

УДК 620.191.33:620.194.8

DOI: 10.31471/2304-7399-2020-1(59)-111-122

## ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРУ ПОШИРЕННЯ КОРОЗІЙНО-ВТОМНИХ ТРІЩИН ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНОГО МЕТАЛУ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

**О. Ю. Витязь, Р. С. Грабовський**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. +38 (0342) 727182; e-mail: o.vytyaz@gmail.com*

*Для тривало експлуатованого металу досліджуваних елементів бурильних колон (сталь 45, 36Г2С, 40ХН) визначено закономірності поширення корозійно-втомних тріщин при бурінні свердловин в корозійних середовищах – буровому розчині «Біокар», полімеркалієвому буровому розчині та на повітрі. За отриманими результатами експериментальних досліджень побудовані діаграми циклічної корозійної тріщиностійкості для досліджуваних систем «метал – середовище». Визначено характеристики циклічної тріщиностійкості тривало експлуатованих металів елементів бурильних колон – значення констант ( $C$  та  $n$ ) у степеневої залежності Паріса, а також значення порогового та критичного коефіцієнтів інтенсивності напружень. Кількісно оцінено вплив бурових промивальних розчинів на корозійну тріщиностійкість досліджуваних металів елементів бурильних колон. Зокрема у середовищі бурового розчину «Біокар» процес розвитку корозійно-втомної тріщини в досліджуваних металах елементів бурильних колон не значно, в діапазоні 1-5%, відрізняється від розвитку втомної тріщини на повітрі. Тоді як у середовищі полімеркалієвого бурового розчину швидкість розвитку корозійно-втомної тріщини в досліджуваних металах елементів бурильних колон суттєво, в діапазоні 15-35%, відрізняється від розвитку втомної тріщини на повітрі. Встановлено, що під впливом робочих навантажень процес розвитку корозійно-втомної тріщини у тривало експлуатованих елементах бурильних колон відбувається на понад 10% більш прискорено у середовищі промивального полімеркалієвого бурового розчину ніж у середовищі промивального бурового розчину «Біокар».*

**Ключові слова:** *бурильна труба, полімер калієвий буровий розчин, буровий розчин «Біокар», діаграми циклічної корозійної тріщиностійкості, корозійно-втомні тріщини, коефіцієнт інтенсивності напружень.*

### **Вступ**

Під час діагностичних оглядів тривало експлуатованих елементів бурильних колон (бурильних труб та замкових з'єднань) встановлено, що значний відсоток виявлених в них пошкоджень пов'язаний із вини-

кненням зовнішніх та внутрішніх пів еліптичних корозійно-механічних тріщиноподібних дефектів на поверхнях яких утворюються мікротріщини (рис. 1 та рис. 2), подальший розвиток яких за корозійно-втомним механізмом призводив до аварійних ситуацій [1-4].

При роторному бурінні, внаслідок зародження біля концентратора напружень (впадина першого витка як зовнішньої так і внутрішньої різьби, корозійна виразка, технологічна риска, дефекти зварного шва, тощо) та розвитку магістральної тріщини до критичних розмірів в процесі експлуатації спричинених дією втомних навантажень, які діють на бурильну трубу та впливом промивальної рідини [2, 5-8], руйнування не супроводжується значними пластичними деформаціями, тому його важко своєчасно виявити. Найбільш часто зустрічається поперечне руйнування тіла бурильної труби в з'єднанні по потовщеному кінці, що складає 60-70 % від загального числа аварій [1, 3, 5, 9, 10, 11].

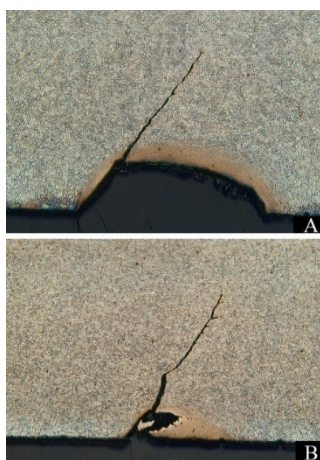


Рис. 1. Ініціювання тріщин біля корозійних виразок [2]

