A 05.02.01
M-252

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ ԱՐՏԱԿ ԳԱԳԻԿԻ

ԼԻՍԵՌՆԵՐԻ ԿՈՌՈԶԻՈՆ ՀՈԳՆԱՃԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՆՈՐ ՄԵԹՈԴ ԵՎ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Ե.02.01 - «Մեքենագիտություն» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2006

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

МАРГАРЯН АРТАК ГАГИКОВИЧ

НОВЫЙ МЕТОД И ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ ВАЛОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – "Машиноведение"

ЕРЕВАН 2006

© National Library of Armenia OCR by Portmind

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի Պետական Ճարտարագիտական Համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝
տ.գ.դ., պրոֆ. Միհրան Գրիգորի Ստակյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
տ.գ.դ., պրոֆ. Համլետ Գուրգենի Շեկյան
տ.գ.թ., դոց. Հարություն Վարոսի Սիմոնյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ "Ինտերստանոկ ԳԱՁ" ԲԲԸ

Պաշտպանությունը կայանալու է «2» մայիսի 2006թ., ժ. 13:00.
034 մասնագիտական խորհրդի նիստում,
Հայաստանի Պետական Ճարտարագիտական Համալսարանում:

Սեղմագիրն առաքված է «1» ապրիլի 2006թ.:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՊՃՀ գրադարանում:

034 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
տ.գ.թ., դոցենտ՝ Մ. Գ. Հարությունյան

Тема диссертации утверждена в Государственном Инженерном Университете Армении

Научный руководитель:
д.т.н., проф. Мигран Григорьевич Стакян
Официальные оппоненты:
д.т.н., проф. Гамлет Гургенович Шекян
к.т.н., доц. Арутюн Варосович Симонян

Ведущая организация: "Интерстанок НПП" ОАО

Защита диссертации состоится "2" мая 2006г. в 13:00,
на заседании специализированного совета 034,
в Государственном Инженерном Университете Армении.

Автореферат разослан "1" апреля 2006г.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГИУА.

Ученый секретарь специализированного совета 034,
к.т.н., доцент М. Г. Арутюнян

1403-2006

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эксплуатация машин и конструкций в открытых условиях и обеспечение их необходимой надежности в корне отличаются от аналогичных требований, предъявляемых к машинам, работающим в закрытых помещениях. В первом случае имеет место воздействия нескольких механизмов коррозионно-усталостного разрушения, в связи с чем возникновение и развитие трещин в деталях и узлах машин носят непрерывный характер. Поэтому для подобных конструкций приемлемо параллельное проведение расчетов на прочность и долговечность и часто приоритетным является второй вид расчета.

Повышение нагруженности и энерговооруженности с одновременным снижением материалоемкости машин привело к значительному росту напряженности в конструкциях и повышению вероятности их разрушения. В этих условиях уточнение и совершенствование расчетов сопротивления коррозионной усталости с учетом всех повреждающих факторов является актуальной задачей проектирования машин.

Цель и задачи работы. Целью работы является: уточнение методов расчета сопротивления коррозионной усталости деталей машин, работающих при атмосферном воздействии, с учетом реальных условий работы и особенностей действующих факторов.

Задачами работы являются:

- классификация испытаний на коррозионную усталость и составление программы их сравнительной оценки;
- выявление закона изменения координат точки перегиба квантильных линий коррозионной усталости;

© National Library of Armenia

• установление функциональных связей между показателями сопротивления коррозионной усталости и параметрами действующих факторов;

• вероятностная оценка сопротивления усталости деталей машин с помощью функций коэффициентов относительной прочности и долговечности при отдельном и совместном действиях факторов;

• построение комплексных номограмм с помощью указанных функций коэффициентов, для их определения графическими методами;

• создание программных средств для выполнения расчетно-графических процедур.

Метод исследования. Методами системного анализа проведена классификация ранее выполненных испытаний на коррозионную усталость и составлен план их сравнительной оценки. При расчете параметров уравнений квантильных линий усталости применен аппарат теории вероятностей и математической статистики. Для установления функциональных связей между показателями сопротивления усталости и параметрами действующих факторов применен метод наименьших квадратов (МНК). Для графического представления связей между изучаемыми параметрами применен метод номографии и построены комплексные номограммы. С целью автоматизации расчетно-графических процедур с применением стандартных функций и прикладной программы *MathCad* составлена вычислительная программа SMMA (48 кБт).

Научная новизна работы. Получена следующая научная новизна, которая выносится на защиту:

• закономерность изменения точек перегиба квантильных линий усталости от действия различных факторов;

• получены уравнения показателей сопротивления коррозионной усталости и коэффициента концентрации в интервале $\alpha_\sigma = 1{,}00 \ldots 3{,}25$;

• создана двухуровневая иерархическая система для оценки результатов испытаний валов на воздухе и в коррозионных средах, при раздельном и совместном действиях факторов (от 2 до 4);

• получены функции коэффициентов относительной прочности и долговечности, которые в интервалах долговечностей $N = 10^5 \ldots 10^8$ и уровней вероятности неразрушения $P(N) = 10 \ldots 99{,}9\,\%$ производят оценку сопротивления усталости валов;

• произведено программное обеспечение расчетно-графических процедур данного исследования.

Практическая ценность работы. Экспериментальная часть исследования максимально приближена к реальным условиям работы валов указанных машин при атмосферном воздействии. На этой основе разработан расчетно-графический метод расчета, который позволяет для валов передаточных механизмов произвести вероятностную оценку их циклической прочности и долговечности, для установления обоснованных сроков службы машин.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации и рекомендации доложены на ежегодных научно-технических конференциях профессорского-преподавательского состава и аспирантов ГИУА за 2004-2005 гг., а также на Международной конференции молодых научных работников "Информационные технологии" (г. Ереван, 2005 г.). Результаты исследования опубликованы в 12 статьях и тезисах докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и рекомендаций, списка

© National Library of Armenia

литературы, включающего 156 наименований, приложения. Работа изложена на 122 страницах, содержит 35 рисунка и 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и задачи работы, представлены метод исследования и научная новизна, практическая значимость, апробация работы и публикации.

