

СРОК ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ВЕРТИКАЛНИТЕ АНОДНИ ЗАЗЕМИТЕЛИ

Стефан Стефанов¹, Теодора Христова²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail teodora@mgu.bg

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Определен е срокът на служба на анодите в зависимост от анодния ток. Разгледан е случай при наличие на многопластова почва, като всеки слой е с различно специфично съпротивление. Създадена е методика и са изведени изрази за определяне на срока на служба в многопластова почва. Направено е сравнение и е определена грешката при изчисляване на срока на експлоатация за еднопластова почва и залагане на анода в многопластова почва

THE PERIOD OF SERVICE OF VERTICAL ANODE GROUNDERS

Stefan Stefanov¹, Teodora Hristova²

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail teodora@mgu.bg

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The report describes determining of the period of service of anodes in dependence on anode current. A case with presence of multilayer soil, each with different specific resistance, is considered. As a first step a test procedure is created, and then expressions for specifying of period of service in multilayer soil is worked out. On the base of comparative analysis the error generated during the computing of period of service for one layer soil as well as during the setting of anode in multilayer soil is determined.

Въведение

Важен етап при проектирането на системата на катодна защита е изчисляването на срока на служба T на анодните заземители съгласно с неговата нормативна стойност T_n (например $T_n=10$ или 20 години). От друга страна, T е обратно-пропорционално на силата на тока I на заземителя и задавайки стойност на T_n , може да се изчисли силата на тока I , да се съпостави с неговата допустима стойност $I_{\text{до}}$ и с общата сила на защитния ток $I_{\text{об.з}}$ на заземителя. При това трябва да се изпълни условието $I \leq I_{\text{до}}$ и $I_n \geq I_{\text{об.з}}$, където n е броя на идентичните аноди в заземяването (най-често тръби или цилиндрични прътове с дължина l и външен диаметър D).

Определяне на срока на експлоатация

В редица източници са дадени изрази за определяне на времето T , които са валидни за аноди, поставени в еднослойна и еднородна почва. Така например в [Волков]

$$T = \frac{0.75Q}{I_e q}, \text{ където}$$

Q е масата на електрода, кг;

I_e - токът на електрода, А;

Q – скоростта на разрушаване на материала на електрода, кг/А год;

$$\text{В [Стрижевский]} T = \frac{G_3}{k_n I_{3.a} q_e}, \text{ където}$$

G_3 е масата на метала на заземителя, кг;

k_n – коефициентът на неравномерност на разтваряне на заземителя, равен на 1,3;

q_e – електрохимичният еквивалент на материала на заземителя, кг/А год;

$I_{3.a}$ – силата на тока, стичащ се по заземителя, А;

$$\text{В [Зобов]} T = \frac{g}{I_a q}, \text{ където}$$

g е масата на анода, кг;

I_a - токът, протичащ през анода, А;

q - електрохимичният еквивалент на материала на анода, кг/А год;

Предвид връзката между тока и срока на служба на анода целесъобразно е за изчисляване на T да се използва зависимостта $Q_{\text{до}} = I T$, т.е. това време да не се изчислява поотделно, а от посоченото произведение.

Тук Q_d е допустимото количество електричество, което при ток $I = const$, протичащ през анода за време T , определя допустимото намаляване на масата или на диаметъра му.

Най-често изчисляването на Q_d в еднородна почва се извършва с използване на израза [Зобов]:

$$Q_d = IT = \frac{\varepsilon M}{B_e}, \text{ където } M \text{ е масата на анода} \quad (1)$$

B_e - е количество електричество от реакцията на анодното разтваряне на материала на анода.

При изразяване на I_B ампери, M в кг и T в години; то B_e има размерност kg/A год. Величината ε представлява „коэффициент на запас“ – допустимата част от масата на анода, която може да бъде изразходена за времето T . Обикновено $\varepsilon=0.7-0.75$ [Инстр 1980

За целта е удобно разглеждане на величината εM , определена като разлика от изходния D_0 и допустимият краен D_k външен диаметър на заземителя. Изразявайки D_0 , D_k и l в метри, а прътността на материала на анода γ в kg/m^3 , израз (1) придобива вида:

$$Q_d = IT = 0.785 \frac{\gamma l (D_0^2 - D_k^2)}{B_e} \quad (2)$$

Величината на l в уравнения (1) и (2) трябва да удовлетворява съотношението $l \leq j_d \pi D_0 l$, където j_d е допустимата анодна плътност на тока за дадения материал на заземителя.

