

Алгоритм оценки состояния изоляции на подводном переходе магистрального трубопровода



В.В. Притула
Председатель Координационного Совета по проблемам защиты от коррозии, академик РАЕН, д.т.н., профессор, советник президента ОАО ВНИИСТ



С.А. Артемьева
Главный специалист ООО «Трансэнергострой», Москва



И.В. Вьюницкий
Кандидат химических наук, заместитель генерального директора по НИР ООО «Трансэнергострой», Москва

Данная методика позволила детально проанализировать характер старения нескольких десятков подводных переходов трубопроводов разного срока строительства с различными типами изоляционных покрытий. Данная методика позволяет оценить величины констант скорости старения изоляции в экстремальных условиях постоянного обводнения.

► Ключевые слова / Key words:

- коррозия, трубопровод, подводный переход, диагностика, техническое состояние, коррозионный дефект, изоляционное покрытие, установка катодной защиты, старение изоляции, скорость старения, обводнение, анализ;
- corrosion, pipeline, main pipeline underwater transition, diagnostics, availability index of product, corrosion defects, insulating cover, cathodic protection unit, insulation depreciation, aging rate, water supply, evaluation

ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

$\Delta\varphi_0$	наложенный потенциал в точке дренажа от станции катодной защиты (СКЗ), ближайшей к ППМТ (к запорной арматуре);
$\Delta\varphi_L$	наложенный потенциал в конце зоны защиты на участке, расположенном за ППМТ (относительно СКЗ);
L	общая длина плеча зоны защиты СКЗ через ППМТ, км;
L*	общая длина зоны защиты СКЗ (обоих плеч), км;
l_1	длина участка магистрального трубопровода (МТ) от точки дренажа СКЗ до берега ППМТ, км;
l_2	длина участка МТ на зеркале воды ППМТ, км;
l_3	длина участка МТ за ППМТ до конца плеча зоны защиты СКЗ, км;
R_0	начальная величина сопротивления изоляции МТ, Ом·м ² ;
D	диаметр МТ, мм;
δ	толщина стенки МТ, мм;
t	срок службы участка МТ, год;
α	постоянная затухания потенциала, 1/м;
Z_b	волновое (характеристическое) сопротивление МТ, Ом;
$Z_{вх}$	входное сопротивление плеча зоны защиты СКЗ, Ом;
i_3	общий ток защиты СКЗ (на два плеча зоны защиты), Ом;
β	нормативное значение постоянной старения изоляции, в соответствии с ГОСТ, 1/год;
$\varphi_{ЕП}$	естественный потенциал свободной коррозии МТ в подводных условиях, В м.с.э.

Токораспределение на участке катодной защиты трубопровода с подводным переходом

При подземной прокладке трубопровода с равноценными условиями старения изоляции в пределах защитной зоны установки катодной защиты (УКЗ) справедливы условия токораспределения, формирующие защитные потенциалы трубопровода (рисунк 1).

$$\Delta\varphi_0 = \Delta\varphi_L \cdot Ch \sqrt{\frac{r}{R}} \cdot L;$$

$$\Delta\varphi_0 = \frac{I_3}{2} \cdot \sqrt{rR} \text{ или } \Delta\varphi'_0 = \frac{I_3}{2} \cdot \sqrt{rR} \cdot ch \sqrt{\frac{r}{R}} \cdot L$$

– для неизношенной изоляции или коротких участков;

$$R = \left(Ar^2 \cdot Ch \frac{\Delta\varphi_0}{\Delta\varphi_L} \right)^{-1} \cdot rL^2 = \frac{4\Delta\varphi_0^2}{rI_3^2};$$

$$\Delta\varphi_0 = \frac{rLI_3}{2Ar \cdot Ch \frac{\Delta\varphi_0}{\Delta\varphi_L}}$$

– трансцендентное уравнение.

В случае наличия зоны защиты подводного перехода на одном из плеч, происходит перераспределение равномерного токораспределения между плечами зоны защиты, а также в пределах плеча зоны защиты с подводным переходом (рисунк 2).

При условии сохранения равенства $I_3^* = I_3$; $\Delta\varphi_L = \Delta\varphi_{L1}^* = \Delta\varphi_{L2}^* = \Delta\varphi_{\min}$ возникает новое соотношение $\Delta\varphi_0^* < \Delta\varphi_0$, т.к. сопротивление изоляции трубопровода на подводном участке $R_{l2} < R_{l1} = R_{l3} = R_L$.