В первой главе показано, что ранее выполненные испытания на коррозионную усталость, в основном, имели целью изучить физические аспекты коррозионно-усталостного разрушения и выявить действующие на микроструктурном уровне внутренние механизмы (адсорбционный, электрохимический, механический), которые отличаются от таковых, действующих на воздухе. Эти испытания относились к решению отдельных задач, которые были продиктованы условиями эксплуатации машин. Рассмотрены математические модели процесса коррозионной усталости в виде единого степенного уравнения, дву- или трехзвенных ломаных линий в различных системах координат. Дан обзор методов расчетного определения параметров уравнения коррозионной усталости. Показано, что нет четко сформулированных расчетных методов, с помощью которых можно было бы в интервале $N = 10^5 \ldots 10^8$ выполнить обоснованные расчеты на циклическую прочность и долговечность деталей машин.

Вторая глава посвящена методике выполнения испытаний на коррозионную усталость и расчетным схемам обработки экспериментальных данных. Рассмотрены виды коррозионных камер, встроенных в конструкциях специальных и стандартных машин на усталость и

воспроизводящих режим коррозионного воздействия. Представлена кинематическая схема машины на усталость, сконструированной на кафедре машиноведения ГИУА, которая испытывает круглые стальные образцы со струйной подачей жидкости (вода, 3%-й раствор $NaCl$), нагружает их совместным круговым изгибом и вращающим моментом. Кривые коррозионной усталости получены в виде двузвенных семейств квантильных линий усталости в координатах ($\lg\sigma - \lg N$): на воздухе —

$$\lg N = (\overline{\lg N} + z_P s_{Nr}) - (\overline{m} + z_P s_m)(\lg\sigma - \overline{\lg\sigma}) = C - m\lg\sigma, \quad (1)$$

$$\sigma_R = \overline{\sigma_R}(1 + z_P v_{\sigma R}), \quad \lg N_G = C - m\lg\sigma_R, \quad (2)$$

в коррозионной среде: левая ($N < N_{Gk}$), правая ветви —

$$\lg N = (\overline{\lg N_k} + z_P s_{Nrk}) - (\overline{m_k} + z_P s_{mk})(\lg\sigma - \overline{\lg\sigma_k}) = C_k - m_k \lg\sigma, \quad (3)$$

$$\lg N = (\overline{lgN_k'} + z_P s_{Nrk}') - (\overline{m_k'} + z_P s_{mk}')(\lg\sigma - \overline{\lg\sigma_k'}) = C_k' - m_k' \lg\sigma, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \lg\sigma_{Rk} &= (C_k - C_k')/(m_k - m_k'), \\ \lg N_{Gk} &= (C_k/m_k - C_k'/m_k')/(1/m_k - 1/m_k'), \end{aligned} \quad (5)$$

где $m_{(k)}^{()} = \overline{m_{(k)}^{()}} + z_P s_{m(k)}^{()}$, $C_{(k)}^{()} = \overline{C_{(k)}^{()}} + z_P s_{C(k)}^{()}$, $\overline{m_{(k)}^{()}} = \overline{r_{(k)}^{()}} / s_{N(k)}^{()2}$,

$$\overline{C_{(k)}^{()}} = \overline{m_{(k)}^{()}} \lg\sigma_{(k)}^{()} + \overline{\lg N_{(k)}^{()}}, \quad s_{m(k)}^{()} = (s_{N(k)}^{()} / s_{\sigma(k)}^{()}) \sqrt{(1 - \overline{r_{(k)}^{()2}})(n-1)/(n-2)},$$

$$s_{Nr(k)}^{()} = s_{N(k)}^{()} \sqrt{(1 - r_{(k)}^{()2})(n-1)/(n-2)}, \; s_{C(k)}^{()} = s_{Nr(k)}^{()} + s_{m(k)}^{()} \overline{\lg\sigma_{(k)}^{()}}, \quad (6)$$

$$\overline{r_{(k)}^{()}} = \mu_{(k)}^{()} / s_{N(k)}^{()} s_{\sigma(k)}^{()}, \quad \overline{\lg N_{(k)}^{()}} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} \lg N_{i(k)}^{()}, \quad \overline{\lg\sigma_{(k)}^{()}} = \frac{1}{n}\sum_{n}^{1} \lg\sigma_{i(k)}^{()},$$

$$s_{N(k)}^{()} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n} (\lg N_{i(k)}^{()} - \overline{\lg N_{(k)}^{()}})^2}, \quad s_{\sigma(k)}^{()} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n} (\lg\sigma_{i(k)}^{()} - \overline{\lg\sigma_{(k)}^{()}})^2},$$

$$\mu_{(k)}^{()} = \frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n} (\lg N_{i(k)}^{()} - \overline{\lg N_{(k)}^{()}})(\lg\sigma_{i(k)}^{()} - \overline{\lg\sigma_{(k)}^{()}}),$$

а также вариационные коэффициенты:

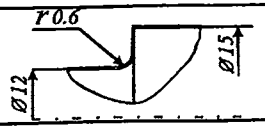
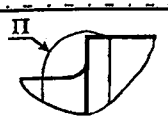
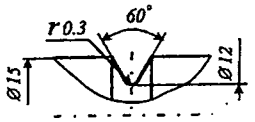
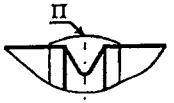
$$v_{C(k)}^{()} = s_{C(k)}^{()} / \overline{C_{(k)}^{()}}, \quad v_{m(k)}^{()} = s_{m(k)}^{()} / \overline{m_{(k)}^{()}}, \quad v_{N(k)}^{()} = s_{Nr(k)}^{()} / \overline{\lg N_{(k)}^{()}}. \quad (7)$$

© National Library of Armenia

Для выявления функциональных связей между рассмотренными параметрами кривых усталости и действующих факторов применен МНК для определения коэффициентов уравнений: $\bar{y}_x = a + bx$; $\bar{y}_x = a + b/x$; $\bar{y}_x = a + bx + cx^2$.

В табл. 1 приведены конструкции образцов (сталь 45, нормализация, $\sigma_B = 680\ МПа$, $\sigma_T = 427\ МПа$, $HB = 190...210$), условия испытаний и предварительные результаты.

Таблица 1

№	Конструкция образца	Обозн. серии	τ/σ	Среда	$\lg \overline{N}_G$	$\overline{\sigma}_R$, МПа
1	Гладкий, $d = 12\ мм$	Гл1	0	Воздух	6,2013	280
2		Гл2	0,3		6,3669	272
3		Гл3	0,6		6,3989	260
4		Гл4	0	Вода	6,4907	215
5		Гл5	0,3		6,5705	200
6		Гл6	0,6		6,5119	155
7		Гл7	0,6	3%-й NaCl	6,4891	145
8		Г1	0,6	Воздух	6,4008	160
9		Г2		Вода	6,1671	125
10		ГП1		Воздух	6,4557	170
11		ГП2		Вода	6,2519	140
12		В1		Воздух	6,3954	135
13		В2		Вода	6,1076	85
14		ВП1		Воздух	6,2510	155
15		ВП2		Вода	6,5704	95

В третей главе показано, что несмотря на большое разнообразие в характере повреждений действующих факторов, квантильные линии коррозионной усталости и точки перегиба этих линий перемещаются в область меньших значений N и σ (рис. 1).