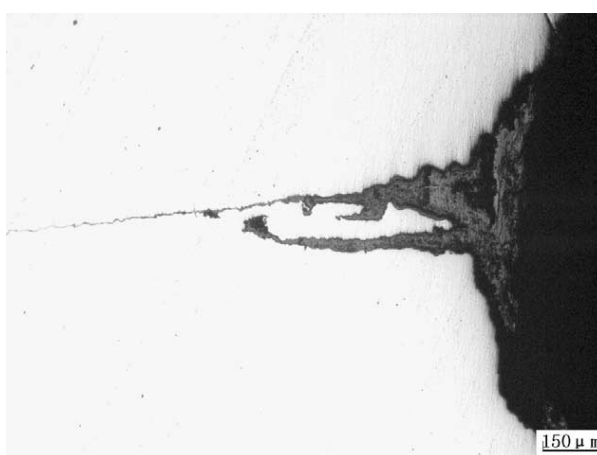


Рис. 2. Морфологія тріщин розпочалася від внутрішньої корозійної виразки [4]

На великих глибинах руйнування елементів бурових колон пов'язане із специфікою буріння і визначається домінуючим впливом відповідних силових факторів, тобто величиною, напрямом та характером експлуатаційних навантажень [12, 13], що виникають в процесі буріння та спуско-підймальних операцій, які спричиняють розвиток у місцях пошкоджень тріщин в поперечному перерізі тіла труби [2] або бурового замка [6, 7].

Забезпечити надійну роботу елементів бурильної колони та продовжити термін їх служби можна, діагностуючи фактичний стан металу та визначаючи характеристики опору поширенню тріщин у стінках бурильних труб та бурильних замків з урахуванням впливу параметрів навантаження та фізико-хімічних чинників бурильних розчинів [4, 14].

Для здійснення таких діагностичних оцінок на даний час широко використовуються сучасні підходи механіки руйнування [15, 16], які дають змогу визначити закономірності розвитку корозійно-втомних тріщин у стінках елементів бурильних колон, які представляють у вигляді діаграм циклічної корозійної тріщиностійкості, що є залежностями швидкості росту тріщини від коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_I$  або його розмаху  $\Delta K_I$ . Такі діаграми розміщені між двома його граничними значеннями: нижнім пороговим значенням  $K_{th}$  ( $\Delta K_{th}$ ), яке відповідає значенню  $K_I$ , при якому не відбувається ріст корозійно-втомної тріщини, і верхнім  $K_{fc}$  ( $\Delta K_{fc}$ ), яке відповідає значенню  $K_I$ , при якому настає спонтанний (катастрофічний) ріст тріщини. Причому, використовуючи степеневу функцію запропоновану Парісом в інтервалі зміни швидкостей розвитку тріщини  $dc/dN = 1 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-6}$  м/цикл, аналітично описували середньоамплітудну ділянку побудованої діаграми [16]:

$$V_{\Delta K_I}^c = dc/dN = C \cdot (\Delta K_I / \sqrt{1-R})^n, \quad (1)$$

де  $C$  та  $n$  – константи системи “матеріал – середовище”,  $R$  – коефіцієнт асиметрії,  $\Delta K_I$  – розмах коефіцієнта інтенсивності напружень ( $\Delta K_I = K_{I_{max}} - K_{I_{min}}$ ), який моделює робочі навантаження бурильної колони [14].

Вищезгадані чотири основні параметри діаграми ( $K_{th}$ ,  $K_{fc}$ ,  $C$  та  $n$ ) є характеристиками циклічної тріщиностійкості металу елементів бурильної колони.

Метою даної роботи є оцінка впливу агресивного середовища (бурового розчину) на розвиток корозійно-втомних тріщин в елементах бурильної колони, ґрунтуючись на експериментально визначених для різних систем „метал – середовище” діаграмах циклічної корозійної тріщиностійкості металу.

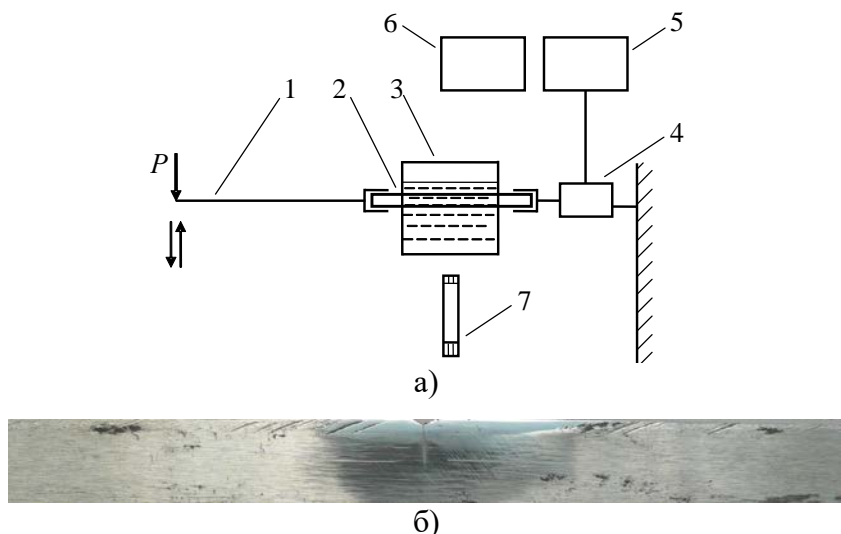
### 1. Методика досліджень циклічної корозійної тріщиностійкості матеріалу бурильних труб

