

## МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ НА КАТОДНА СТАНЦИЯ ЗА ЗАЩИТА НА ПОДЗЕМНИ СЪОРЪЖЕНИЯ ОТ ПОЧВЕНА И ЕЛЕКТРИЧЕСКА КОРОЗИЯ

И.Милев

С.Стефанов

МГУ "Св.Иван Рилски"  
София 1700, БългарияМГУ "Св.Иван Рилски"  
София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

Предлага се методика за изчисляване на катодна станция за защита на подземни съоръжения от почвена и електрическа корозия като: дължина на защитавания участък, конструкции и оразмеряване на анодни заземители, разстояние между тези заземители и защитавания обект и др. Изяснява се явлението екраниране между анодните заземители и опасността при използването на катодна защита за съседни на защитавания обект съоръжения.

За изчисляване параметрите на катодна станция за защита от корозия на подземни съоръжения (напрежение, ток и мощност) се използват следните зависимости, публикувани в С.Стефанов, И.Милев (2003):

а) За линия (тръбопровод) с безкрайна дължина

$$\text{Потенциалът } U_A = U_{\min} \cdot e^{\gamma l_1}, \quad (1)$$

където  $U_{\min}$  е минималният защитен потенциал в най-отдалечената точка на тръбопровода, на разстояние  $l_1$  от дренажната точка;

$\gamma = \sqrt{gr}$  - коренът на характеристичното уравнение

на диференциалното равенство  $\frac{d^2U}{dx^2} - rgU = 0$ ,

където  $r$  е съпротивлението на тръбата на единица дължина,  $\Omega / m$ ;

$g$  - проводимостта на изолацията на единица дължина на тръбопровода,  $S / m$ .

$$\text{Токът } I_A = Ie^{\gamma l_1}, \quad (2)$$

Където  $I_A$  е токът, който протича по тръбопровода към дренажната точка, от едната ѝ страна.

Общото съпротивление на участъка от линията от едната страна на дренажната точка

$$R_O = \sqrt{\frac{r}{g}}. \quad (3)$$

б) За линия (тръбопровод) с крайна дължина

$$U_A = U_{\min} \operatorname{ch}(\gamma l_2), \quad (4)$$

$$\text{а) } R_O = \frac{U_A}{I_A} = \frac{R}{\gamma} \cdot \frac{1}{\operatorname{th}(\gamma l_2)}, \quad (5)$$

където  $l_2$  е крайна дължина от линията.

Когато мощността на катодната станция предварително е предопределена, е необходимо да се определи, какъв е обсегът на действие на катодната защита. В този случай изразите (1) и (4) се видоизменят и получават вида:

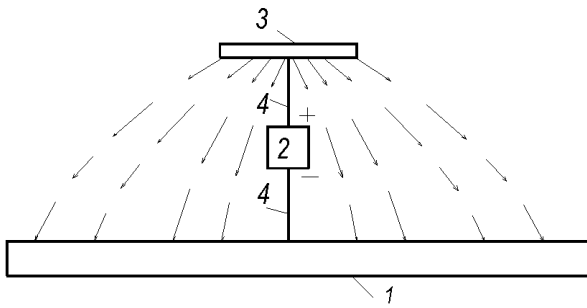
а) За линия с безкрайна дължина

$$l_1 = \frac{\ln U_A / U_{\min}}{\gamma}. \quad (6)$$

б) За линия с крайна дължина

$$l_2 = \frac{\operatorname{arcch} U_A / U_{\min}}{\gamma}. \quad (7)$$

Най-прост е случаят, когато за защитата на подземни съоръжения (тръбопроводи, газопроводи, кабели и т.н.) се използва само една катодна станция (фиг. 1), където: 1 е тръбопровод; 2 – източник на постоянно напрежение; 3 – анодно заземление; 4 – съединителни проводници. Със стрелки на фиг. 1 е показан пътя на тока във веригата на защитата.