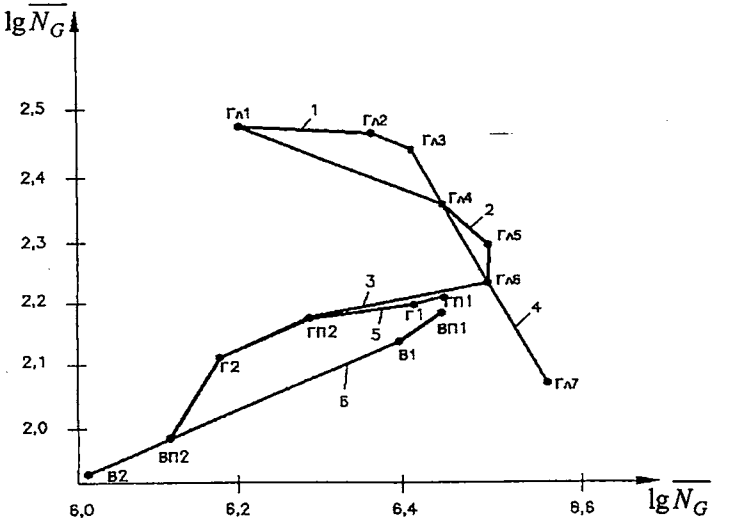


Рис. 1. Влияние факторов на координаты точек перегиба медианных линий усталости: 1, 2 — режима нагружения на воздухе и в средах; 3 — концентрация напряжений в средах; 4 — влияние сред; 5, 6 — среды и защитных покрытий

Предварительный графический анализ данных указывает на прямолинейную связь между координатами (табл. 2):

$$\lg \overline{\sigma_{R(k)}} = A_i + B_i \lg \overline{N_{G(k)}}, \qquad (8)$$

Из анализа данных на рис. 1 и в табл. 2 можно заключить, что основными факторами, являются среда и концентрация напряжений. Аналогичное исследование по концентрации напряжений приводит к группировке показателей сопротивления усталости по следующим законам:

$$1.\ y_{xi} = a_i + b_i x, \quad s_{Ck}, s_{mk}, s_{Nrk}, s'_{Nrk}, v_{Nk}, v'_{Nk} = f_i(\alpha_\sigma),$$

$$2.\ y_{xi} = a_i + b_i / x, \quad \lg \sigma_{Rk}, \lg N_{Gk} = f_i(\alpha_\sigma), \qquad (9)$$

© National Library of Armenia

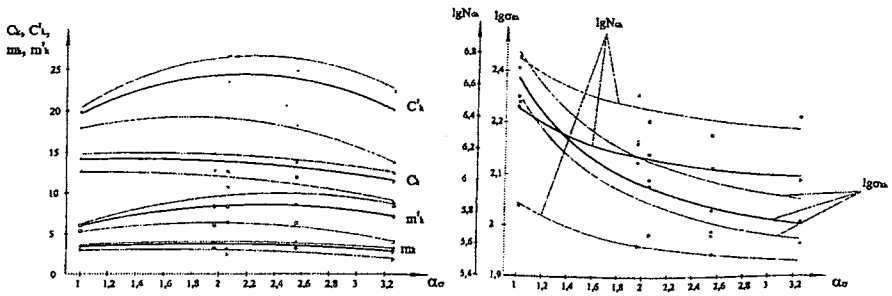
3. $y_{xi} = a_i + b_i x + c_i x^2, \quad C_k, C'_k, m_k, m'_k, s'_{Ck}, s'_{mk}, v_{Ck}, v'_{Ck}, v_{mk}, v'_{mk} = f_i(\alpha_\sigma)$.

Таблица 2

Значения параметров функций (11)

No	Действующий фактор	Серии испытаний	A_i	B_i
1	Режим нагруж. на воздухе	Гл1 – Гл2 – Гл3	3,282	–0,134
2	То же, в воде	Гл4 – Гл5 – Гл6	12,929	–1,642
3	Концентрация напряжений	Гл6–ГП2–Г2–ВП2–В2	–1,856	0,636
4	Среда	Гл3 – Гл6 – Гл7	12,169	–1,526
5	Среда и покрытие для галтели	ГП1 – Г1 – ГП2 – Г2	–0,752	0,462
6	То же, для выточки	ВП1 – В1 – ВП2 – В2	–1,035	0,497

Система уравнений (9) позволяет с высокой точностью, расчетным путем определить параметры уравнений квантильных линий коррозионной усталости для интервала $\alpha_\sigma = 1{,}00 \ldots 3{,}25$, общего для машиностроения, а с их помощью — производить вероятностную оценку циклической прочности и долговечности валов и их соединений, минуя дорогостоящие и длительные испытания на коррозионную усталость.



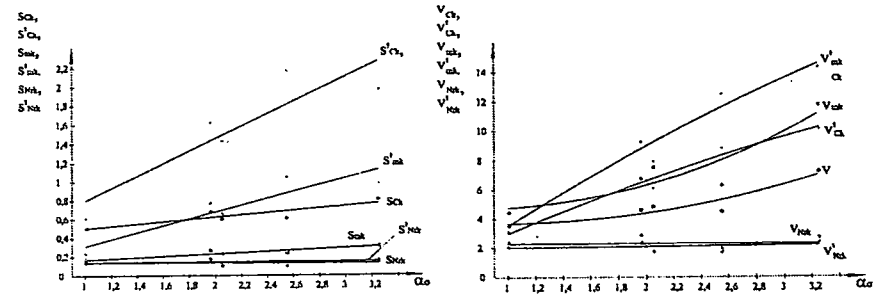


Рис. 2. Связь статистических параметров квантильных линий усталости от α_σ при $P(N) = 10{,}50$ и 99,9%

В четвертой главе методами системного анализа классифицированы результаты выполненных испытаний:

1-й уровень — сравнение данных, полученных на воздухе и в средах ("воздух-коррозионная среда", код ВС) и только в средах ("коррозионная среда-коррозионная среда", код СС);

2-й уровень — внутри из каждой групп ВС и СС рассмотрено влияние факторов: среды (pH), режима нагружения (τ/σ), концентрации напряжений (α_σ), полимерного покрытия (П) — раздельно или совместно (2, 3 и 4 фактора) с возможными вариантами их сочетаний. Всего получено 72 варианта сравнительных испытаний — 48 в ВС, 24 в СС (табл. 3, 4).

