

УДК 620.193

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ТА БАКТЕРІАЛЬНОЇ КОРОЗІЇ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У ҐРУНТІ

Запропонована методика визначення швидкості електрохімічної і бактеріальної корозії сталевих корструкцій, що працюють у ґрунті, яка може бути використана при розрахунках величини пошкоджень сталевих конструкцій та розрахунках на довговічність.

A method for determining the rate of electrochemical and bacterial corrosion of steel structures that are working in the soil. The above technique can be applied when calculation the value of damage to steel structures, based on longevity.

Ключові слова: сталеві конструкції, біологічна, бактеріальна та електрохімічна корозія.

Сталеві будівельні конструкції, що працюють у ґрунті, можуть втрачати свою функціональну придатність внаслідок корозійного пошкодження їх елементів і зварних з'єднань. Корозія в ґрунті може бути як електрохімічною, так і бактеріальною.

Електрохімічна корозія сталевих конструкцій, що працюють у ґрунті, найбільше характерна для місць, де є блукальний електричний струм, волога, агресивне середовище експлуатації, контакт металевих елементів із різними електричними потенціалами, контакт сталевих елементів з ґрунтом.

Біологічна корозія є однією з причин пошкодження і відмови сталевих конструкцій, що працюють у рідких середовищах і в вологих ґрунтах. Мікроорганізми, які беруть участь в утворенні біологічних обростань, сприяють адсорбції негативно заряджених мікроорганізмів на поверхні металу і накопиченню на цих ділянках більш високих концентрацій харчових речовин, ніж в оточуючому середовищі.

Для попередньої оцінки довговічності сталевих елементів та зварних з'єднань сталевих конструкцій з пошкодженим ізоляційним шаром, що знаходяться в ґрунті, доцільно визначити швидкість корозії за характеристиками корозійної активності ґрунту, а ресурс сталі – за формулою

$$= t_{\text{зш}} + (h_0 - [h]) / (V_{\text{екк}} + V_{\text{бк}}),$$

де $t_{\text{зш}}$ – ресурс сталевих елементів або зварного з'єднання, рік; $t_{\text{зш}}$ – ресурс шару гідроізоляції, рік; h_0 – товщина сталевих елементів або висота катета зварного з'єднання сталевих елементів на початку експлуатації, мм; $[h]$ – критично допустима мінімальна товщина сталевих елементів або висота катета зварного з'єднання, яка забезпечує вимоги міцності конструкції, мм; $V_{\text{екк}}$ – швидкість електрохімічної корозії сталі



Т.І. Матченко
провідний інженер
ПАТ Київський науково-дослідний та
проектно-конструкторський інститут
«Енергопроект», к.т.н.

зони сплавлення зварного з'єднання в конкретному середовищі; $V_{\text{бк}}$ – швидкість бактеріальної корозії сталі зони сплавлення зварного з'єднання.

Таким чином, для визначення довговічності або залишкового ресурсу сталевих конструкцій, що працює в ґрунті, необхідно визначити експериментально або вирахувати швидкість корозії $V_{\text{екк}}$ та $V_{\text{бк}}$. Розглянемо методика, яка враховує рекомендації [1–4].

Методика розрахунку швидкості електрохімічної корозії. Згідно з ДСТУ Б В.2.5-29 корозійна агресивність ґрунту по відношенню до сталі характеризується значенням питомого електричного опору ґрунту r , що визначається в польових та лабораторних умовах, та середньою густиною катодного струму $j_{\text{ксер}}$ при зміщенні потенціалу (E) на 100 мВ від'ємніше за потенціал корозії сталі ($E_{\text{кор}}$). Якщо при визначенні одного з показників встановлена висока корозійна агресивність ґрунту, то визначення інших показників не потрібне. Якщо питомий електричний опір ґрунту, виміряний в лабораторних умовах, такий, що дорівнює або вищий ніж 130 Ом м, корозійну агресивність ґрунту вважають низькою і за середньою густиною струму $j_{\text{ксер}}$ не оцінюють (табл. 1).

Методики визначення питомого електричного опору ґрунту, середньої густини катодного струму та поляризаційний потенціал підземних сталевих конструкцій наведені в додатках А, Б, В ДСТУ Б В.2.5-29.