Дослідження тривало експлуатованого металу елементів бурильних колон (рис. 3, табл. 1) на циклічну корозійну тріщиностійкість проводили на експериментальному обладнанні [17] шляхом випробувань вирізаних із об’єктів дослідження балкових зразків прямокутного поперечного перерізу з початковою краювою тріщиною  $a = 1,2 \dots 1,5$  мм в умовах консольного згину (рис. 4).



а) – бурильна труба групи міцності “К”; б) – бурильна труба групи міцності “Л”;  
в) – муфта різьбового з’єднання 3-133 бурильної труби групи міцності “Л”.

Рис. 3. Об’єкти досліджень



1 – випробувальна машина для циклічного консольного згину призматичних зразків; 2 – зразок; 3 – робоча камера з корозійним середовищем; 4 – система вимірювання параметрів циклічного навантаження; 5 – автоматичний потенціометр; 6 – система обробки інформації; 7 – катетометр (оптичний мікроскоп).

Рис. 4. Принципова схема експериментальної дослідної установки (а) та загальний вигляд зразка (б) для дослідження процесів розвитку корозійно-втомних тріщин у металі бурильних труб

Таблиця 1. Механічні характеристики металу елементів бурильних колон

Марка сталі	Тривалість експлуатації, роки	$D$ , мм	$d$ , мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Сталь 45	17	126	109,2	685,0	462,5	12,0	34,5
36Г2С	23	126	110,0	790,0	605,0	12,5	27,0
40ХН	23	155	114,3	885,0	762,5	10,0	14,5

Заготовки для зразків розмірами  $10 \times t \times 150$  мм вирізались із фрагментів (рис. 3) бурильних труб та замка. Частота циклічного навантаження синусоїдальної форми становила 1 Гц при асиметрії циклів навантаження  $R \approx 0$ . Випробування проводили як на повітрі, так і в робочих середовищах – буровий розчин «Біокар» ( $pH = 8,3$ ) та полімеркалієвий буровий розчин ( $pH = 11,0$ ), які широко використовуються в Україні при бурінні свердловин. Хімічний склад та технологічні властивості промивальних бурових розчинів [18-21] наведено у табл. 2, 3. Температура середовищ була постійною  $-T = 20^\circ\text{C}$ . Для елементів бурильних колон характерна експлуатація при коефіцієнті асиметрії циклу  $R = 0,7$ . Оскільки така асиметрія циклу імітує роботу бурильної колони в межах

її верхньої частини та дію на компоновку низу бурильної колони [14], то за отриманим масивом експериментальних даних будували діаграми циклічної тріщиностійкості металу – залежності швидкості росту корозійно-втомних тріщин від параметра  $\frac{\Delta K_I}{\sqrt{(1-R)}}$ .

Таблиця 2. Склад бурових розчинів

«Біокар»	Біокар-компаунд, хлорид калію, хлорид натрію, карбонатний блокатор (мікрмармур) (МК-35 , МК-50 ), органічний блокатор (К-200), бактерицид (параформальдегід)
Полімеркалієвий	Глин. бентонітовий, CelpolR та SLX, КМЦ BOL, КМЦ LC, SeurveyD1, лабрикол, KCL, вапно, КССБ, К1-МД

Таблиця 3. Технологічні властивості бурових розчинів

Тип	Густина, $\rho$ кг/м <sup>3</sup>	Умовна в'язкість, $\mu$ с	Фільтрація $\Phi$ , см <sup>3</sup> /30 хв.	Статичне напруження зсуву, СНЗ <sub>1/10</sub> , дПа	Динамічне напруження зсуву, $\tau_0$ , дПа	Пластична в'язкість $\eta$ , мПа·с	pH
«Біокар»	1240	104	4,5	65/120	36,4	20,1	8,3
Полімеркалієвий	1200	96	5,5	80/126	22,3	15,3	11

Слід зауважити, що в свердловинах, які бурилися з використанням безглинистої біополімерної промивальної рідини «Біокар», спостерігалось підвищення дебітів свердловин у порівнянні із свердловинами, буріння яких проводилися із застосуванням інших типів промивальних рідин.