Таблица 3

Варианты относительной оценки испытаний на коррозионную усталость

No	Код	Влияние отдельного фактора			
		pH	τ/σ	α_σ	П
1	ВС	Гл4 – Гл1	–	–	–
2		Гл5 – Гл2	Гл6 – Гл4	Гл6 – Г2	ГП2 – Г2
3		Гл6 – Гл3	Гл6 – ГП4	Гл6 – В2	ВП2 – В2
4		Гл7 – Гл3	Гл5 – Гл6		
5		Г2 – Г1			
6		В2 – В1			
7		ГП2 – ГП1			
8		ВП2 – ВП1			
9	СС	Гл7 – Гл6			
10					

© National Library of Armenia

Продолж. табл. 3

No	Код	Совместное влияние факторов				
		$pH, \tau/\sigma$	pH, α_σ	pH, Π	$\tau/\sigma, \alpha_\sigma$	α_σ, Π
1	ВС	Гл4 – Гл2	Гл3 – Г2	ГП2 – Г1	–	–
2		Гл4 – Гл3	Гл3 – В2	ГП1 – Г2	Гл4 – Г2	Гл6 – ГП2
3		Гл5 – Гл1	Гл6 – Г1	ВП2 – В1	Гл4 – В2	Гл6 – ВП2
4		Гл5 – Гл3	Гл6 – В1	ВП1 – В2	Гл6 – Г2	
5		Гл6 – Гл1	Гл7 – Г1		Гл5 – В2	
6		Гл6 – Гл2	Гл7 – В1			
7		Гл7 – Гл1	Гл7 – Г2			
8		Гл7 – Гл2	Гл7 – В2			
9		Гл4 – Гл7				
10	СС	Гл5 – Гл7				

Оконч. табл. 3

No	Код	Совместное влияние факторов			
		$pH, \tau/\sigma, \alpha_\sigma$	pH, α_σ, Π	$\tau/\sigma, \alpha_\sigma, \Pi$	$pH, \tau/\sigma, \alpha_\sigma, \Pi$
1	ВС	Гл1 – Г2	Гл3 – ГП2	–	Гл1 – ГП2
2		Гл1 – В2	Гл3 – ВП2	Гл4 – ГП2	Гл1 – ВП2
3		Гл2 – Г2	Гл6 – ГП1	Гл4 – ВП2	Гл2 – ГП2
4		Гл2 – В2	Гл6 – ВП1	Гл5 – ГП2	Гл2 – ВП2
5		Гл4 – Г1	Гл7 – ГП1	Гл5 – ВП2	Гл4 – ГП1
6		Гл4 – В1	Гл7 – ВП1		Гл4 – ВП1
7		Гл5 – Г1	Гл7 – ГП2		Гл5 – ГП1
8		Гл5 – В1	Гл7 – ВП2		Гл5 – ВП1
9	СС				
10					

Таблица 4

Действующие факторы и их сочетания по группам испытаний ВС и СС

№	1		2		3		4	
	ВС	СС	ВС	СС	ВС	СС	ВС	СС
1	pH		$pH, \tau/\sigma$		$pH, \tau/\sigma, \alpha_\sigma$	-	$pH, \tau/\sigma, \alpha_\sigma, \Pi$	-
2	-	τ/σ	pH, α_σ		pH, α_σ, Π		-	
3	-	α_σ	pH, Π	-	-	$\tau/\sigma, \alpha_\sigma, \Pi$	-	
4	-	Π	-	$\tau/\sigma, \alpha_\sigma$	-		-	
5	-		-	α_σ, Π	-		-	

Оценку прочности деталей машин обычно производят коэффициентом влияния среды:

$$K_k = \sigma_{Rk}/\sigma_R \le 1. \qquad (13)$$

Учитывая ниспадающий характер квантильных линий коррозионной усталости, значения K_k в справочной литературе фактически являются осредненными и точечными оценками, соответствующими, примерно, точке перегиба указанных линий. Всем видам машин и оборудования, работающих в коррозионных средах, ставится ограничение срока их службы — для некоторых машин массового выпуска этот срок равен 5...7 г. работы. При этом приоритетным становятся расчеты на долговечность, что невозможно оценить коэффициентом (10). Немаловажным является также учет неизбежного рассеяния данных. Учитывая весь комплекс требований, оценку сопротивления коррозионной усталости предлагается произвести коэффициентами относительной прочности и долговечности

$$K_{\sigma k(f)} = \sigma_{Rk(f)}/\sigma_{R(f)}, \quad K_{Nk(f)} = N_{k(f)}/N_{(f)}, \qquad (11)$$

в которых значения σ и N рассчитаны согласно квантильным линиям усталости (индекс "f" указывает действие фактора). Учитывая $\lg K_{\sigma k(f)} = \lg \sigma_{Rk(f)} - \lg \sigma_{R(f)}$, $\lg K_{Nk(f)} = \lg N_{k(f)} - \lg N_{(f)}$, в координатах $(\lg \sigma - \lg N)$ коэффициенты (11) можно представить в виде функций, полученных совместимым решением (1)-(5) для сравнительных испытаний.

Сравнительные испытания "воздух-коррозионная среда" (группа ВС). Исходя из взаимного расположения семейств квантильных линий усталости, возможны следующие интервалы N и σ, в пределах которых вид функций $K_{\sigma k} = f_4(N, z_P)$ и $K_{Nk} = \varphi_4(\sigma, z_P)$ остается неизменным (табл. 5).