Таблиця 1

Корозійна агресивність ґрунту по відношенню до вуглецевої якісної конструкційної сталі згідно з ДСТУ 2651

Корозійна агресивність ґрунту	Питомий електричний опір ґрунту r , Омм	Середня густина катодного струму, $i_{\text{ксер}}$, А/м ²
Низька	Понад 50	До 0,05 включно
Середня	Від 20 до 50 включно	Від 0,05 до 0,2 включно
Висока	До 20 включно	Понад 0,2

Небезпечним впливом блукальних постійних струмів на сталеву конструкцію вважається наявність знакозмінного або змінного в часі позитивного (анодна зона) зміщення різниці потенціалів (E) між підземною сталеву конструкцією та мідносльфатним електродом порівняння (МЕР), визначеним згідно з додатком Г ДСТУ Б В.2.5-29, при цьому найбільший розмах коливань потенціалів (між найбільшим $E_{\text{вим,мак}}$ і найменшим $E_{\text{вим,мін}}$ значеннями вимірних потенціалів за абсолютною величиною) перевищує 0,04 В, небезпечним є також миттєве позитивне зміщення потенціалу або миттєве негативне значення густини струму.

При змінному струмі вважається небезпечним негативне зміщення потенціалу не менше ніж на 10 мВ по відношенню до стаціонарного потенціалу або наявність змінного струму густиною більше ніж 1 мА/см² (10 А/м²) на допоміжному електроді.

До корозійно-небезпечних ділянок незалежно від показників корозійної агресивності середовища та наявності блукальних струмів слід відносити також: заплавили річок, зрошувальні землі, болота і заболочені ґрунти, підводні переходи, промислові та побутові стоки, звалища сміття та шлаку, польові склади мінеральних добрив.

Критерії агресивності ґрунту з урахуванням сукупності мікробіологічних і фізико-хімічних чинників наведені в ДСТУ 3291 [3].

Ділянки, на яких блукальні струми входять до підземної сталеву конструкції, є катодом, а ділянки, де вони виходять із конструкції в навколишній ґрунт, – анодом. Корозія сталі внаслідок окислення відбувається на анодних ділянках. Кількість металу (M або m), що втрачає сталева конструкція внаслідок корозії блукальними струмами з одиниці площі, можна вирахувати за законом Фарадея:

$$M = E \cdot I \cdot t_c / F,$$

де I – величина струму, який протікає через анод, А; t_c – час протікання струму, с; E – хімічний еквівалент металу, який дорівнює відношенню атомної ваги до валентності металу, $E = A_m / n$, A_m – атомна маса заліза ($A_m = 55,85$); n – валентність ($n = 2, 3$ або 4); F – число Фарадея ($F = 96500$ А с).

Втрату маси при електрохімічній корозії також можна визначити за швидкістю анодного процесу розчинення, який характеризується густиною електричного струму, пропорційною втраті металу з одиниці площі

$$m = i_a \frac{A}{nF} t,$$

де m – кількість металу, який перейшов у ґрунт, насичений вологою з одиниці поверхні, г/см²; i_a – густина анодного струму, А; A – відносна маса металу; n – валентність; F – число Фарадея; t – час корозії, година.

Таким чином, швидкість корозії сталевих конструкцій від блукальних електричних струмів залежить від величини струму, що виходить або входить до конструкції. Величина струму в ґрунті визначається залежністю

$$I = U \cdot 4 \cdot b / R_{\text{ґрр}},$$

де U – різниця електричних потенціалів у точці (о) землі і на поверхні сталеву конструкції, В; $R_{\text{ґрр}}$ – приведений питомий електричний опір ґрунту та захисного шару сталеву конструкції, Ом м; b – відстань між точками (о) землі, де визначений електричний потенціал землі U , і сталеву конструкцією, м.

У свою чергу можна записати

$$i_a = \frac{U}{R_a + R_k + R_{\text{ґр}}},$$

де U_k , U_a – електродні потенціали катода і анода (сталі та ґрунту), В (див. табл. 2); R_a , R_k , $R_{\text{ґр}}$ – електричний опір анода, катода і ґрунту відповідно.

Для оцінки електричного блукального струму доцільно приймати (b) як відстань до найближчого підземного електричного кабеля, заземлення, рейки електрички або до найбільшої високої точки над поверхнею землі, куди може попадати блискавка, до громовідведення.

Величину і знак потенціалу (U) відносно ґрунту визначають контактним способом за допомогою вольтметра і вираховують за формулою

$$U = \pm U_{\text{вим}} + 0,32B,$$

де $U_{\text{вим}}$ – показник приладу, В; B – потенціал мідно-сульфатного електрода.

