



УДК 539.3:624.014:620.169.1

И.Н.Гатауллин

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Прогнозирование развития коррозионного износа осуществляется с определенным временным упреждением t_y , которое является суммой двух слагаемых:

$$t_y = t_n + t_3, \quad (1)$$

где t_n - время интерполяции - участок кривой, полученный экспериментальным путем; t_3 - время экстраполяции - участок кривой, определенный методом прогнозирования. Очевидно, с увеличением времени интерполяции достоверность результатов прогноза увеличивается. Напротив, бесконечное увеличение времени экстраполяции может привести к недопустимой погрешности результатов прогноза. Таким образом, степень достоверности результатов прогноза зависит от соотношения времени t_3 и t_n :

$$k_y = t_3 / t_n, \quad (2)$$

где k_y - коэффициент временного упреждения.

На основе экспериментальных закономерностей $\delta_k(t)$, полученных различными авторами в разное время в различных агрессивных условиях, производились сравнительные оценки расчетных и опытных данных по

прогнозированию коррозионного износа. Все экспериментальные данные относились к стальным образцам, коррозионные испытания которых проводились в закрытых промышленных зданиях, в открытой атмосфере и в ускоренных коррозионных камерах. В качестве основных показателей коррозионного износа принимались максимальные удельные потери массы металла (G_k , г/м²) или глубина коррозии (δ_k , мм).

В основу алгоритма расчета коррозионного износа с помощью ЭВМ заложены разработанные нами модель и методика прогнозирования [1]. Модель коррозионного износа имеет дробно-параболический вид:

$$\delta(t) = \delta_{ky} \frac{t^2}{T_2^2 + T_1 t + t^2}, \quad (3)$$

где: t - время;

T_1 - коэффициент затухания коррозионного износа;

T_2 - коэффициент инерции коррозии металла в данной среде;

Таблица 1

Результаты расчета развития электрохимической коррозии стали по трем точкам
(экспериментальные исследования выполнены в условиях периодического смачивания металлических образцов морской водой на Каспийском море)

Номер серии эксперимента	Экспериментальные данные		Расчетные данные				
	время коррозии t , годы	глубина коррозии δ_k^* , мм	T_1 , годы	T_2 , годы	δ_{ky} , мм	глубина коррозии δ_k , мм	относительная погрешность Δ_i^* , %
1	0,652	0,205	4,967	-0,991	1,289	0,205	0
	1,000	0,259				0,259	0
	2,014	0,400				0,400	0
	3,315	0,583				0,535	8,205
	6,000					0,716	
	8,000					0,803	
	10,00					0,867	
2	0,652	0,235	9,813	-1,692	2,837	0,235	0
	1,000	0,311				0,311	0
	2,014	0,520				0,520	0
	3,315	0,696				0,745	-7,083
	6,000					1,096	
	8,000					1,289	
	10,00					1,444	
3	0,652	0,092	0,314	0,254	0,191	0,092	0
	1,000	0,112				0,122	0,001
	2,014	0,157				0,157	-0,001
	3,315	0,194				0,171	11,778
	6,000					0,181	
	8,000					0,183	
	10,00					0,185	



$\delta_{ку}$ - установившееся значение глубины коррозии;
 $\delta(t)$ - функция глубины коррозии металла по времени.

Модель (3) достаточно полно описывает коррозионный износ по времени, коэффициент T_2 учитывает изменение глубины коррозии в начальный момент времени, а коэффициент T_1 - после образования защитного слоя продуктов коррозии. Например, для стали в начальный момент характерными являются низкая скорость коррозии (период существования первичной защитной пленки) и большая скорость коррозии при ее дальнейшем развитии. При длительной коррозии и при возникновении значительно утолщенных слоев ржавчины проявляется защитное действие продуктов коррозии. Параметры $\delta_{ку}$, T_1 и T_2 модели (3) изменяются в зависимости от марки стали, агрессивной среды, режима испытания и др.

Прогнозирование коррозионного износа производилось по трем экспериментальным точкам, а остальные точки использовались для определения погрешности расчета. Относительные погрешности расчета определялись путем сопоставления вычисленных на ЭВМ данных с фактическими. Расчетные данные получены в виде таблиц (табл. 1, 2, 3).

А.А.Фархадовым выполнены экспериментальные исследования в условиях периодического смачивания металлических образцов морской водой [2]. Образцы установлены над поверхностью воды и смачивались лишь при волнении моря. Кривая "коррозия - время" получена за период испытания 1210 суток. Испытания проводились

на Каспийском море, съем образцов производился четыре раза через 8 месяцев, 1 год, 2 года, 3 года и 1 месяц. В таблице 1 приведены результаты, полученные при прогнозировании по трем экспериментальным точкам. Время интерполяции $t_n=2$ года. Расчетные данные развития коррозионного износа получены на 10 лет. В интервале экстраполяции при $t_3=3$ года и 1 месяц произведена сравнительная оценка расчетных данных прогноза с экспериментальными значениями глубины коррозионного износа δ_k^* . Относительная погрешность прогнозирования Δ_4 для первой кривой "коррозия-время" составляет 8,205%, для второй - 7,083%, а для третьей - 11,778%.