Відмінністю промивальної системи «Біокар» є унікальні реологічні характеристики, що забезпечують винесення вибуреної породи з похилих стовбурів. Компонентами системи «Біокар» є виключно кислоторозчинні продукти, або такі, що мають схильність до біологічного розкладання. Коефіцієнт відновлення проникності колекторів знаходиться на рівні, який забезпечується застосуванням кращих світових аналогів [18, 19].

Реологічні властивості системи «Біокар» забезпечують ефективну очистку вибою, винесення шламу на поверхню та не створюють додаткових опорів під час промивання, а інгібуючі властивості вищі, ніж у традиційного хлоркалієвого бурового розчину.

Полімеркалієві бурові розчини широко використовуються для розкриття продуктивних пластів на родовищах ПАТ «Укрнафта» та ПАТ «Укргазвидобування». На родовищах ПАТ «Укрнафта» в останні роки застосовують полімеркалієвий буровий розчин на основі поліакрилатів і на основі Полігум К1. Характерною особливістю полімерних бурових

розчинів на родовищах ПАТ «Укрнафта» є присутність у ньому полімерного реагенту-флокулянта, який призначений для флокуляції вибуреної породи. Полімеркалієві розчини запобігають диспергуванню вибуреної породи, уповільнюючи при цьому утворення природного глинистого бурового розчину і протидіє зростанню його структурно-механічних властивостей.

Застосування полімеркалієвого бурового розчину дозволяє отримати позитивні результати при розкритті заглинених продуктивних горизонтів з проникністю від  $0,05 \text{ мкм}^2$  до  $0,3 \text{ мкм}^2$ . Полімеркалієвий буровий розчин готується з вмістом глини не більше 4% та містить КСІ (3 – 5%), лігносульфонатний реагент і частково (20 – 40%) гідролізований поліакриламід, який підвищує термостабільність бурового розчину [20]. Хлористий калій зменшує гідратацію глин, які утворюють каркас колектора, не утворює осаду при змішуванні з пластовими водами. Коefіцієнт відновлення проникності для заглинених колекторів з проникністю  $0,03 \text{ мкм}^2$  становить 0,95 [21].

## 2. Результати досліджень та їх обговорення

Результати випробувань представлені у вигляді діаграм циклічної тріщиностійкості. Діаграми для різних середовищ випробувань експлуатованого металу наведені на рис. 3-5.

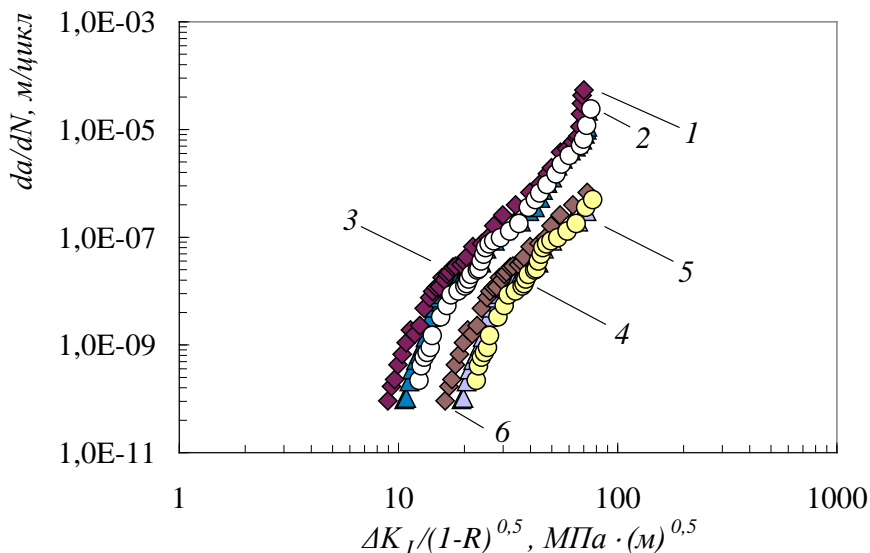


Рис. 3. Діаграми циклічної тріщиностійкості металу бурильної труби групи міцності «К» на повітрі (1, 4), буровому розчині «Біокар» (2, 5) та полімеркалієвому буровому розчині (3, 6) при двох значеннях коефіцієнта асиметрії  $R=0$  (1-3) і  $R=0,7$  (4-6)