Для переходу вимірювання корозії від втраченої маси металу (m) з площі (S) до її глибини (Y) отримуємо:

$$Y = m / (S \cdot \rho_c),$$

де ρ_c – густина сталі.

Швидкість корозії ($V_{\text{кор}}$) визначається за формулою

$$V_{\text{кор}} = Y/t,$$

де t – час, протягом якого глибина корозії склала величину Y .

Таблиця 2

Характеристики основних металів

Найменування металу	Атом. маса, А	Пит. маса, г	Температура плавлення, °С, T	Валентність, n	Співвідношення між одиницями швидкості корозії	Потенціали деяких електродних процесів	
						процеси	потенціали i_a
Залізо	55,85	7,87	1539	2, 3, 6	$1 \text{ г/м}^2 \text{ 24 год} = 0,047 \text{ мм/год}$ $1 \text{ мм/год} = 23,53 \text{ г/м}^2 \text{ 24 год}$	$\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2e^-$ $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2e^-$ $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HFeO}_2^- + 2\text{H}^+ + 2e^-$ $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 8e^-$ $\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+} + e^-$	$= -0,440 + 0,0295 \lg [\text{Fe}^{2+}]$ $= -0,047 - 0,0591 \text{ pH}$ $= 0,493 - 0,00886 \text{ pH} + 0,0295 \lg [\text{HFeO}_2^-]$ $= -0,085 - 0,0591 \text{ pH}$ $= 0,771 + 0,0591 \lg [\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]$
Цинк	65,37	7,14	419,5	2	$1 \text{ г/м}^2 \text{ 24 год} = 0,051 \text{ мм/год}$ $1 \text{ мм/год} = 19,8 \text{ г/м}^2 \text{ 24 год}$	$\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2e^-$ (амфотерний) $\text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + 2e^-$ $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HZnO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2e^-$ $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{ZnO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e^-$	$= -0,400 - 0,0591 \text{ pH}$ $= -0,763 + 0,0295 \lg [\text{Zn}^{2+}]$ $= 0,054 - 0,0886 \text{ pH} + 0,0295 \lg [\text{HZnO}_2^-]$ $= 0,041 - 0,1182 \text{ pH} + 0,0295 \lg [\text{ZnO}_2^{2-}]$

Таблиця 3

Залежність K_1 від технічного стану захисного покриття

Технічний стан захисного покриття	Добрий	Задовільний	Незадовільний	Вкрай незадовільний	Аварійний
K_1 , частка від одиниці	1,00	0,70	0,30	0,15	0,00

Таблиця 4

Залежність K_1 від часу експлуатації захисного покриття

Час експлуатації захисного покриття, рік	5	10	15	20	25	30
K_1 , частка від одиниці	1,00	0,75	0,50	0,30	0,15	0,00

Таблиця 5

Залежність K_2 на поверхні ґрунту

Назва місяців	Північні області України, сухий ґрунт	Північні області України, вологий ґрунт	Південні області України, сухий ґрунт	Південні області України, вологий ґрунт
Січень	0,69	1,45	0,66	1,52
Лютий	0,63	1,59	1,57	1,76
Березень	0,57	1,76	0,63	1,59
Квітень	0,69	1,45	1,41	1,71
Травень	0,74	1,35	1,00	1,00
Червень	0,89	1,12	0,99	1,01
Липень	1,00	1,00	0,89	1,12
Серпень	0,89	1,12	0,89	1,16
Вересень	0,97	1,03	0,90	1,11
Жовтень	0,86	1,16	0,92	1,09
Листопад	0,74	1,35	0,92	1,09
Грудень	0,77	1,30	0,74	1,35

За відсутності експериментальних даних розрахунок приведенного питомого електричного опору ґрунту виконується за формулою

$$R_{грп}(t) = R_{гиз}(t) + r(t) \ln \{1,12 / [(2Rh)^{0,5}]\} / \rho$$

де $R_{гиз}(t)$ – питомий електричний опір гідроізоляції, Ом м; $r(t)$ – питомий електричний опір ґрунту, Ом м; R – геометричний зовнішній радіус елемента сталеві конструкції, м; h – глибина заглиблення елемента сталеві конструкції нижче рівня поверхні землі, м; ρ – електричний опір сталі, Ом м; ρ – постійна розповсюдження електричного струму в сталевій конструкції, 1/м.

$$\rho = [r / R_{грп}(t)]^{0,5};$$

$$R_{гиз}(t) = R_{гиз}(0) K_1;$$

$$r(t) = r(0) \cdot \frac{n}{i_2} K_2,$$

де $R_{гиз}(0)$, $r(0)$ – значення параметрів на початку експлуатації конструкції; $\frac{n}{i_2}$ – знак добутку коефіцієнтів впливу; K_1 – коефіцієнт впливу на опір стану захисного покриття металу в ґрунті (табл. 3 або 4); K_2 – коефіцієнт впливу на опір ґрунту (табл. 5).