В то же время, вследствие понижения удельного сопротивления на водном участке трассы, по сравнению с удельным сопротивлением твердого грунта ($\rho_6 < \rho_2$), правое плечо зоны защиты принимает на себя ток защиты больший, чем $\frac{I_3^*}{2}$. При этом на участке l_2 , где наиболее низкое сопротивление изоляции, скорость загущения потенциала и плотности

тока защиты выше, чем на сухопутных отрезках зоны защиты.

В результате описанного изменения токораспределения УКЗ общая протяженность ее зоны защиты сокращается $L_1^* + L_2^* < 2L$. При этом на участке подводного перехода могут иметь место три случая соотношения длины плеча зоны защиты УКЗ:

$$L_2^* < L_1^*; L_2^* = L_1^*; L_2^* > L_1^*.$$

Существование этих случаев контролируется тремя соотношениями:

$$\frac{R_{l2}}{R_L}; \frac{l_2}{L_2^*}; \frac{\rho_6}{\rho_2}$$

Как показывает практика, подтвержденная компьютерным расчетом, для системы вертикально слоистых сред с различной электропроводностью, для

условий $\frac{l_2}{L_2^*} > 0,3$, доминирует соотношение $L_2^* < L_1^*$. Для условий $\frac{l_2}{L_2^*} < 0,1$ характерно соотношение $L_2^* = L_1^*$, а для условий $\frac{\rho_6}{\rho_2} < \frac{l_2}{L_2^*}$ может часть иметь место соотношение $L_2^* > L_1^*$.

Используя перечисленные соотношения, была разработана методика оценки величины сопротивления и дефектности, т.е. степени износа изоляционного покрытия трубопровода на подводном участке и расчета константы старения различных видов изоляции в экстремальных условиях эксплуатации (при постоянном усиленном внешнем обводнении трубопровода).

Концептуальная основа этой методики базируется на следующих электрофизических соотношениях:

– соотношение наложенных катодных потенциалов в начале и конце плеча зоны защиты с подводным переходом $\Delta\varphi_0^*$ и $\Delta\varphi_{L2}^*$ характеризует среднюю величину переходного сопротивления трубопровода на полностью сухопутном

участке \bar{R} . Из первого соотношения следует:

$$\bar{R}^* = \left(Ar^2 \cdot Ch \frac{\Delta\varphi_0^*}{\Delta\varphi_{L2}^*} \right)^{-1} \cdot rL_2^* [Ом \cdot м];$$

из второго соответственно:

$$\bar{R} = \left(Ar^2 \cdot Ch \frac{\Delta\varphi_0^*}{\Delta\varphi_{L2}^*} \right)^{-1} \cdot rL_1^* [Ом \cdot м];$$

Сопоставляя эти выражения, можно записать:

$$\bar{R}^* = \bar{R} \frac{L_2^*}{L_1^*} [Ом \cdot м].$$

Для правого плеча зоны защиты функционально справедливо соотношение:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{R}^*}{L_2^*} &= \frac{\bar{R} \cdot R_{l2} \cdot \bar{R}}{l_1 \cdot l_2 \cdot l_3} = \frac{\bar{R}^*}{\frac{\bar{R}}{l_1} \cdot \frac{R_{l2}}{l_2} + \frac{\bar{R}^2}{l_1 l_3} + \frac{R_{l2} \bar{R}}{l_2 l_3}} \\ &= \frac{\bar{R}^2 \cdot R_{l2}}{l_1 l_2 l_3 \left[\frac{R_{l2}}{l_2} \left(\frac{\bar{R}}{l_1} + \frac{\bar{R}}{l_3} \right) + \frac{\bar{R}^2}{l_1 l_3} \right]} \end{aligned}$$

Из приведенного соотношения можно установить кажущуюся величину переходного сопротивления трубопровода на подводном участке R_{l2} :

$$R_{l2} = \frac{\bar{R}^3 l_2}{\bar{R}^2 L_2^* - \bar{R} l_1 l_3 \left(\frac{\bar{R}}{l_1} + \frac{\bar{R}}{l_3} \right)} [Ом \cdot м]$$