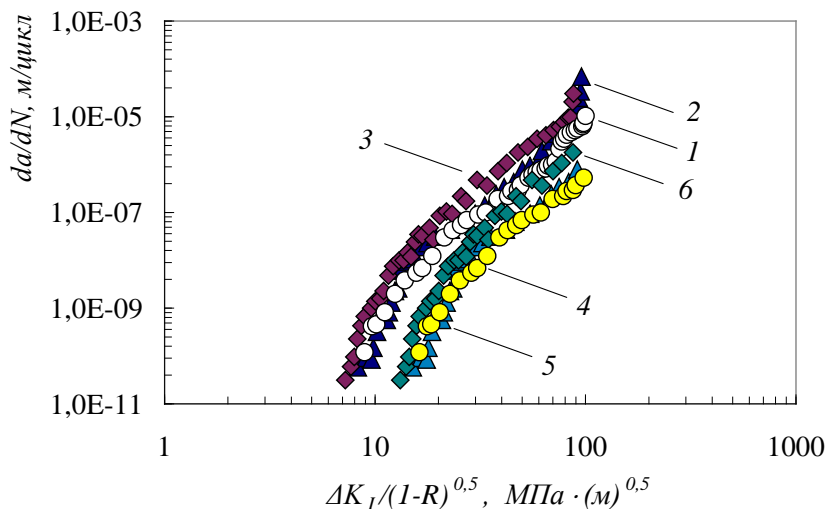


Рис. 4. Діаграми циклічної тріщиностійкості металу бурильної труби групи міцності “Л” на повітрі (1, 4), у буровому розчині «Біокар» (2, 5) та полімеркалієвому буровому розчині (3, 6) при двох значеннях коефіцієнта асиметрії  $R=0$  (1-3) і  $R=0,7$  (4-6)

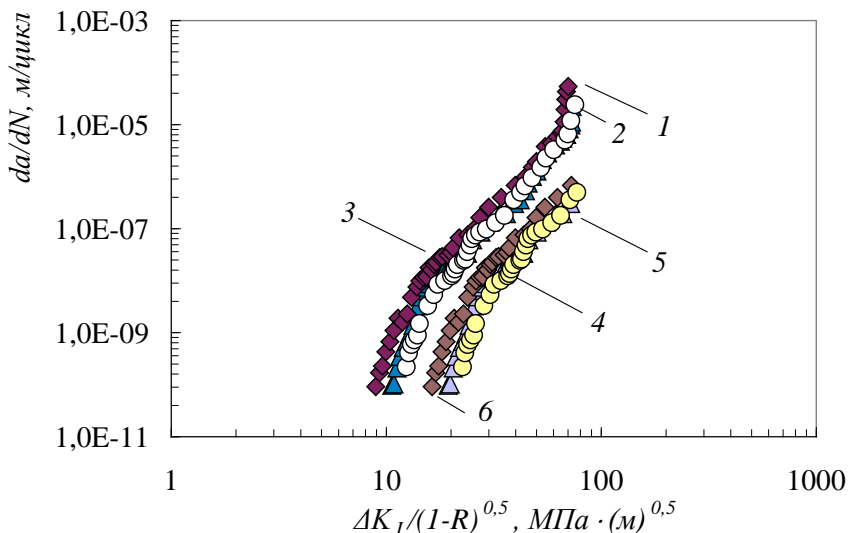


Рис. 5. Діаграми циклічної тріщиностійкості металу бурильного замка 3-155 на повітрі (1, 4), у буровому розчині «Біокар» (2, 5) та полімеркалієвому буровому розчині (3, 6) при двох значеннях коефіцієнта асиметрії  $R=0$  (1-3) і  $R=0,7$  (4-6)

Для зазначених вище умов випробовувань металу елементів бурильних колон (див. табл. 1), в таблицях 4-6 наведені значення констант у степеневій залежності Паріса [22], а також подані відповідні значення порогового ( $\Delta K_{th}$ ) та критичного ( $\Delta K_{fc}$ ) коефіцієнтів інтенсивності напружень.

Таблиця 4. Характеристики циклічної тріщиностійкості тривало експлуатованої сталі 45

Система „метал – середовище”	$n$	$C,$ $мм/цикл \times (МПа\sqrt{м})^{-n}$		$\Delta K_{th},$ $МПа\sqrt{м}$		$\Delta K_{fc},$ $МПа\sqrt{м}$
		$R = 0$	$R = 0,7$	$R = 0$	$R = 0,7$	
Сталь 45 – повітря	3,14	$3,1 \cdot 10^{-12}$	$3,0 \cdot 10^{-13}$	6,7	12,2	125,4
Сталь 45 – буровий розчин «Біокар»	3,08	$4,03 \cdot 10^{-12}$	$5,45 \cdot 10^{-13}$	6,1	11,1	121,3
Сталь 45 – полімеркалієвий буровий розчин	2,95	$8,01 \cdot 10^{-12}$	$1,31 \cdot 10^{-12}$	5,2	9,5	118,3

