Редуцията в проценти на съпротивлението на заземяване варира от 30 – 52 % в зависимост от сезона, проводимостта на използваната обmazка, вида на заземителя и начина му на монтаж;
- При хоризонталните заземители редуцията нараства при засушаване, което води до малка зависимост на съпротивлението на заземяване от влиянието на сезоните;
- Препоръчва се вертикалните заземители с проводима бетонна обmazка да бъдат поставяни минимум на 50 - 60 cm под нивото на почвата, което би довело до увеличаване редуцията на съпротивлението на заземяване при засушаване и малки колебания на съпротивлението цялостно;
- Ако съдържание на графит в проводимите обmazки се избере $\frac{1}{2}$ от целия обем, редуцията на съпротивлението достига до 50 %;

Приложения



П. 1. Етап от полагането на хоризонтален лентов заземител с еднослойна проводима бетонна обmazка.



П. 2. Външен вид на вертикален заземител с еднослойна проводима бетонна обmazка.



П. 3. Приспособления за отливане на първия слой проводим бетон при вертикален заземител с двуслойна обmazка.



П. 3. Външен вид на вертикален заземител с двуслойна бетонна проводима обмазка.

Литература

Данев, И. Д. 1974. Изследване на блуждаещи токове, оценка на електрокорозионното им действие и средства за защита срещу тази опасност в условията на ДМП „Марица - Изток“- Автореферат на

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

дисертация за присъждане на научна степен "Кандидат на техническите науки", София.

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Изследване на вертикален заземител с проводима обмазка - *Известия на ТУ-Габрово*, Том 34, Габрово, ISSN 1310-6686;

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Подобряване съпротивлението на заземители чрез използване на проводима обмазка - *Списание „Безопасност на труда и трудова медицина“*, ЕСКАРГО - София, брой 4.

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 23-24 ноември 2007. Изследване на проводими обмазки, допринасящи за намаляване съпротивлението на заземители – *Международна научна конференция UNITECH'07*, Габрово, ISSN 1313-230X;

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 23-24 ноември 2007. Увеличаване на експлоатационния период на заземители в зони с интензивно влияние на блуждаещи токове – *Международна научна конференция UNITECH'07*, Габрово, ISSN 1313-230X

Chen, Li-Hsiung, J. Chen, T. Liang, W. Wang. July 2004. A study of Grounding Resistance Reduction Agent Using Granulated Blast Furnace Slag – *IEEE Transactions on Power Delivery*, VOL. 19, No. 3.

D'Alessandro, F., W. Judson, M. Havelka. November 2004. Long-term study of ground enhancing material – *International Conference on Grounding and Earthing*. Belo-Horizonte, Brazil.

Sancosha Corporation. 2000. Practical measures for lowering resistance to ground – *SAN-EARTH® - Technical review*.