Питомий електричний опір ґрунту вище рівня ґрунтових вод і є таким:

$$r_{гс}(t) = n_{дг} r(t) + n_{пг}(t) (1 - n_{дг}),$$

де $r(t)$ – питомий електричний опір у глинах; $n_{пг}(t)$ – питомий електричний опір в пісках; $n_{дг}$ – частка глини в ґрунті, частка від одиниці.

Для пісків, що розташовані вище рівня ґрунтових вод, величину питомого електричного опору ґрунту можна визначати залежністю

$$r_{пг}(t) = b_1 / (G(t) + 0,04),$$

де b_1 – коефіцієнт пропорційності і переходу одиниць виміру, 1/Ом м; $G(t)$ – відносна вологість ґрунту: відношення маси води в порах ґрунту до об'єму пор ґрунту.

Таким чином, за відсутності води $G(t) = 0$, а при повному насиченні пор водою $G(t) = 1$.

Одиницею виміру $G(t)$ може бути г/см³ або частка від одиниці.

$$G(t) = W_{дг} / n;$$

$$G(t) = W_{сг} / e;$$

$$G(t) = W_{сг} (1 - n) / n,$$

де W – вагова вологість ґрунту; n – пористість ґрунту, частка від одиниці; e – коефіцієнт пористості, частка від одиниці; d – об'ємна густина скелета ґрунту, г/см³; s – питома густина ґрунту, г/см³.

Для глин, що розташовані вище рівня ґрунтових вод, величину питомого електричного опору ґрунту можна визначати залежністю

$$r(t) = b_2 / (I_L(t) + 0,04),$$

де b_2 – коефіцієнт пропорційності і переходу одиниць виміру, 1/Ом м; $I_L(t)$ – показник плинності глини, частка від одиниці.

Значення коефіцієнтів b_1 і b_2 приведені в таблиці 6.

Таблиця 6

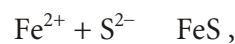
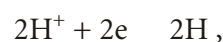
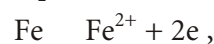
Коефіцієнти	Гравій, пісок	Супісок	Суглинок	Глина
b_1	20-12	12-8	8-4	4-0
b_2	0	0-7	7-14	14-21

Для переходу вимірювальної корозії від втрати металу з площі до глибини корозії в мм врахуємо коефіцієнти переходу і отримаємо:

$$V_{кр} = \frac{m}{S} \frac{10^9 \cdot 8,766 A}{h F} \frac{\rho_k}{R_a} \frac{\rho_a}{R_k} \frac{m}{R_{гп}} K_j, \quad (1)$$

де ρ – густина сталі; S – площа поверхні сталі, м²; V – швидкість корозії, мм/рік; h – глибина корозії, мм.

Методика розрахунку швидкості бактеріальної корозії. На ділянках металу в корозійних процесах переважно беруть участь наступні основні групи мікроорганізмів бактерій: сульфатовідновлювальні (СВВ), тіонові (ТБ) – аеробні, залізобактерії (ЗБ). СВВ є одним із головних факторів біокорозії, вони анаеробні і розвиваються під пухкими відкладеннями, які накопичуються в зонах затхлості води. За відсутності кисню активність цих бактерій тим вища, чим більше в середовищі сульфатів і органічних сполучень. СВВ у корозійному процесі полегшують катодний процес, що призводить до посилення корозії металу. Крім того при бактеріальному відновленні сульфатів у середовищі накопичуються сірководень і сульфідій, внаслідок чого має місце сульфідна корозія металу. За наявності СВВ відбуваються наступні реакції:

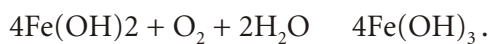


Таблиця 7

Значення коефіцієнтів впливу на швидкість корозії сталі

Біологічно агресивне середовище експлуатації	Індекс агресивності середовища	Концентрація бактерій, клітин/мл	$K_{СВБ}$, $K_{ТБ}$, $K_{ЗБ}$ (1)
Сульфатовідновлювальні бактерії	SBS 0	0 – 1,0 · 10 ²	0–1
	SBS 1	1,0 · 10 ² – 2,5 · 10 ²	1–2
	SBS 2	2,5 · 10 ³	2–4
	SBS 3	2,5 · 10 ⁴	4–8
	SBS 4	2,5 · 10 ⁵ і більше	8–16
Тіонові бактерії	SBT 0	0 – 2,5 · 10 ³	0–1
	SBT 1	2,5 · 10 ⁵	1–2
	SBT 2	2,5 · 10 ⁹	2–4
	SBT 3	2,5 · 10 ¹³	4–8
	SBT 4	2,5 · 10 ¹⁵ і більше	8–16
Залізобактерії	SBF 0	Відсутня колонія бактерій	0–1
	SBF 1	Присутня колонія бактерій	1–2
	SBF 2	Присутня колонія бактерій, 0 °С – 20 °С	2–4
	SBF 3	Присутня колонія бактерій, 20 °С – 50 °С	4–8
	SBF 4	Присутня колонія бактерій, більше 50 °С	8–16

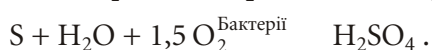
Якщо у воді є розчинений кисень, гідроксид Fe(II) окислюється до гідроксиду Fe (III).



У продуктах корозії сталі за наявності СВБ утворюються сульфіді, гідроксиди заліза. Під відкладеннями знаходяться глибокі язви і пітинги. Руйнування чавуну супроводжується гравітацією, поверхня його покривається німцною плівкою, складеною із суміші сульфідів заліза і графіта.

Корозійно-небезпечними вважаються рідинні середовища зі складом СВБ більше 100 клітин/мл.

До групи кислотоутворювальних входять мікроорганізми, тіонові бактерії, гриби, дріжджі тощо, продуктами метаболізму яких є органічні або неорганічні кислоти. Тіонові бактерії окислюють сульфіді, елементарну сірку, сіркоорганічні сполучення з утворенням сульфатів і сіркової кислоти, при цьому рН середовища може знижуватися до 0,6, стимулюючи процес корозії з водневою деполяризацією. Реакція окиснювання протікає наступним чином:



Концентрація тіонових бактерій вище 2500 клітин/мл вважається корозійно-небезпечною.

Залізобактерії окислюють Fe(II) до Fe(III) з утворенням значних осадів гідроксиду Fe(III), що сприяє розвитку анаеробних мікроорганізмів,

у т.ч. СВБ. Корозійний процес, що відбувається внаслідок взаємозв'язку агресивних мікроорганізмів, приведений на рисунку. Значення коефіцієнтів впливу на швидкість корозії сталі в залежності від концентрації сульфатовідновлювальних бактерій $K_{СВБ}$, тіонових бактерій $K_{ТБ}$ та залізобактерій $K_{ЗБ}$ приведені в таблиці 7.

Для оцінки біокорозійної активності ґрунтів одержані дані щодо кількісного вмісту в ґрунті сульфатредуючих бактерій, тіонових бактерій, загального заліза, загальної сірки та питомого електричного опору ґрунту, в ДСТУ 3291-95 застосовується формула