В то же время соотношение величины наложенного потенциала в точке дренажа и общей величины тока защиты УКЗ характеризует влияние подводного перехода на искажение расчетной кажущейся величины переходного сопротивления трубопровода за счет перераспределения токораспределения на участке подводного перехода:

$$\Delta\varphi_0^* = I_3 \frac{L_2^*}{L_1^* + L_2^*} \cdot \sqrt{rR} \cdot ch \cdot \left(\sqrt{\frac{r}{R}} \cdot L_2^* \right)$$

Преобразуя это выражение, получим:

$$\bar{R}^* = \frac{1}{r} \cdot \left[\frac{\Delta\varphi_0^* (L_1^* + L_2^*)}{I_3 \cdot L_2^*} \cdot th \cdot \left(\sqrt{\frac{r}{R}} \cdot L_2^* \right) \right]^2$$

– трансцендентное уравнение.

рисунк 1.
Схема зоны защиты УКЗ

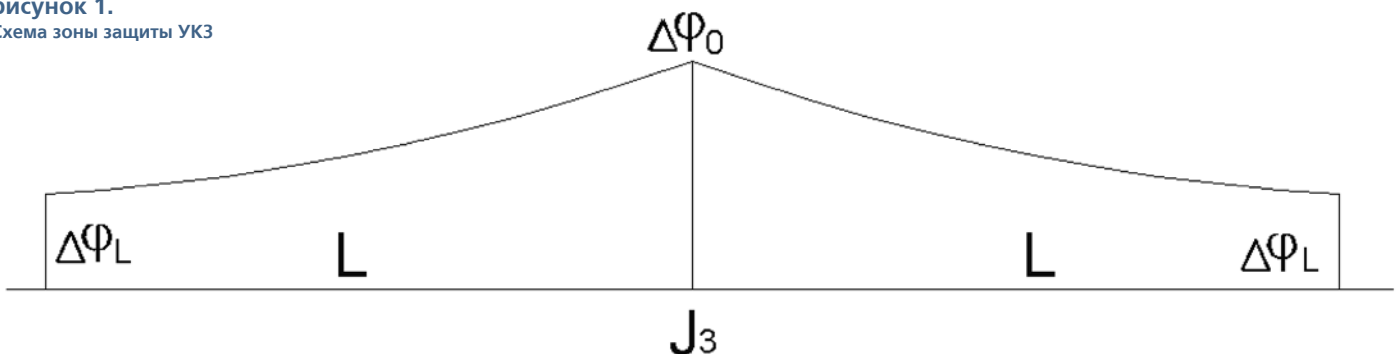
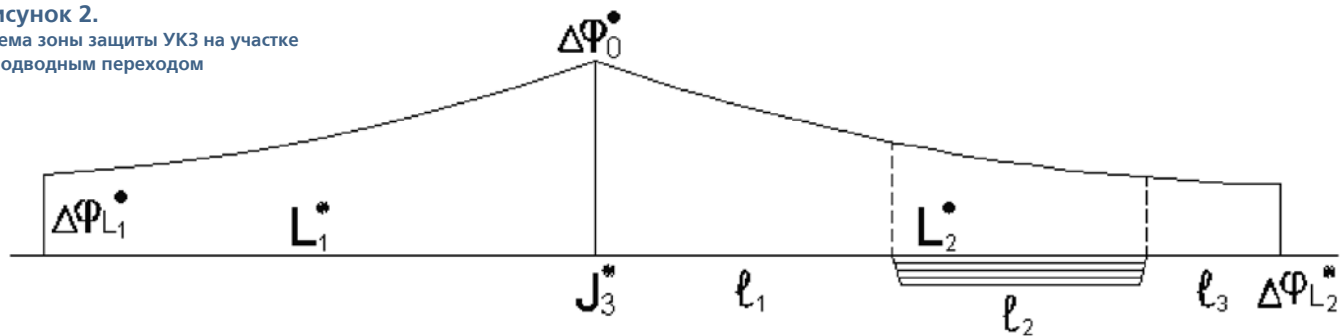


рисунок 2.
Схема зоны защиты УКЗ на участке с подводным переходом



Решая полученное трансцендентное уравнение, определяем среднюю величину переходного сопротивления трубопровода, приведенную в точку дренажа УКЗ:

$$R_{l2}^* = \frac{R_{l3}^* l_2}{\bar{R}^* L_2^* - \bar{R}^* l_1 l_3 \cdot \left(\frac{R_{l1}^*}{l_1} + \frac{R_{l3}^*}{l_3} \right)} \text{ [Ом}\cdot\text{м]}.$$