Стойността на Q_d се изчислява по уравнения (1), (2) и в този случай, когато почвата е нееднородна (т.е по приетия модел за представяне [5], който се състои от $n \geq 2$ хоризонтални слоеве, в границите на които специфичното съпротивление ρ е постоянно), но целият заземител е разположен в един от слоевете и не пресича границата между тях.

Изчисляването на Q_d се усложнява, ако вертикалният анод е разположен в два или повече слоя на нееднородната почва. В този случай при обикновените премятия на T [4] се изхожда от определяне на тока I_m , стичащ се по тази част l_m на анода, която се намира в слоя от почвата с най-малко специфично съпротивление $\rho_m = \rho_{\min}$. В този участък плътността на анодния ток $j = j_m$ и съответно разхода на материал от анода се счита за най-голям, а изчисленията се провеждат по израза:

$$\frac{I_m}{I} = \frac{l_m}{l} \frac{\rho}{\rho_m}, \text{ откъдето}$$

$$I_m = I \frac{l_m}{l} \frac{\rho}{\rho_m}, \quad (3)$$

където ρ е условното средно специфично съпротивление на почвата (което се използва при изчисляване на съпротивлението R на разтичане на тока на заземителя):

$$\rho = \frac{l}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\rho_i}} \quad (4)$$

Стойността на Q_d се определя по уравнения, аналогични на (1) и (2), където вместо I се замества I_m :

$$Q_d = I_m T = \frac{\varepsilon M l_m}{B_e l} \quad (5)$$

При това за I_m трябва да бъде изпълнено съотношението $I_m \leq j_d \pi D l_m$

В общия случай може да се запише:

$$Q_d = I T = \frac{\varepsilon M \alpha_l}{B_e \alpha_i} \quad (6)$$

$$\text{или } Q_d = I T = 0.785 \frac{\varepsilon \gamma \alpha_l l (D_0^2 - D_k^2)}{B_e \alpha_i}, \quad (7)$$

където α_l и α_i са частта от дължината на анода в най елеткропроводимия слой на почвата и частта на тока, отнасяща се към тази част на анода.

Трябва да се подчертае, че токът I в израза за $Q_d = I T$ се отнася за целия анод, а стойността на T – към най-бързо разтварящата се част на анода, която определя срока на неговата служба. В този случай на еднородна почва или при разполагане на анода в един от слоевете на n -слойната почва $l_m = l$ и уравнения (6) и (7) добиват вида на уравнения (1) и (2).

Съгласно (4) [Коструба] неявно се допуска, че

1) токът от всяка i -та част на анода се разпространява по пътя към защитаваното съоръжение само в съответния i -ти слой на почвата (т.е., че слоевете са разделени с изолиращи подложки)

2) всички слоеве имат крайни дебелини h_i , които са равни на дължините l_i , съответстващи на участъците от вертикалният анод. В действителност токът от всеки i -ти участък на анода се разтича по всички слоеве, а дебелината на най-долния слой от почвата h_n може много

да превишава дължината l_n на влизащата в него част от анода (в частния случай $h_n \rightarrow \infty$).

Тази забележка се отнася и към произтичащите от (3) уравнения (6) и (7) за Q_0 .

За частния случай на двуслойна почва ($n=2$, $h_n = h_2 \rightarrow \infty$) при обикновените изчисления на съпротивлението на разтичане на тока R грешката от посочените допускания в зависимост от конкретните условия може да е както незначителна, така и съществена [Фрейман]. В [Б] Бургсдорф в класическата теория създадена от него за удовлетворително изчисляване на R приема, че разпределението на тока между частите на заземяването l_1 и l_2 съответно в горния и долния слоеве на почвата, е обратно-пропорционално на специфичното съпротивление на слоевете, т.е. $j_1 \approx \frac{1}{\rho_1}$ и $j_2 \approx \frac{1}{\rho_2}$.