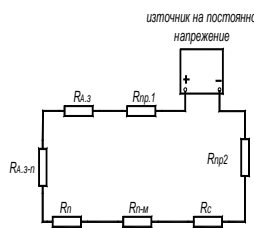


фигура 1

На фиг. 2 е дадена електрическата схема на катодната защита. Общото съпротивление  $R_O$  във веригата на защитата е сума от последователно съединените съпротивления  $R_i (i = 1 \div 7)$ , т.е.

$$R_O = R_{PP.1} + R_{A.3} + R_{A.3-П} + R_{П} + R_{П-М} + R_C + R_{PP.2} \quad (8)$$

където:  $R_{PP.1}$  е съпротивлението на проводника, съединяващ източника на постоянно напрежение с анодния заземител;  $R_{A.3}$  - съпротивлението на самия (на тялото) аноден заземител;  $R_{A.3-П}$  - преходното разпределено съпротивление аноден заземител-почва;  $R_{П}$  - съпротивление на почвата между анодния заземител и защитаваното съоръжение;  $R_C$  - съпротивлението на защитаваното съоръжение до дренажната точка, в която се втича целия защитен ток при връщането му към хранящия източник;  $R_{PP.2}$  - съпротивлението на проводника, съединяващ дренажната точка с отрицателния полюс на хранящия източник.



фигура 2

Съпротивленията  $R_{A.3}$  и  $R_{П}$  са много малки и обикновено се пренебрегват, а съпротивленията  $R_{PP.1}$  и  $R_{PP.2}$  на двата проводника се разглеждат съвместно.

В такъв случай общото съпротивление на веригата е

$$R_O = R_{PP} + R_{A.3-П} + R_C \quad (9)$$

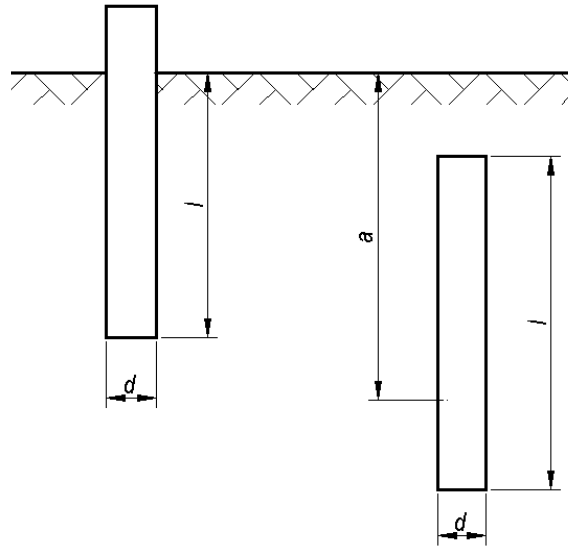
По литературни данни [Проферансов и др., 1968; Цикерман и др., 1965; Тихомиров, 1964; Ершов, 1962] в разглежданата верига (фиг. 2), най-голяма стойност има съпротивлението  $R_{A.3-П}$  и падът на напрежение в него е най-голям. Това съпротивление в случай на отделен вертикален аноден заземител тръбовиден тип при условие, че  $l \gg d$  (фиг. 3) се определя за (Цикерман и др., 1965):

$$R_{A.3-П} = \frac{0,366\rho}{l} \left( \lg \frac{l}{d} + 0,602 \right), \quad (10)$$

където  $l$  е дължина на тръбата, положена в почвата, см;

$d$  - диаметърът на тръбата, см;

$\rho$  - специфичното съпротивление на почвата,  $\Omega \cdot cm$ .



фигура 3

Ако вертикалният заземител е разположен под нивото на земята (фиг. 3), при условие, че  $l \gg d$  и  $\frac{4a}{l} > 2$ , то

$$R_{A.3-П} = \frac{0,336\rho}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4a+l}{4a-l} \right), \quad (11)$$

където  $a$  е разстоянието от повърхността на земята до средната точка на анодния заземител, см.

При хоризонтално положен аноден заземител (хоризонтално съединителната връзка между заземителите), преходното разпределено съпротивление аноден заземител-почва, при  $l > \frac{b}{2}$  и  $\frac{l}{2a} > 2,5$  се определя с израза:

$$R_{A.3-II} = \frac{0,336\rho}{l} \left( \lg \frac{l^2}{ba} + 0,301 \right), \quad (12)$$

където  $a$  е дълбочината на поставяне на заземителя от повърхността на земята до центъра на тръбата,  $cm$ , а  $b$  - диаметърът на тръбата или ширината на съединителната шина,  $cm$ .