Таблиця 5. Характеристики циклічної тріщиностійкості тривало експлуатованої сталі 36Г2

Система „метал – середовище”	$n$	$C,$ $мм/цикл \times (МПа\sqrt{м})^{-n}$		$\Delta K_{th},$ $МПа\sqrt{м}$		$\Delta K_{fc},$ $МПа\sqrt{м}$
		$R = 0$	$R = 0,7$	$R = 0$	$R = 0,7$	
36Г2С – повітря	3,75	$3,07 \cdot 10^{-13}$	$3,41 \cdot 10^{-14}$	8,8	16,07	102,3
36Г2С – буровий розчин «Біокар»	3,67	$5,03 \cdot 10^{-13}$	$5,54 \cdot 10^{-14}$	7,9	14,42	97,1
36Г2С – полімеркалієвий буровий розчин	3,56	$1,01 \cdot 10^{-12}$	$1,11 \cdot 10^{-13}$	6,8	12,42	90,5

Таблиця 6. Характеристики циклічної тріщиностійкості тривало експлуатованої сталі 40ХН

Система „метал – середовище”	$n$	$C,$ $мм/цикл \times (МПа\sqrt{м})^{-n}$		$\Delta K_{th},$ $МПа\sqrt{м}$		$\Delta K_{fc},$ $МПа\sqrt{м}$
		$R = 0$	$R = 0,7$	$R = 0$	$R = 0,7$	
36Г2С – повітря	4,84	$7,03 \cdot 10^{-15}$	$5,14 \cdot 10^{-16}$	11,7	22,6	78,5
36Г2С – буровий розчин «Біокар»	4,64	$2,01 \cdot 10^{-14}$	$1,31 \cdot 10^{-15}$	10,3	18,8	75,1
36Г2С – полімеркалієвий буровий розчин	4,30	$1,02 \cdot 10^{-13}$	$7,90 \cdot 10^{-15}$	8,6	15,7	73,2

Кількісно вплив бурових розчинів на корозійну тріщиностійкість досліджуваних металів елементів бурильних колон оцінювали [23] порівнюючи значення розмаху коефіцієнтів інтенсивності напружень, які відповідають швидкості росту тріщини  $V = dc/dN = 10^{-7} м/цикл$ , у середовищі ( $\Delta K_c^*$ ) та на повітрі ( $\Delta K_n^*$ ), тобто:

$$k_c = \frac{\Delta K_c^*}{\Delta K_n^*}. \quad (2)$$



Аналіз поданих у табл. 7 значень  $\Delta K_n^*$ ,  $\Delta K_c^*$  та  $k_c$  для різних систем “метал – середовище” показує, що досліджувані бурові розчини зменшують опір розвитку корозійно-втомної тріщини. Характеристики циклічної корозійної тріщиностійкості досліджуваних металів елементів бурильних колон в діапазоні 0,65 – 0,99 відрізняються від значень в інертному середовищі (на повітрі). Зокрема у середовищі бурового розчину «Біокар» процес розвитку корозійно-втомної тріщини в досліджуваних металах елементів бурильних колон не значно, в діапазоні 1-5%, відрізняється від розвитку втомної тріщини на повітрі. Тоді як у середовищі промивального полімеркалієвого бурового розчину швидкість розвитку корозійно-втомної тріщини в досліджуваних металах елементів бурильних колон суттєво, в діапазоні 15-35%, відрізняється від розвитку втомної тріщини на повітрі.

Таблиця 7. Значення  $\Delta K_n^*$ ,  $\Delta K_c^*$  та  $k_c$  для різних систем “метал – середовище”

Система “метал – середовище”	$\Delta K_{n,c}^*$ $МПа\sqrt{м}$	$k_c$
Сталь 45 – повітря	56,6	1
Сталь 45 – буровий розчин «Біокар»	53,8	0,95
Сталь 45 – полімеркалієвий буровий розчин	48,1	0,85
36Г2С – повітря	61,3	1
36Г2С – буровий розчин «Біокар»	58,5	0,95
36Г2С – полімеркалієвий буровий розчин	39,8	0,65
40ХН – повітря	55,5	1,00
40ХН – буровий розчин «Біокар»	55,0	0,99
40ХН – полімеркалієвий буровий розчин	46,8	0,84

Показано, що із збільшенням показника середовища  $pH$  циклічна тріщиностійкість експлуатованого металу досліджуваних елементів бурильних труб знижується, тобто зростає крутизна середньоамплітудної ділянки діаграми циклічної корозійної тріщиностійкості для досліджуваних систем “метал – середовище” (див. рис. 3-5).