$S_1 = (C_k/m_k - C/m)$, $S_1' = (C_k'/m_k' - C/m)$, $S_2 = S_1 + \lg \hat{N}_G/m$, $S_2' = S_1' + \lg \hat{N}_G/m$,

© National Library of Armenia

$M_1 = (1/m_k - 1/m), M_1' = (1/m_k' - 1/m), M_2 = 1/m_k, M_2' = 1/m_k', \Delta C_1 = C_k - C,$
$\Delta C_1' = C_k' - C, \Delta C_2 = \Delta C_1 + m \lg \hat{\sigma}_R, \Delta C_2' = \Delta C_1' + m \lg \hat{\sigma}_{Rk}, \Delta m = m_k - m.$

Таблица 5

Классификация интервалов и функций $K_{\sigma k} = f_4(N, z_P)$, $K_{Nk} = \varphi_4(\sigma, z_P)$

	Интервалы N и σ			$K_{\sigma kf} = f_4(N, z_P), K_{Nkf} = \varphi_4(\sigma, z_P)$
1	N	I	$N < N_{Gk}$ $(N < N_G)$	$\lg K_{\sigma k} = S_1 - M_1 \lg N$
2		II	$N_{Gk} \le N \le N_G$ $(N_{Gk} \le N \le N_{Gkf})$	$\lg K_{\sigma k} = S_1' - M_1' \lg N$ $(= S_2 - M_2 \lg N)$
3		III	$N > N_G$ $(N > N_{Gk})$	$\lg K_{\sigma k} = S_2' - M_2' \lg N$
4	σ	I	$\sigma > \sigma_R$	$\lg K_{Nk} = \Delta C_1 - \Delta m \lg \sigma$
5		II	$\sigma_R \ge \sigma \ge \sigma_{Rk}$	$\lg K_{Nk} = \Delta C_2 - \Delta m_k \lg \sigma$
6		III	$\sigma < \sigma_{Rk}$	$\lg K_{Nk} = \Delta C_2' - \Delta m_k' \lg \sigma$

Вид и расположение указанных функций зависят от относительных величин

$$\delta_m = m_k/m, \quad \delta_c = C_k/C, \quad \delta_{NG} = \hat{N}_{Gk}/\hat{N}_G, \quad \delta_{SNr} = s_{Nrk}^2/s_{Nr}^2, \qquad (12)$$

которые классифицированы и представлены в виде таблиц. Для выполнения уточненных расчетов важным является получение вероятностных знячений $K_{\sigma k}$ и K_{Nk}, которые оцениваются отношением мер индивидуального рассеяния $\delta_{SNr(f)} = S_{Nrk(f)}/S_{Nr(f)}$: а) $\delta_{SNr(f)} < 1$ - с повышением уровня $P(N)$ значения $K_{\sigma k}$ и K_{Nk} увеличиваются; б) $\delta_{SNr(f)} \approx 1$ - $K_{\sigma k}$ и K_{Nk} инвариантны к изменению $P(N)$; в) $\delta_{SNr(f)} > 1$ - $K_{\sigma k}$ и K_{Nk} убывают.

Общая схема расчетов для определения коэффициентов (11), а также функциональные зависимости типа (9) позволяют многопараметрическую связь

$$F(\hat{\sigma}_{R(k)}, \hat{N}_{G(k)}, C_{(k)}^{()}, m_{(k)}^{()}, s_{C(k)}^{()}, s_{m(k)}^{()}, s_{Nr(k)}^{()}, z_P) = 0 \qquad (13)$$

использовать, помимо выполнения расчетных оценок, для графического определения $K_{\sigma k}$ и K_{Nk} с помощью

комплексных номограмм. Рассмотрим характерные случаи влияния факторов, когда сравниваются испытания: а) на воздухе, в воде и 3%-ом растворе $NaCl$ глядких образцов: (Гл6-Гл3), (Гл7-Гл3) - pH_1, pH_2 (рис. 3); б) на воздухе (гладкие образцы) и в воде (образцы с галтелью и полимерным покрытием), совместное действие двух и трех факторов: Гл3-Г2), (Гл3-ГП2) — (pH, α_σ), (pH, α_σ, Π) (рис. 4); в) на воздухе и в воде (гладкие образцы) при разных τ/σ, а также с галтелью и покрытием, действие одного, двух и четырех факторов: (Гл4-Гл1), (Гл5-Гл1), (Гл6-Гл1), (ГП2-Гл1) - pH, ($pH, \tau/\sigma_1$), ($pH, \tau/\sigma_2$), ($pH, \tau/\sigma, \alpha_\sigma, \Pi$) (рис. 5).

Сравнительные испытания "коррозионная среда - коррозионная среда" (группа СС). Этот случай менее исследован. Расчетная схема несколько осложнена, т.к. рассматриваются 4 семейства квантильных линий. Аналогично получены функции $K_{\sigma kf} = f_5(N, z_P)$ и $K_{Nkf} = \varphi_5(\sigma, z_P)$ (табл. 6).

Таблица 6

Классификация интервалов и функции $K_{\sigma kf} = f_5(N, z_P)$, $K_{Nkf} = \varphi_5(\sigma, z_P)$

	Интервалы N и σ			$K_{\sigma kf} = f_5(N, z_P), K_{Nkf} = \varphi_5(\sigma, z_P)$
1	N	I	$N < N_{Gkf}$ $(N < N_{Gk})$	$\lg K_{\sigma kf} = S_1 - M_1 \lg N$
2		II	$N_{Gkf} \le N \le N_{Gk}$ $(N_{Gk} \le N \le N_{Gkf})$	$\lg K_{\sigma kf} = S_1' - M_1' \lg N$ $(= S_1'' - M_1'' \lg N)$
3		III	$N > N_{Gk}$ $(N > N_{Gkf})$	$\lg K_{\sigma kf} = S_2 - M_2 \lg N$
4	σ	I	$\sigma > \sigma_{Rk}$	$\lg K_{Nkf} = \Delta C_1 - \Delta m_1 \lg \sigma$
5		II	$\sigma_{Rk} \ge \sigma \ge \sigma_{Rkf}$	$\lg K_{Nkf} = \Delta C_1' - \Delta m_1' \lg \sigma$
6		III	$\sigma < \sigma_{Rkf}$	$\lg K_{Nkf} = \Delta C_2 - \Delta m_2 \lg \sigma$

$S_1 = C_{kf}/m_{kf} - C_k/m_k$, $S_1' = C_{kf}'/m_{kf}' - C_k/m_k$, $S_1'' = C_{kf}/m_{kf} - C_k'/m_k'$,
$S_2 = C_{kf}'/m_{kf}' - C_k'/m_k'$, $M_1 = 1/m_{kf} - 1/m_k$, $M_1' = 1/m_{kf}' - 1/m_k$,