Тъй като

$$I_1 \approx j_1 l_1 \approx \frac{l_1}{\rho_1} \quad (8a)$$

$$a \quad I_2 \approx j_2 l_2 \approx \frac{l_2}{\rho_2} \quad (8b)$$

$$\text{при което } I_1 + I_2 = I \quad (9)$$

$$\text{то } \frac{I_2}{I_1} = \frac{l_2 \rho_1}{l_1 \rho_2} = \lambda \quad (10)$$

От (3) следва, че $I_2 = I \frac{l_2 \rho_1}{l_1 \rho_2}$, от (9) - $I_2 = I - I_1$, а

$$\text{от (10) } -I_1 = I_2 \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}.$$

Тогава $I_2 = I - I_1 = I - I_2 \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}$, откъдето

$$I_2 = \frac{I}{\left(1 + \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}\right)} = I \left(1 + \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}\right)^{-1} = I \frac{l_2 \rho_1}{l_2 \rho_1 + l_1 \rho_2}, \text{ при } \rho_2 < \rho_1, \quad (11)$$

$$a \quad I_1 = I \left(1 + \frac{l_2 \rho_1}{l_1 \rho_2}\right)^{-1} = I \frac{l_1 \rho_2}{l_1 \rho_2 + l_2 \rho_1} \text{ при } \rho_1 < \rho_2 \quad (12)$$

Уравнения (11) и (12) са същността на случаите на уравнение (3) за двуслойна почва. Предполагамото разпределение на токовете съгласно уравненията (8a) и (8b) лежи в основата и на уравнение (3). При това токовете I_1 и I_2 , а също и I_n при $n \geq 3$ се разглеждат като квазиневазисими: тяхното отношение λ се взема такова, като че ли частите на заземителя l_1 и l_2 се намират в почвата безкрайно далече една от друга. Такова разпределение на токовете условно се нарича идеално. В действителност частите на заземителя следва да се разглеждат като съединени и близко разположени в почвата резистори R_1 и R_2 , които за сметка на ефекта на взаимното влияние („екраниране“) Олендорф, Бэкман] повишават съпротивлението на разтичане на тока. В резултат на това фактическите токове I'_1 и I'_2 свързани с дължините l_1 и l_2 се отличават от предполагаемите I_1 и I_2 , а съотношението $I'_2/I'_1 = \lambda'$ от съотношението (10). Разпределението на токовете, отчитащо ефекта на взаимното влияние, се нарича реално. Освен това, при обикновените изчисления на T се приема, че разпределението на токовете по анода във времето е неизменно. Обаче, поради голямата анодна плътност на тока в участъка l_m (например l_2 при $\rho_2 < \rho_1$) неговият диаметър във времето намалява по-бързо, а отношението I'_2/I'_1 във времето трябва да намалява (временен преразпределение на тока). Макар да съществува слаба (обикновено логаритмична) зависимост на R на заземителя от неговия диаметър D и общо взето малко различаващи се D_0 и D_k , този ефект не може да е много голям, то неговата количествена оценка е полезна.

Реално разпределение на тока

Ако при отсъствие на ефекта на взаимно влияние съпротивленията на разтичане на токовете по частите l_1 и l_2 са равни на R_1 и R_2 , то при неговото наличие те имат стойности $R'_1 = R_1 F_1$ и $R'_2 = R_2 F_2$. Тук F_1 и F_2 са коефициентите на влияние съответно на долната част на анода върху горната и на горната върху долната. Съпротивлението на разтичане на тока по целия заземител е

$$R = \frac{R_1 F_1 R_2 F_2}{R_1 F_1 + R_2 F_2} \quad (13)$$

Стойностите на R и на R_1 , R_2 се изчисляват по уравненията на Бургсдорф [Б] за различните варианти на разположение на заземителя по отношение на границата, разделяща пластове на двуслойна почва.

Коефициентите F_1 и F_2 в общ вид за сега са неизвестни, но за конкретни ситуации те могат да бъдат изчислени. Уравнението за коефициента на взаимното влияние в общия случай има вида

$$F = 1 + \varphi(x_1, \dots, x_n),$$

където φ е функция на параметрите на системата (x_1, \dots, x_n) . В разглеждания случай

$$F_1 = 1 + \varphi_1(\rho_1, \rho_2, l_2, h, t)$$

$F_2 = 1 + \varphi_2(\rho_1, \rho_2, l_1, h, t)$, където t е дълбочината на анода в горния слой на почвата,

a и h – разстоянието от повърхността на почвата до границата, която разделя слоевете.