В случая, когато анодния заземител е изготвен от профилна стомана, преходното му съпротивление  $R_{A.3-II}$  се определя по (10) или (11), като се замести  $d$  с еквивалентен диаметър, определен с израза:

$$d_e \approx 0,95b, \quad (13)$$

където  $b$  е широчината на ъгловия профил.

Ъглови профили за анодни заземители се използват много рядко.

Преходното съпротивление на шина с квадратен профил се определя приблизително с израза:

$$R_{III} \approx 0,25 \frac{\rho}{c}, \Omega, \quad (14)$$

където  $c$  е дължината на страната на квадрата,  $cm$ .

При правоъгълен профил на шина с голяма страна на правоъгълника  $c$  и малка страна  $b$ , съпротивлението е:

$$R_{III} \approx 0,25 \frac{\rho}{\sqrt{b.c}}, \Omega. \quad (15)$$

При използване на група анодни заземители, поради невъзможността практически да бъдат разположени на големи разстояния един от друг, между тях възниква явлението екраниране от наслагването на електрическите полета на отделните заземители. На екранирането оказва влияние и отношението на разстоянието между заземителите и тяхната дължина.

В този случай общото съпротивление на групата анодни заземители поставени в редица се определя с израза:

$$R'_{A.3-II} = \frac{R_{A.3-II}}{n\eta}, \quad (16)$$

където  $R_{A.3-II}$  е съпротивлението на един вертикален заземител,  $\Omega$ ;

$n$  - общият брой на вертикалните заземители, поставени в редица;

$\eta$  - коефициентът на екраниране.

Коефициентът на екраниране се изменя в границите от 0,47 до 0,95 в зависимост от отношението на разстоянието между заземителите и тяхната дължина. При отношения на разстоянието между заземителите и дължините им от 1

до 3 и брой на заземителите от 2 до 10,  $\eta$  се изменя в границите от 0,56 до 0,95.

Екраниращото действие се увеличава и от хоризонталните връзки, свързващи горните краища на вертикалните заземители. Това увеличение се отчита като се използва израза

$$R'_{XOP.BP} = \frac{R_{XOP.BP}}{\eta_1}, \quad (17)$$

където  $R'_{XOP.BP}$  е съпротивлението на хоризонталната връзка с отчитане на екранирането ѝ върху вертикалните анодни заземители,  $\Omega$ ;

$R_{XOP.BP}$  - съпротивлението на хоризонталните връзки без отчитане на екранирането, определено по (12);

$\eta_1$  - коефициентът на екраниране на хоризонталните връзки.

При отношение на разстоянието между анодните заземители в редица към дължината им от 1 до 3 и брой на тръбните заземители от 1 до 10, коефициентът  $\eta_1$  се изменя от 0,62 до 0,92.

Общото съпротивление  $R_O$  на комбинираните заземители, състоящи се от вертикални заземители в редица и хоризонталните връзки между тях се определя с израза:

$$R_O = \frac{1}{\frac{1}{R'_{A.3-II}} + \frac{1}{R'_{XOP.BP}}}, \quad (18)$$

където  $R'_{A.3-II}$  е общото съпротивление на вертикалните заземители в редица с отчитане на взаимното им екраниране,  $\Omega$ ;

$R'_{XOP.BP}$  - общото съпротивление на хоризонталните връзки с отчитане на екранирането,  $\Omega$ .

При подсолвяване на почвата под заземителните електроди, преходното им съпротивление намалява или

$$R_{ПОДС.} = \frac{R_O}{\beta}, \quad (19)$$

където  $R_{ПОДС.}$  е преходното съпротивление на заземлението след подсолвяване,  $\Omega$ ;

$R_O$  - преходното съпротивление на заземителя до подсолвяването,  $\Omega$ ;

$\beta$  - коефициентът на подсолвяване.

В зависимост от почвите (глина, пясък и т.н.), коефициентът  $\beta$  при отчитане влиянието на сезоните се изменя от 1,5 до 2,5.

Замръзването на почвата играе роля, противоположна на подсолването, т.е. увеличава преходното съпротивление на заземлението. Замръзването е необходимо да се отчита за хоризонталните заземители, поставени на дълбочина по-малка от 2 m и за вертикалните заземители, дължината на които е по-малка от 4 m.