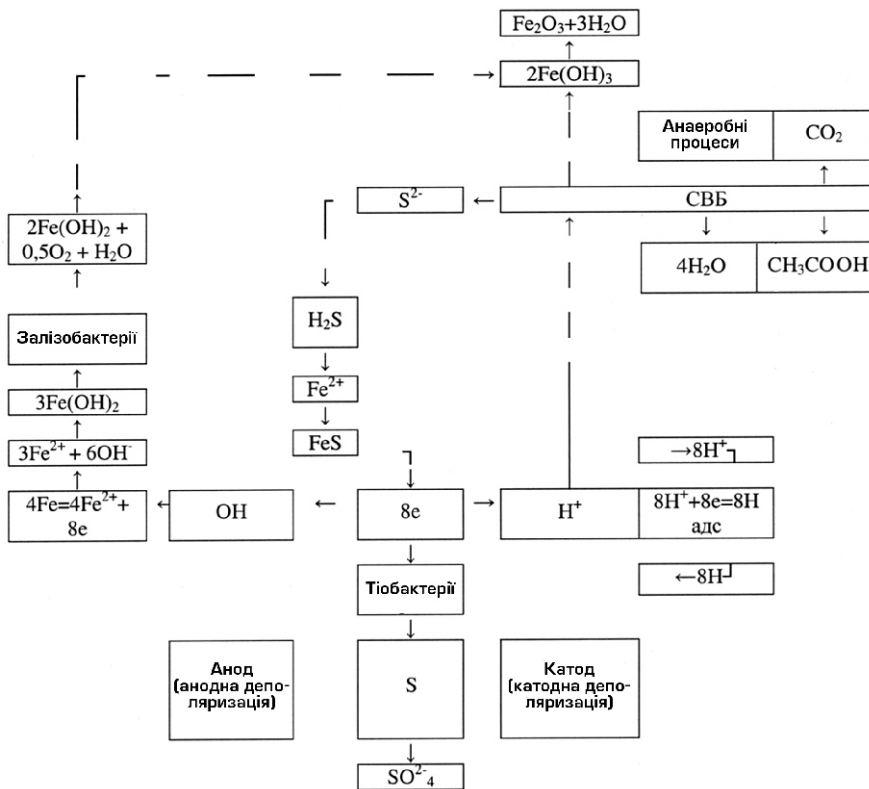
$$K_A = \lg \left[\frac{T_{\text{срб}} \cdot T_{\text{тб}} \cdot \text{Fe}_{\text{заг}} \cdot S_{\text{заг}}}{r(t)} \right],$$

де K_A – критерій біокорозійної активності ґрунту, сумарний ефект дії різних видів корозії; $T_{\text{срб}}$ – кількість сульфатредуючих бактерій в 1 г ґрунту; $T_{\text{тб}}$ – кількість тіонових бактерій в 1 г ґрунту; $\text{Fe}_{\text{заг}}$ – кількісний вміст загального заліза в ґрунті, %; $S_{\text{заг}}$ – кількісний вміст загальної сірки в ґрунті, %; $r(t)$ – значення питомого електричного опору ґрунту, Ом · м.

Кількість бактерій (A , $T_{\text{срб}}$ або $T_{\text{тб}}$) в одному грамі ґрунту за результатами вихідної ґрунтової суспензії, приготовленої за методикою ДСТУ 3291-95, обчислюють за формулою

$$A = K_{\text{вол}} \cdot T_{\text{бак}},$$

де $K_{\text{вол}}$ – коефіцієнт вологості; $T_{\text{бак}}$ – кількість бактерій в 1 см³ вихідної ґрунтової суспензії.



Взаємний зв'язок корозійно-агресивних мікроорганізмів у процесі корозії сталі

Коефіцієнт вологості обчислюється у відсотках за формулою

$$K_{\text{вол}} = (100 + P)/100,$$

де P – відносна вологість, %.

Відносну вологість обчислюють у відсотках за формулою

$$P = (a - 100)/b,$$

де a – маса випареної води, г; b – маса сухого ґрунту, г.

Вміст заліза (Fe) в мг/г ґрунту обчислюється за формулою

$$Fe = (m_1 V_{\text{оф}} 1000)/(V_{\text{оа}} m_{\text{нав}}),$$

де m_1 – кількість заліза за калібрувальним графіком, мкг/см³; $V_{\text{оф}}$ – об'єм фільтрату, см³; $V_{\text{оа}}$ – об'єм частки, взятої для аналізу, см³; $m_{\text{нав}}$ – кількість ґрунту для аналізу, мг.

За цією ж формулою обчислюють вміст сірки (S) в мг/г ґрунту.

За значеннями K_A згідно з таблицею 8 визначається ступінь або індекс агресивності ґрунту.

За значеннями індексу агресивності ґрунту (табл. 9) визначається відносна швидкість $V_{\text{бк}}$ бактеріальної корозії

$$V_{\text{бк}} = V_{\text{бк}}(\) h_0, \text{ мм/рік.}$$

Дані таблиці 9 відповідають проектному ресурсу 50 років і критично допустимому пошкодженню 100 % після закінчення ресурсу.