Отчитайки, че стойността на φ е пропорционална на дължината на влияещия заземител, при постоянни ρ_1 , ρ_2 , l_1 , l_2 , h и t може да се запише:

$$\varphi_1 = fl_2 \text{ и } \varphi_2 = fl_1, \text{ където } f = t(\rho_1, \rho_2, h, t).$$

Замествайки в (13) съответните стойности на F_1 и F_2 , се получава

$$R = \frac{R_1(1 + fl_2)R_2(1 + fl_1)}{R_1(1 + fl_2) + R_2(1 + fl_1)}. \quad (14)$$

Заместването в (14) на R_1 , R_2 и R позволява намирането на f при задаване на останалите променливи. След това се изчислява отношението на токовете при реално разпределение

$$\lambda' = \frac{I'_2}{I'_1} = \frac{R'_1}{R'_2} = \frac{R_1(1 + fl_2)}{R_2(1 + fl_1)}, \quad (15)$$

а също и самите токове

$$I'_1 = I(1 + \lambda')^{-1} \quad (16)$$

$$I'_2 = I\lambda'(1 + \lambda')^{-1} \quad (17)$$

При $\rho_2 < \rho_1$ и $\rho_2 > \rho_1$ се получава съответно

$I_m = I'_2$ и $I_m = I'_1$, така че за Q'_o с отчитане на (6) израза е:

$$Q'_o = \frac{\varepsilon M}{B_{\text{изх.е}}} \alpha_l \frac{(1 + \lambda')}{\lambda},$$

където $\alpha_l = \frac{l_2}{l}$, при $\rho_2 < \rho_1$ (18)

$$Q''_o = \frac{\varepsilon M}{B_{\text{изх.е}}} \alpha_l (1 + \lambda').$$

$$\text{където } \alpha_l = \frac{l_1}{l}, \text{ при } \rho_2 > \rho_1 \quad (19)$$

Съпоставяйки Q''_o , изчислено по изрази (18) и (19) и Q'_o - по (5) и (7), може да се оцени грешката на обикновения метод за изчисление, основан на идеалното разпределение на токовете.

Животът на анода зависи и от начина на свързване на кабела към него. Параметрите T , T_d и Q_o зависят от това, как се подвежда токът към анода – към единия край, към двата края или между тях. Подобен проблем в статията не се разглежда. Той ще бъде предмет на отделно изследване.

Заклучение.

1. За вертикалните анодни заземители в двуслойна почва, пресичащи границата, която разделя слоевете, обикновеният метод за изчисляване срока на служба, допустимата сила на тока и допустимото количество електричество, не отчитат реалното разпределение на тока в слоевете и явленияето взаимно влияние на токовете между отделните части на анода, намиращи се в горния и долния край на почвата.

2. В статията е направен анализ на посочените в т.1. недостатъци, изведени са изрази за изчисляване на T , T_d и Q_o в двуслойна почва, с използването на които посочените недостатъци до известна степен се избягват.

Литература

- Волков Б. Г., Н. И. Тесов, В. В. Шуванов „Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии“ Л. Недра, Ленинград отд-ние, 1975
- Стрижевский И. В., А. М. Зиневич, К. К. Никольский и други „Защита металлических сооружений от подземной коррозии“ Справочник, Москва, Недра, 1981
- Зобов Е. В., В. В. Красноярский „Электрохимическая защита сооружений и оборудования от коррозии“, Кишинев, Картя Молдовенскэ, 1981
- Инструкция по проектированию расчету электрохимических объектов Миннефтегазстрой ВСН-2-106-78, М. ВНИИСТ, 1980
- Коструба С. И. „Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств“, Москва, Энергоатомиздат, 1983
- Фрейман Л. И, Защита металлов, 1996, т.32, №2
- Олендорф Ф., „Токи в земле: Теория заземлений“, Перснем. Год. Науч-техн. издателство, 1932
- Бэкман В., В. Швенк „Катодная защита от коррозии“, Справочник/ пер с нем М. Металлургия, 1984
- Бургсдорф В. В. „Электричество“ 1954, №1