Повишеното съпротивление  $R'_3$  вследствие замръзването се определя с израза

$$R'_3 = \varphi R_3, \quad (20)$$

където  $R_3$  е преходното съпротивление на заземителя без отчитане на замръзването,  $\Omega$  ;

$\varphi$  - коефициентът на замръзване, който може да се приеме равен на 1,5÷3 при дължина на вертикалните заземители 2,5 - 3 m и разположение на най-горната им част на разстояние от повърхността на земята 0,5 – 0,7 m.

За хоризонталните връзки между заземители при поставянето им на дълбочина от повърхността на земята 0,5 – 0,7 m, коефициентът  $\varphi$  се изменя от 2 ÷ 4.

При проектирането на катодна защита се спазва следната последователност:

1. Определя се потенциалът  $U_A$  в дренажната точка по (1) или (4), съответно при защитаван обект с безкрайна и крайна дължина.

2. Определя се ефективното съпротивление  $R_O$  на участъка от линията от едната страна на дренажната точка по (3) или (5), съответно при защитаван обект с безкрайна и крайна дължина.

3. Общото съпротивление на тръбата е

$$R = \frac{R_O}{2}, \Omega .$$

4. Токът във веригата на катодната защита се

определя и израза:  $I = \frac{U_A}{R}, A.$

5. Преходното съпротивление  $R_{A.3-П}$  на отделен вертикален заземител тръбен тип се определя по (11), при  $n$  на брой анодни заземители с отчитане на екранирането между тях  $R'_{A.3-П}$  - по (16).

6. Съпротивлението на хоризонталните

съединителни връзки между заземителите  $R_{A.3-П(хор.вр.)}$  се определя по израз (12), а с отчитане на коефициентите на екраниране  $\eta$  и на замръзване  $\varphi$  по израза:

$$R_{A.3-П(хор.вр.)} = \frac{R_{A.3-П(хор.вр.)} \cdot \varphi}{\eta}, \Omega .$$

7. Общото съпротивление на цялата система анодни заземители  $R_O$  се определя по израз (18).

8. Падът на напрежение в анодния заземител се определя с израза  $U_{A.3} = I \cdot R_O, V$

9. Падът на напрежение в съединителните проводници  $U_{ПП} = I \cdot R_{ПП}, V,$

където  $R_{ПП} = \rho \frac{l}{S}$  е съпротивлението на съединителните проводници, а  $I$  е токът във веригата на катодната защита.

10. Общият пад на напрежение  $U$  за цялата систем на защитата е  $U = U_A + U_{A.3-П} + U_{ПП}, V.$

11. За осигуряване на определен запас от мощност захранващият източник на постоянно напрежение трябва да бъде за напрежение на катодната станция  $U_{K.C} \geq U_A$  и за ток на катодната станция  $I_{K.C} \geq I_A.$

12. Мощността на захранващия източник се определя с израза  $P = U_{K.C} \cdot I_{K.C}, W.$

Към доклада могат да бъдат направени следните изводи:

1. Предлага се методика за оразмеряване на елементите на катодна станция за защита на подземни съоръжения от почвена и електрическа корозия.
2. Анализирани са различни конструкции на анодни заземители с отчитане на ефекта екраниране между тях.

#### Л и т е р а т у р а

- Ершов И.М., 1962. Защита кабелей СЦБ и связи от коррозии.- *ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ, М.*
- Проферансов В.Л., П.Н. Лебедев. 1968. Защита подземных сооружений от коррозии. – *Изд-во литературы по строительству, М.*
- Стефанов С., И.Милев, 2003. Разпределение на тока по дължината на защитавано подземно съоръжение от почвена и електрическа корозия при използване на катодна защита. *Международна юбилейна научна сесия МГУ"Св.Ив.Рилски"*.
- Тихомиров Е.Н., 1964. Монтаж, наладка и эксплуатация устройств электрозащиты магистральных трубопроводов. – *Изд-во "Недра", Л.*
- Цикерман Л.Я., Кесельман Г.С. 1965. Глубинные анодные заземлители. – *Изд-во "Недра", Л.*

Препоръчана за публикуване от

катедра "Електрификация на мините", МЕМФ