© National Library of Armenia

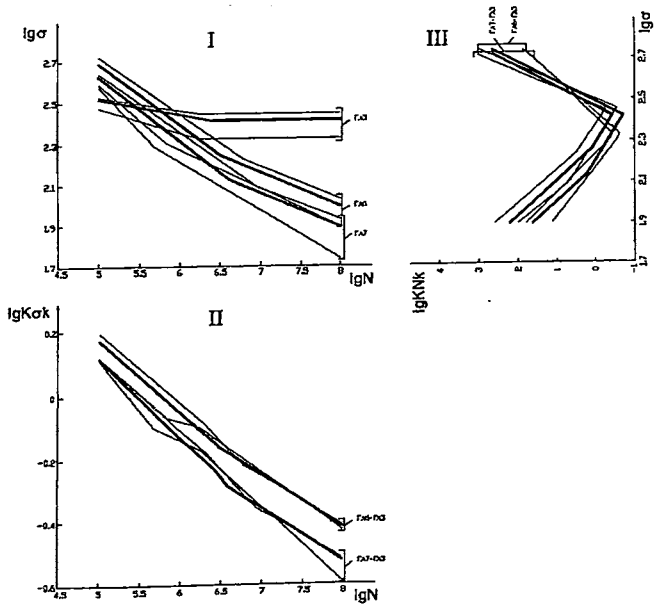


Рис. 3. Номограммы сравнительных испытаний (Гл6-Гл3) и (Гл7-Гл3).
Семейства квантильных линий: I-испытаний на усталость; II, III -
$K_{\sigma k} = f_4(N, z_P)$ и $K_{Nk} = \varphi_4(\sigma, z_P)$. Линии соответствуюу уровням вероятностей
$P(N) = 10,50$ и $99,9\%$.

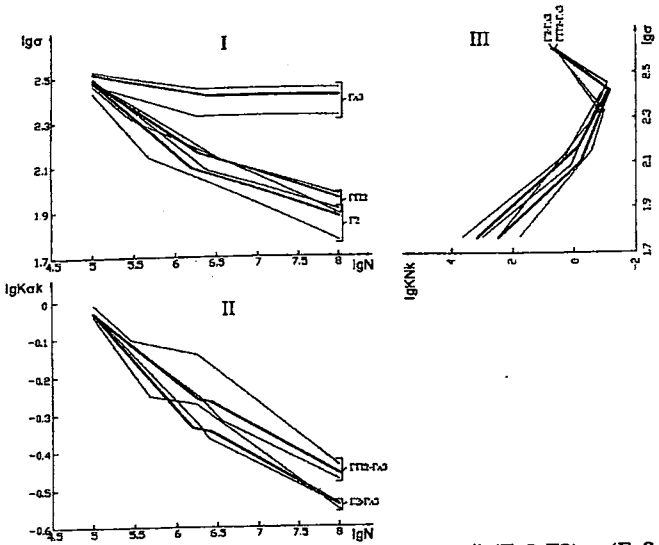


Рис. 4. Номограммы сравнительных испытаний (Гл3-Г2) и (Гл3-ГП2).
Обозначения аналогичны рис. 3.

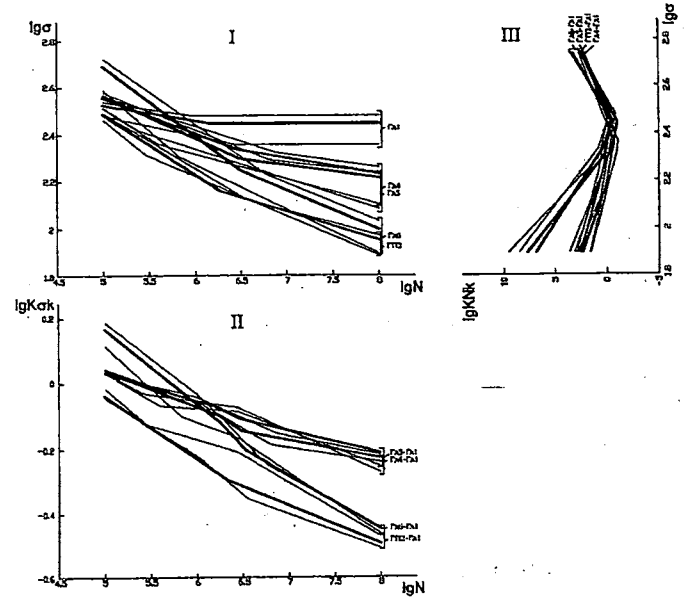


Рис. 5. Номограммы сравнительных испытаний (Гл4-Гл1), (Гл5-Гл1), (Гл6-Гл1), и (ГП2-Гл1). Обозначения аналогичны рис. 3.

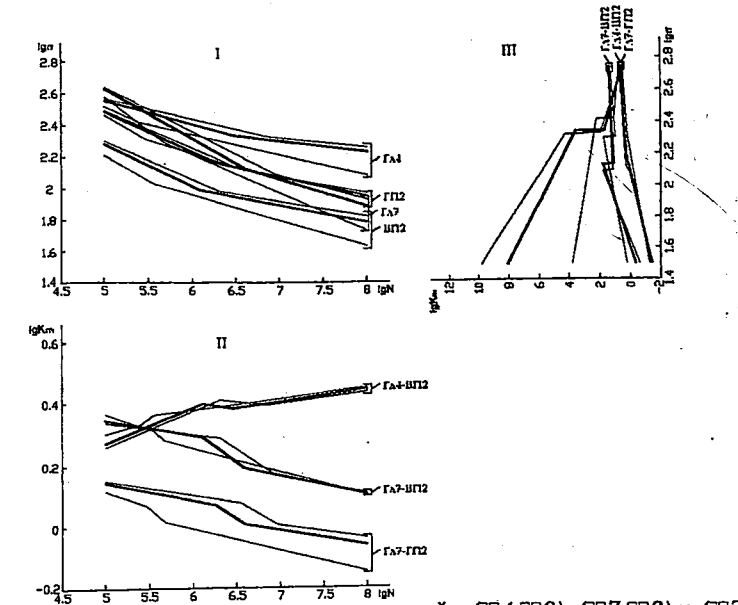


Рис. 6. Номограммы сравнительных испытаний . (□□4-□□2), (□□7-□□2) и (□□7-□□2).
Обозначения аналогичны рис. 3.

© National Library of Armenia

$M_1'' = 1/m_{kf} - 1/m_{kf}'$, $M_2 = 1/m_{kf}' - 1/m_k'$, $\Delta C_1 = C_{kf} - C_k$, $\Delta C_1' = C_{kf} - C_k'$, $\Delta C_2 = C_{kf}' - C_k'$, $\Delta m_1 = m_{kf} - m_k$, $\Delta m_1' = m_{kf} - m_k'$, $\Delta m_2 = m_{kf}' - m_k$

В отличие от первого случая, правые ветви семейств квантильных линий из-за вариативности их показателей вносят большое разнообразие в видах функций, число вариантов которых доходит до 45.