Сопоставляя значения \$R_{l2}^*\$ и \$R_{l2}\$, уточняем токораспределение между плечами зоны защиты:

$$K_3 = \frac{L_2^*}{L_1^* + L_2^*} \cdot \sqrt{\frac{R_{l2}^*}{R_{l2}}}$$

После чего окончательно рассчитываем математические ожидания величины переходного сопротивления трубопровода на подводном участке по формуле:

$$R_{лпп} = R_{l2} \cdot \sqrt{K_3} \text{ [Ом}\cdot\text{м]}$$

Располагая этой информацией, устанавливаем значение удельного сопротив-

ления изоляции на подводном переходе для различных диаметров трубопровода \$D\$, м:

$$R_{лпп} = \pi \cdot D \cdot (R_{лпп} - K_D \rho_e) \text{ [Ом}\cdot\text{м}^2]$$

Отсюда следует, что эквивалентный диаметр общей несплошности на \$1\text{м}^2\$ изоляции на подводном переходе составляет:

$$d_{лпп} = \frac{\rho_e}{2R_{лпп}} \text{ [м]}$$

а степень износа (дефектности) изоляции в этом случае достигает:

$$K_D = 20 \frac{\rho_e^2}{R_{лпп}^2} \text{ [%]}$$

Определение константы скорости старения изоляции в экстремальных условиях постоянного обводнения трубопровода при эксплуатации является

заключительной операцией данной методики:

$$\beta_{лпп} = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{R_0}{R_{тлпп}} \left[\frac{1}{200} \right]$$

Данная методика позволила детально проанализировать характер старения нескольких десятков подводных переходов трубопроводов разного срока строительства с различными типами изоляционных покрытий и оценить величины их констант скорости старения изоляции в экстремальных условиях постоянного обводнения.

1. Улиг Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. Л.: Химия, 1989.
2. Колотыркин Я.М. Металл и коррозия. М.: Металлургия, 1985.
3. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защита металлов. М.: Изд-во АН СССР.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Конструкция, материал изоляции	5 лет		10 лет		15 лет		20 лет		25 лет		30 лет		Дн
Пленка 10кОм*м ² ρ=0,12-0,15	1250	1100	700	500	400	250	200	120	120	50	60	25	1400 мм
	1500	1320	840	600	500	300	250	150	150	60	70	30	1200 мм
	1800	1600	1000	720	600	360	300	180	180	70	70	35	1000 мм
	2500	2200	1400	1000	800	500	400	250	250	100	120	50	720 мм
Экструдированный полиэтилен 300кОм*м ² ρ=0,08-0,12	46000	37000	30000	20000	20000	11000	14000	6000	9000	3400	6000	1900	1400 мм
	55000	44000	36000	24000	24000	13000	17000	7200	11000	4000	7200	2300	1200 мм
	66000	53000	43000	29000	29000	15600	20500	8600	13200	4800	8600	2800	1000 мм
	90000	74000	60000	40000	40000	20000	28000	12000	18000	7000	12000	4000	720 мм
Экструдированный полиэтилен 100кОм*м ² ρ=0,08-0,12	15300	12300	10000	6700	6700	3700	4700	2000	3000	1100	2000	600	1400 мм
	18300	14700	12000	8000	8000	4300	5700	2400	3700	1300	1400	800	1200 мм
	22000	17700	14300	9700	9700	5200	6800	2900	4400	1600	2900	940	1000 мм
	30000	24500	20000	13500	13500	7500	9500	4000	6000	2000	4000	1200	720 мм
Пластобит 50кОм*м ² ρ=0,15-0,18	6300	5400	3000	2200	1400	900	700	400	300	150	150	60	1400 мм
	7600	6500	3600	2600	1700	1100	840	480	360	180	180	70	1200 мм
	10600	9100	5000	3600	2400	1600	1200	700	500	250	250	100	1000 мм
	15200	13000	7200	5200	3400	2200	1700	1000	720	360	360	150	720 мм
Битум 10кОм*м ² ρ=0,2-0,22	1000	900	360	300	130	100	50	35	20	10	7	4	1400 мм
	1200	1100	430	360	160	120	60	40	25	12	9	5	1200 мм
	1700	1550	600	500	220	170	90	60	35	17	13	7	1000 мм
	2400	2200	850	720	320	240	120	80	50	25	20	10	720 мм