Аналіз результатів проведених досліджень показує, що більш небезпечним корозійним середовищем є полімеркалієвий буровий розчин, оскільки константи  $n$  та  $C$  у степеневій залежності Паріса для досліджуваної системи „метал – середовище” є найбільшими, а відповідне значення порогового ( $\Delta K_{th}$ ) коефіцієнта інтенсивності напружень є найменшим (див. табл. 4-6).

Встановлено, що промивальний полімеркалієвий буровий розчин у порівнянні з промивальним буровий розчин «Біокар» зменшує опір розвитку корозійно-втомної тріщини більш як на 10%.

**Висновки.** Встановлено, що під впливом робочих навантажень процес розвитку корозійно-втомної тріщини у тривало експлуатованих елементах бурильних колон відбувається на понад 10% більш прискорено у середовищі полімеркалієвого бурового розчину ніж у середовищі бурового розчину «Біокар». При бурінні свердловин з використанням бурильних труб досліджуваних груп міцності доцільно використовувати буровий розчин «Біокар».

### *Література*

1. Zamani, S.M. Failure analysis of drill pipe: A review /S.M. Zamani, S.A. Hassanzadeh-Tabrizi, H. Sharifi // *Engineering Failure Analysis*. – Jan 2016. – Vol. 59. – P 605-623. – doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.10.012.
2. Macdonald, K.A. Failure analysis of drillstrings. / K.A. Macdonald, J.V. BJune // *Engineering Failure Analysis*. – 2007. – Vol. 14, Is. 8. – P 1641-1666. – doi:10.1016/j.engfailanal.2006.11.073.
3. Li F.P. Piecing Failure Analysis of Drill Pipe Upset / F.P. Li, Y.G.Liu, Y.Wang // *Advanced Materials Research*. –Aug. 2011. – Vol. 314-316. – P. 1210-1213. – doi:10.1016/j.engfailanal.2011.06.018.
4. Lu S. Failure analysis of IEU drill pipe wash out / S. Lu, Y. Feng, F. Luo, C. Qin, X. Wang. // *International Journal of Fatigue*. – Dec. 2005. –Vol. 27. – Is. 10-12. – P. 1360-1365. <https://doi:10.1016/j.ijfatigue.2005.07.012>
5. Івасів В.М. Аналіз причин руйнування елементів бурильної колони / В.М. Івасів, Я.С. Гринджук, А.Р. Юрич // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2014. – №6/4 (20). – С. 15-17.
6. Luo S. Effect of stress distribution on the tool joint failure of internal and external upset drill pipes / S. Luo, S. Wu // *Materials and Design*. – 2013. – Vol. 52. – P 308-314. – doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.073.
7. Zhu X. Failure analysis and solution studies on drill pipe thread gluing at the exit side of horizontal directional drilling / X. Zhu, L. Dong, H. Tong // *Engineering Failure Analysis*. – 2013. – Vol. 33. – P 251-264. – dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.05.017.
8. Murthy G.V.S. Hardbanding failure in a heavy weight drill pipe / G.V.S. Murthy, G. Das, S.K. Das, N. Parveen, S.R. Singh // *Engineering Failure Analysis*. – 2011. – Vol. 18. – P 1395-1402.
9. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посіб. / за заг. ред. В.В. Панасюка. – Том 10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання / В.І. Похмурський, Є.І. Крижанівський, В.М. Івасів та ін. – Львів, Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України; Івано-Франківський націон. техн. ун-т нафти і газу, 2006. – 1193 с.
10. Moradi S. Experimental and computational failure analysis of drillstrings / S. Moradi, K. Ranjbar // *Engineering Failure Analysis*. – 2009. – Vol. 16, Is. 3. –P. 923-933. – doi:10.1016/j.engfailanal.2008.08.019.
11. Артим В.І. Аналіз корозійно-втомних руйнувань елементів буриль-