Таблиця 8

Класифікація біокорозійної активності ґрунтів за значенням K_A

Ступінь агресивності ґрунту за ДСТУ Б В.2.6-193	Індекс агресивності ґрунту у відповідності з [2]	Ступінь агресивності ґрунту за ДСТУ 3291-95	Діапазон значень K_A
Неагресивний	SBS 0 SBT 0 SBF 0	Потенційно агресивний	$K_A < 1,5$
Слабоагресивний	SBS 1 SBT 1 SBF 1	Малоагресивний	$1,5 < K_A < 4,0$
Середньоагресивний	SBS 2 SBT 2 SBF 2	Помірно агресивний	$4,0 < K_A < 7,0$
Сильноагресивний	SBS 3 SBT 3 SBF 3	Агресивний	$7,0 < K_A < 10,0$
	SBS 4 SBT 4 SBF 4	Дуже агресивний	$10,0 < K_A$

Таблиця 9

Швидкість бактеріальної корозії сталі

Індекс агресивності середовища експлуатації	Величина ступеня агресивності середовища	Ступінь агресивності середовища	Відносна швидкість бактеріальної корозії сталі $V_{\text{бк}}(\) = d / dt$, частки/рік. $= [h_0 - h(t)]/h_0$, h_0 – початкова висота катета шва, $h(t)$ – висота катета на час експлуатації t
SBS 0 SBT 0 SBF 0	0	Неагресивне	0 – 0,00125
SBS 1 SBT 1 SBF 1	1	Слабоагресивне	0,00125 – 0,005
SBS 2 SBT 2 SBF 2	2	Середньоагресивне	0,005 – 0,02
SBS 3 SBT 3 SBF 3	3	Сильноагресивне	0,02 – 0,08
SBS 4 SBT 4 SBF 4	4	Надагресивне	0,08 – 0,32

Таблиця 10

Біологічно агресивне середовище експлуатації	Індекс агресивності середовища	Наявність колонії грибів і температура середовища	Коефіцієнт впливу на швидкість зростання ($T_{бак}$) – кількості бактерій в 1 см ³ вихідної ґрунтової суспензії
Плісневі гриби (Moulds)	SG 0 (M)	Відсутня колонія бактерій	0–1
	SG 1 (M)	Присутня колонія бактерій	1–2
	SG 2 (M)	Присутня колонія бактерій, 0 °С – 20 °С	2–4
	SG 3 (M)	Присутня колонія бактерій, 20 °С – 50 °С	4–8
	SG 4 (M)	Присутня колонія бактерій. Більше 50 °С	8–16
Слизоутворювальні гриби (Mucus forming fungi)	SG 0 (MFF)	Відсутня колонія бактерій	0–1
	SG 1 (MFF)	Присутня колонія бактерій	1–2
	SG 2 (MFF)	Присутня колонія бактерій, 0 °С – 20 °С	2–4
	SG 3 (MFF)	Присутня колонія бактерій, 20 °С – 50 °С	4–8
	SG 4 (MFF)	Присутня колонія бактерій. Більше 50 °С	8–16
Вуглеводневі мікроорганізми (Hydrocarbon microorganisms)	SG 0 (HM)	Відсутня колонія бактерій	0–1
	SG 1 (HM)	Присутня колонія бактерій	1–2
	SG 2 (HM)	Присутня колонія бактерій, 0 °С – 20 °С	2–4
	SG 3 (HM)	Присутня колонія бактерій, 20 °С – 50 °С	4–8
	SG 4 (HM)	Присутня колонія бактерій. Більше 50 °С	8–16

Живильним середовищем для розповсюдження мікробів та бактерій є колонії грибів та мікроорганізмів. Значення коефіцієнтів впливу грибів і мікроорганізмів на швидкість розповсюдження мікробів та бактерій в залежності від концентрації грибів та мікроорганізмів (ГМ) СВБ приведені в таблиці 10.

Висновки. Наведена методика може бути використана при розрахунках величини пошкоджень сталевих конструкцій, що працюють у ґрунті, на заданий період експлуатації, розрахунках на довговічність та стійкість до техногенних впливів з урахуванням накопичених пошкоджень.

- [1] ДСТУ Б В.2.6-193 2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – К.: Мінрегіонбуд України.
- [2] СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 Минрегиона России.

- [3] ДСТУ 3291-95 Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд. Єдина система захисту від корозії та старіння. – К.: Держстандарт України.
- [4] *Матченко П.Т.* Методика оцінки довговічності залізобетонних конструкцій, що працюють в ґрунті. // Будівельні конструкції. – Вип. 73, 2010. – С. 617–628.

Надійшла 05.10.2015 р.