Номографический метод применен и для этого случая. Для краткости изложения рассмотрены следующие характерные варианты, когда сравниваются испытания в разных средах, при наличии концентрации напряжений и покрытий (Гл7-ВП2), (Гл7-ГП2) - (pH, α_σ, Π), в той же среде, но при разных режимах нагружения и при наличии концентраторов напряжений и покрытий (Гл4-ВП2) — ($\tau/\sigma, \alpha_\sigma, \Pi$): для изучения совместного действия трех факторов (рис. 6).

Для автоматизации указанных расчетно-графических процедур разработаны алгоритм и вычислительная программа (SMMA, 48 кБт). С ее помощью составляются вариационные ряды долговечностей N, а также двумерные корреляционные таблицы и расчитываются статистические показатели усталости (6), а по ним — параметры уравнений семейств квантольных линий (1), (3), (4) а также координаты точек перегиба (2), (5). Для выявления финкциональных связей между указанными показателями и параметрами действующих факторов МНК определяются коэффициенты зависимостей (8), (9).

Совместным решением уравнений (1)-(5) рассчитываются параметры функций (11) (табл. 5, 6), а по ним — значения этих коэффициентов для характерных точек в области многоцикловой усталости:

$K_{\sigma k(f)}$ - при $N = 10^5, 5\cdot10^5, 10^6, N_{Gk}, N_{Gk(f)}, 10^7$ и 10^8;

$K_{Nk(f)}$ - при $1{,}5\sigma_{R(k)}, 1{,}25\sigma_{R(k)}, \sigma_{R(k)}, \sigma_{Rk(f)}, 0{,}75\sigma_{R(k)}$ и $0{,}5\sigma_{Rk(f)}$.

Использованием прикладной программы *MathCad* строятся комплексные номограммы, объединяющие семейства квантильных усталости и функции коэффициентов $K_{\sigma kf} = f_{4,5}(N, z_P)$ и $K_{Nkf} = \varphi_{4,5}(\sigma, z_P)$.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выполненные ранее испытания на коррозионную усталость, в основном, были направлены для выявления физического аспекта данного вида разрушения, а также для решения задач, вытекающих из конкретных случаев проектирования машин. Эти испытания позволяет путем их классификации разработать уточненный метод расчета сопротивления коррозионной усталости валов.

2. Рассмотрены массовые испытания на коррозионную усталость стальных образцов ($d = 12$ *мм*) - гладких, с галтелью и радиальной выточкой, а также с полимерным покрытием, при струйном воздействии воды и 3%-ого раствора *NaCl*, нагруженных совместным круговым изгибом и кручением. Применен двухуровневый принцип классификации:

1-й уровень — сравнение испытаний на воздухе и в средах ("воздух-среда", код ВС) и только в средах ("среда-среда", код СС);

2-ой уровень — внутри каждой из групп ВС и СС рассмотрено влияние факторов — коррозионной среды, концентрации напряжений, режима нагружения, наличие защитных покрытий — раздельно или совместно, с различными вариантами их сочетаний (2, 3, и 4 фактора). Получено 72 варианта сравнений.

3. Независимо от количества и вариантов сочетания влияния факторов, под их действием точки перегиба квантильных линий коррозионной усталости перемещаются в

© National Library of Armenia

область низких значений σ и N. Методом наименьших квадратов получены функциональные связи между координатами точки перегиба.

4. Основными факторами, действующими на сопротивление коррозионной усталости, являются вид среды и концентрация напряжений. Для интервала $\alpha_\sigma = 1{,}00...3{,}25$, общего для валов с $d = 10...80$ *мм*, получены прямолинейные, гиперболические и параболические связи между α_σ и показателями сопротивления коррозионной усталости при $P(N) = 10...99{,}9\,\%$. Это позволяет без проведения сложных и длительных испытаний на расчетным путем получить вероятностные значения этих показателей, а по ним — произвести уточненную оценку прочности и долговечности валов.

5. Для количественной оценки влияния факторов предложены функции коэффициентов относительной прочности и долговечности, которые получены совместным решением уравнений семейств квантильных линий усталости. Исследованы виды этих функций в области многоцикловой усталости. Эти функции позволяют получить вероятностные значения циклических напряжений и долговечностей и значительно расширяют возможности данных, представленных в справочной литературе.

6. Рассмотрено изменение квантильных линий функций указанных коэффициентов в зависимости от отношений показателей сопротивления усталости, а также уровня $P(N)$. Дана вероятностная оценка этих коэффициентов, которая повышает точность и достоверность расчетов по ним.

7. Учитывая взаимосвязь между уравнениями семейств квантильных линий усталости и указанных функций коэффициентов, а также выявленные многопараметрические

связи, построены комплексные номограммы для графического определения коэффициентов для групп ВС и СС:
а) при действии единичного фактора; б) при совместном действии 2, 3 и 4 факторов.

8. Для выполнения расчетно-графических процедур составлена вычислительная программа (SMMA, 48 кБт), которая реализует:
формирование двумерных совокупностей данных испытаний на усталость; определение параметров уравнений квантильных линий усталости и функций коэффициентов относительной прочности и долговечности; расчет характеристических значений этих коэффициентов в области (σ, N); построение комплексных.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Մարգարյան Ա.Գ.** Մեքենամասերի կոռոզիոն հագնածային գործընթացի մոդելավորումը // ՀՊՃՀ տար. գիտաժող. նյութ. ժող.- Երևան, 2004.- Հ.1.-էջ 304-306.

2. **Стакян М.Г., Манукян М.А., Маргарян А.Г.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний // Вестник ИАА. — 2004. — Т.1. — N 1. — С. 83-90.

3. **Стакян М.Г., Манукян М.А., Маргарян А.Г.** Расчетная оценка сопротивления усталости и трещиностойкости деталей, работающих на воздухе и в коррозионых средах. Сообщ. 1. Математическая модель сравнительных испытаний на усталость и трещиностойкость // Вестник ИАА. — 2004. — Т.1. — N 2. — С. 220-225.

4. **Стакян М.Г., Манукян М.А., Маргарян А.Г.** Расчетная оценка сопротивления усталости и трещиностойкости деталей, работающих на воздухе и в коррозионых средах. Сообщ. 2. Расчетные схемы для определения коэффициентов прочности и долговечности // Вестник ИАА. — 2004. — Т.1. — N 4. — С. 660-667.