- ної колони / В.І. Артим, І.І. Яциняк, В.В. Гриців [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 2 (43). – С. 197-202.
12. Chandra D. Fatigue crack growth of a corner crack in a square prismatic bar under combined cyclic torsion-tension loading. / D. Chandra, J. Purbolaksono, Y. Nukman, H.L. Liew, S. Ramesh, M. Hamdi // International Journal of Fatigue. – 2014. – Vol. 64. – N 4 (July). – P. 67-73. – <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.02.021>
13. Yu H. Experimental and numerical study on casing wear in a directional well under in situ stress for oil and gas drilling / H. Yu, Z. Lian, T. Lin, K. Zhu // – Journal of Natural Gas Science and Engineering – 2016. – V. 35. – P. 986-996. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.09.047>
14. Bertini L. Fatigue crack growth behaviour of four structural steels in air and in a geothermal fluid environment / L. Bertini, P. Conti // International Journal of Fatigue – 1992. – Vol. 14. – N 2. – P. 75-83.
15. Механика разрушения и прочность материалов: [справ. пособ. в 4-х т. / под общ. ред. В. В. Панасюка]. – К.: Наук. думка, 1988–1990.
16. Дмитрах І. М. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / І. М. Дмитрах, В. В. Панасюк – Львів: Національна академія наук України. Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка. – 1999. – 341 с.
17. Грабовский Р. С. Установка для испытаний конструкционных материалов на циклическую коррозионную трещиностойкость / Р. С. Грабовский, И. Н. Дмытрах, Я. Н. Пукас [и др.] // Деп. ВИНТИ № 67 68 – В 89 от 10.11.1989 г. – С. 8.
18. Лубан Ю. В. Біокар – безглиниста промивальна рідина для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин та розкриття продуктивних горизонтів / Ю. В. Лубан, Я. В. Кунцяк, С. В. Лубан, О. А. Білека, Д. М. Круль, Я. І. Кулик // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – № 4. – С. 18-21.
19. Лубан Ю. В. До питання кольматації проникних пластів під час використання безглинистих промивальних рідин / Ю. В. Лубан, Я. В. Кунцяк, С. В. Лубан, Я. І. Кулик // Нафтогазова галузь України. – 2013. – №4. – С. 10-14.
20. Кустурова О. В. Розробка і дослідження гуматно-біополімерного бурового розчину для буріння похило скерованих і горизонтальних свердловин на родовищах Дніпровсько-Донецької западини / О. В. Кустурова // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №1. – С. 16-21.
21. Кустурова О. В. Розробка гуматно-біополімерного бурового розчину з низьким вмістом твердої фази для буріння свердловин в умовах родовищ Дніпровсько-Донецької западини: дис. канд. техн. наук / О. В. Кустурова – Івано-Франківськ. – 2007. – 146 с.

22. Rice J.R. A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks /J.R. Rice// Journal of Applied Mechanics. – 1968. – Vol. 35. – pp. 379-386.
23. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник / під заг. ред. В. В. Панасюка. – Том 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / І. М. Дмитрах, А. Б. Вайнман, М. Г. Сташук, Л. Тот; під ред. І. М. Дмитраха. – К.: ВД “Академперіодика”, 2005. – 378 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 18.11.2020 р.*

## EVALUATION OF CHARACTERISTICS OF RESISTANCE OF PROPAGATION OF CORROSION- FATIGUE CRACKS OF LONG-TERM OPERATED DRILL PIPES

**O. Yu. Vytyaz, R. S. Hrabovskyi**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;*

*15, str. Carpatska, Ivano-Frankivsk, 76019;*

*tel. +38 (0342) 72-71-82; e-mail: o.vytyaz@gmail.com*

*The aim of the proposed article is to determine the patterns of the corrosion-fatigue cracks in long-term operational metal elements of drill strings (steel 45, 36G2S, 40HN) when drilling wells in corrosive environments (drilling fluid "Biocar", potassium polymer mud and on the air). Based on the obtained results of experimental studies, diagrams of cyclic corrosion crack resistance for the studied systems "metal - medium" were drawn. The cyclic crack resistance characteristics of long-used metals of drill string elements are determined - the values of constants (C and n) in power dependence of Paris, as well as the values of threshold and critical stress intensity factor. The influence of drilling mud of the corrosion crack resistance of the investigated metals of drill string elements was estimated quantitatively. In particular, in the environment of drilling mud "Biocar" the process of corrosion-fatigue crack development in the studied metals of the elements of drill strings is not significantly, in the range of 1-5%, differs from the development of fatigue crack on the air. Whereas in the potassium polymer drilling mud media, the rate of corrosion-fatigue cracks development in the investigated metals of the drill strings elements significantly, in the range of 15-35%, differs from the development of fatigue cracks on the air. It is established that under the influence of working loads the process of the corrosion-fatigue crack development in long-operated elements of drilling string is accelerated by more than 10% in the media of the potassium polymeric drilling mud than in the environment of drilling mud "Biocar".*

**Key words:** *drill string, drilling mud, diagrams of cyclic corrosion resistance, corrosion-fatigue cracks, stress intensity factor.*