Н.П. Жук, А.Ф. Притула, В.А. Притула и Н.Д. Томашев получили экспериментальные данные в течение 10 лет [2]. Испытания проводились в атмосферных условиях, съем образцов производился семь раз через 1,2, 3, 4, 6, 8 и 10 лет. В таблице 2 приведены результаты, полученные при прогнозировании по трем экспериментальным точкам. Время интерполяции $t_n=3$ года. Расчетные данные развития коррозионного износа получены на 10 лет. В интервале экстраполяции ($3 < t_3 \leq 10$) произведена сравнительная оценка расчетных данных прогноза с экспериментальными значениями глубины коррозионного износа δ_i^* , где $i=4, 5, 6, 7$. Относительная погрешность прогнозирования Δ_7 для первой кривой "коррозия-время" составляет -6,681%, для второй - 5,813%, для третьей 17,008%.

Таблица 2

Результаты расчета развития электрохимической коррозии стали по трем точкам
 (экспериментальные исследования выполнены в атмосферных условиях)

Номер серии эксперимента	Экспериментальные данные		Расчетные данные				
	время коррозии t, годы	глубина коррозии δ_k^* , мм	T_1 , годы	T_2 , годы	$\delta_{ку}$, мм	глубина коррозии δ_k , мм	Относительная погрешность Δ_i^* , %
1	1	0,96	3,563	-1,125	3,300	0,960	0
	2	1,32				1,320	0,001
	3	1,60				1,600	0
	4	1,76				1,813	-3,006
	6	2,00				2,112	-5,604
	8	2,20				2,311	-5,066
	10	2,30				2,454	-6,681
2	1	0,850	1,027	0,031	1,750	0,850	0
	2	1,150				1,150	-0,001
	3	1,300				1,300	0,001
	4	1,400				1,390	0,718
	6	1,490				1,493	-0,183
	8	1,495				1,550	-3,667
	10	1,499				1,586	-5,813
3	1	2,00	-0,150	0,815	3,330	2,000	0
	2	2,95				2,950	0,001
	3	3,20				3,200	0
	4	3,50				3,286	6,124
	6	3,85				3,338	13,305
	8	4,00				3,350	16,249
	10	4,04				3,353	17,008



Таблица 3

Результаты расчета развития электрохимической коррозии стали по трем точкам
(экспериментальные исследования выполнены на атмосферных коррозионных станциях)

Номер серии эксперимента	Экспериментальные данные		Расчетные данные				
	время коррозии t, годы	глубина коррозии δ_k^* , мм	T ₁ , годы	T ₂ , годы	δ_{ky} , мм	глубина коррозии δ_k , мм	относительная погрешность Δ_i^* , %
1	1,250	0,076	0,232	1,284	0,153	0,076	0
	3,167	0,127				0,127	0,002
	6,000	0,142				0,142	-0,002
	11,000	0,159				0,148	6,999
	16,000					0,150	
	20,000					0,150	
	30,00					0,151	
2	1,250	0,027	3,371	1,350	0,123	0,027	0
	3,167	0,056				0,056	0,002
	6,000	0,077				0,077	0,001
	11,000	0,088				0,093	-6,209
	16,000					0,101	
	20,000					0,105	
	30,00					0,111	
3	1,250	0,034	2,975	-0,961	0,094	0,034	0
	3,167	0,051				0,051	0,001
	6,000	0,064				0,064	0
	11,000	0,081				0,074	8,054
	16,000					0,080	
	20,000					0,082	
	30,00					0,086	

В таблице 3 приведены результаты, полученные при прогнозировании коррозионного износа стальных образцов по трем экспериментальным точкам. Экспериментальные данные получены институтом физической химии на атмосферных коррозионных станциях, расположенных в различных климатических зонах [2]. Испытания были проведены в течение 11 лет, съем образцов производился четыре раза через 1 год и 3 месяца, 3 года и 2 месяца, 6 и 11 лет. Время интерполяции $t_n=6$ лет. Расчетные данные развития коррозионного износа получены на 30 лет. В интервале экстраполяции ($6 < t_3 \leq 30$) при $t_3=11$ лет произведена сравнительная оценка расчетных данных прогноза с экспериментальными значениями глубины коррозионного износа δ_4^* . Относительная погрешность прогнозирования Δ_4 для первой кривой “коррозия-время” составляет 6,999%, для второй - 6,209%, для третьей - 8,054%.

Анализ полученных результатов расчета в зоне интерполяции показал, что аппроксимация трех экспериментальных точек с помощью дробно-параболической модели дает ничтожно малые погрешности ($\Delta_{max}=0,004$). Участки экстраполяционных кривых, определенных по трем точкам, вполне удовлетворительны. Это условие можно обнаружить из таблиц (табл. 1, 2, 3). Опытным путем на основе соответствующей обработки значительных массивов расчетных данных (полученных с помощью ЭВМ) нами

определена зависимость средней погрешности прогнозирования Δ_{cp} от коэффициента временного упреждения k_t в виде уравнения параболы

$$\Delta_{cp}^2 = 33 k_t. \quad (4)$$

Средняя погрешность предсказания развития коррозии достаточно низкая и не превышает $\Delta_{cp}=10\%$, что, по-видимому, является вполне удовлетворительным для практики результатом.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований, полученные различными авторами в различных агрессивных эксплуатационных средах, позволили показать адекватность разработанной методики прогнозирования коррозионного износа металлических конструкций.

Литература

1. Якупов Н.М., Гатауллин И.Н., Хисматуллин Р.Н. Обследование, анализ и прогнозирование долговечности строительных конструкций и рекомендации по их восстановлению. Методическое руководство. - Казань: ИММ РАН, 1996. - 208 с.
2. Цикерман Л.Я. Диагностика коррозии трубопроводов с применением ЭВМ. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1977. - 319 с.