© National Library of Armenia

5. **Մարգարյան Ա.Գ.** Մեքենաների կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության գնահատման ալգորիթմը և ծրագրային ապահովումը // "Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ" Միջազգ. երիտ. գիտաժող. նյութ. ժող. - Երևան, 2005. - էջ 50-54:

6. **Մարգարյան Ա.Գ. Միրաքյան Գ.Գ.** Համեմատական կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության հաշվարկների կազմումը և ծրագրային ապահովումը // "Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ" Միջազգ. երիտ. գիտաժող. նյութ. ժող. - Երևան, 2005. - էջ 60-64:

7. **Մարգարյան Ա.Գ.** Մեքենամասերի կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների որոշման հաշվեգրաֆիկական մեթոդ // ՀԳԱԱ Եվ ՀՊՃՀ Տեղեկագիր, տեխն. գիտ. սերիա. - 2005. - Հ. LVIII, N3. - էջ 435-439:

8. **Ստակյան Մ. Գ., Մարգարյան Ա. Գ., Միրաքյան Գ.Գ.** Կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության գնահատման հաշվեգրաֆիկական մեթոդ // ՀՃԱԼ. – 2005. – Հ. 2, No. 3. - էջ 377-383:

9. **Ստակյան Մ. Գ., Մարգարյան Ա. Գ., Միրաքյան Գ.Գ.** Պողպատների կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության հաշվարկային մեթոդ // ՀՊՃՀ տար. գիտաժող. նյութ. ժող.- Երևան, 2005.- Հ.1.-էջ 304-306.

10. **Ստակյան Մ.Գ., Մարգարյան Ա.Գ.** Մեքենամասերի կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության հավանական գնահատման մեթոդ և ծրագրային ապահովում: Հաղորդում 1. Հաշվարկի մեթոդաբանությունը և "օդ - կոռոզիոն միջավայր" համեմատական փորձարկումների հաշվեգրաֆիկական գնահատումը // ՀՃԱԼ.–2005.–Հ.2, No. 4. - էջ 527-537.

11. **Ստակյան Մ.Գ., Մարգարյան Ա.Գ.** Մեքենամասերի կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության հավանական գնահատման մեթոդ և ծրագրային ապահովում: Հաղորդում 2. "Կոռոզիոն միջավայր - կոռոզիոն միջավայր" համեմատական փորձարկումների հաշվեգրաֆիկական գնահատումը // ՀՃԱԼ. – 2006. – Հ.3., No. 1. (տրվ. տպ.).

12. **Ստակյան Մ.Գ., Մարգարյան Ա.Գ., Մանուկյան Մ.Ա.** Կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության գնահատման մեթոդաբանությունը և հաշվարկների ավտոմատացումը // ՀԳԱԱ Եվ ՀՊՃՀ Տեղեկագիր, տեխն. գիտ. սերիա - 2006. - Հ. 59, No 1 - էջ 10 -18.

15.05.2014

Արտակ Գագիկի Մարգարյան

Լիսեռների կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների հաշվարկային նոր մեթոդ և հավանական գնահատում

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Աշխատանքը նվիրված է մթնոլորտային պայմաններում աշխատող մեքենաների և տեխնոլոգիական սարքավորման ծանրաբեռնված և պատասխանատու լիսեռների և "լիսեռ-կունդ" միացությունների կոռոզիոն հոգնածային դիմադրության հաշվարկային մեթոդների ճշգրտմանը և կատարելագործմանը:

Աշխատանքի 1-ին գլխում ցույց է տրված, որ կոռոզիոն հոգնածային փորձարկումների զգալի մասը վերաբերվում է քայքայման ֆիզիկական տեսակետների ուսումնասիրմանը և գործող մեխանիզմների (աղտորբցիոն, էլեկտրաքիմիական, մեխանիկական) բացահայտմանը, իսկ փորձարկումների կիրառական մասը նվիրված է նեղ, գործնական նշանակություն ունեցող խնդիրների լուծմանը, որոնք համակարգված բնույթ չեն կրել: Այդ պատճառով տվյալ բնագավառում դեռևս չկան հստակ ձևավորված հաշվարկային մեթոդներ:

Աշխատանքի 2-րդ գլխում դիտարկված են նման փորձարկումների համար անհրաժեշտ տեղեկայանքների և կոռոզիոն սարքերի աշխատանքի առանձնահատկությունները: Ցույց է տրված մեքենայի կինեմատիկական սխեման, որը թույլ է տալիս միջավայրի շիթային ներգործում (ջուր, 3% *NcCl* -ի լուծույթ), ծռման և ոլորման համատեղ ազդեցություն, լիսեռների իրական տեսքերով և պաշտպանիչ ծածկույթներով փորձանմուշների փորձարկումներ: Ներկայացված են արդյունքների մշակման արդի մեթոդներ գծային կոռելյացիայի վերլուծմամբ, ինչպես նաև նվազագույն քառակուսիների մեթոդը՝ հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների և ազդող գործոնների միջև կապեր հաստատելու համար:

Աշխատանքի 3-րդ գլխում համակարգային վերլուծության մեթոդով կատարված է փորձարկումների երկմակարդակային դասակարգում. 1-ին մակարդակում ձևավորված են երկու խումբ փորձարկումներ՝ տարբեր միջավայրերում աշխատող և միայն կոռոզիոն միջավայրում գործող մեքենամասերի համար, իսկ 2-րդ մակարդակում՝ հոգնածային դիմադրության վրա գործոնների առանձին կամ համատեղ ազդեցության դեպքերում: Ստացված են ուղղագծային, հիպերբոլային և պարաբոլային կապեր այդ մեծությունների միջև:

Աշխատանքի 4-րդ գլուխը նվիրված է հարաբերական ամրության և երկարակեցության գործակիցների ֆունկցիաների որոշմանը, որոնց շնորհիվ բազմացիկլային հոգնածության լայն տիրույթում կարելի է իրականացնել ամրության և երկարակեցության հավանականային գնահատումներ: Ուսումնասիրված են այդ ֆունկցիաների տեսքերն իրենց ծայրահեղ արժեքներով և դրանց քվանտիլային գծերի դասավորությունները: Առավել բնութագրական դեպքերում գործոնների առանձին և համատեղ ազդեցությունների համար կառուցված են նոմոգրամներ այդ գործակիցների հավանական արժեքներն արագ գրաֆիկական եղանակով որոշելու համար:

Նշված զգալի ծավալի վիճակագրական և հաշվեգրաֆիկական ընթացակարգերն իրականացնելու նպատակով ստեղծված է համակարգչային ծրագիր (SMMA, 48 կԲթ):

© National Library of Armenia

© National Library of Armenia