

УДК 622. 242. 6-33

## ВПЛИВ УМОВ РОБОТИ БУРОВОГО НАСОСА У8-6МА2 НА ВЕЛИЧИНУ НАПРАЦЮВАННЯ ШТОКА

Ю.Д.Петрина, А.В.Швадчак, Р.С.Яким

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 4-30-24,  
e-mail: [public@ifdtung.if.ua](mailto:public@ifdtung.if.ua)

*Установлены зависимости среднего значения наработки штоков буровых насосов У8-6МА от процентного содержания абразива в буровом растворе и скорости движения штока, упрочненного электрохимическим хромированием в соответствии с типовым технологическим процессом. Выявлено нарушение стабильности среднестатистического значения наработки штоков при перекачивании насосом буровых растворов с повышенной концентрацией абразива, а также повышение скорости движения штока.*

*The dependences of the boring pump's rod average operating time on percentage of the abrasive in the boring liquid and the movement speed of the chrome plated rod according to the typical technological process are set. The deflection of the rod's average operating time stability under the pumping of the boring liquids with highered concentration of the abrasive and under the increasing of the rod's movement speed are set.*

Шток бурового насоса належить до змінних деталей, які найчастіше виходять з ладу, тому є актуальними питання підвищення їх довговічності. Одним з найбільш поширених напрямків підвищення довговічності є використання сучасних методів зміцнення. Серед них особливого поширення набув метод поверхневого нанесення хромового покриття [1, 2, 3]. Зокрема, Ніколіч А.С. [1] рекомендує виготовляти шток з середньовуглецевої хромонікелевої сталі з подальшим покриттям хромом товщиною 0,1-0,2 мм для отримання поверхневої твердості 10000 МПа.

Сучасні зарубіжні фірми також широко використовують хромування штоків, виготовлених з легованої середньовуглецевої сталі. Наприклад, фірма „Ostroj” [2] здійснює хромування штоків на 20-80 мкм відповідно до вимог Німецького інституту стандартів (згідно з DIN8556) для забезпечення твердості до 1100 НV. Викінчувальною операцією полірування добиваються шорсткості поверхні до 0,4 мкм  $R_a$ .

Відома індустріальна група “Parker Hannifin Europe” [3] виготовляє шток поршня з вуглецевих легованих сталей, що мають високі показники межі міцності до розриву. Штоки хромують і полірують з дотриманням високої точності. Перед хромуванням здійснюють зміцнення за допомогою СВЧ. При цьому мінімальна твердість поверхні становить не менше 54 HRC.

Проте встановлення ефективності використання зміцнюючої обробки хромуванням, а також вибір більш ефективного методу обробки для штока є неможливий без ґрунтовного вивчення умов, в яких він працює, та вимог до його працездатності.

Вивченню умов роботи штока присвячені роботи таких вчених, як Гаджиева М.М., Толс-

това Ю.С. Ніколіча А.С., Мкртчичана Я.С. та ін. Авторами зроблений важливий висновок про те, що зносостійкість штоків залежить не тільки від твердості робочих поверхонь, але й від їх фізико-механічних властивостей. Проте в роботах є суперечності і упущення.

Так, проведені Гаджієвим М.М. експерименти на зносостійкість штоків [4] засвідчили, що найбільш зносостійким матеріалом для їх виготовлення є сталь 40Х з хромованим покриттям на твердість 67HRC та штоки зі сталі 14Х, зміцнені цементациєю з подальшим гартуванням, та відпущені до твердості 58-62HRC. На основі стендових випробовувань було встановлено вплив конструктивних особливостей трансмісійної частини бурового насоса на втрату працездатності штока. Однак з роботи не видно, як впливає на зносостійкість штока зношення хромового покриття, а також дія інших факторів.

В [5] встановлено вплив глибини буріння на величину напрацювання штоків бурових насосів. Проте в роботі не розглядалися величини конкретних факторів, які впливають на напрацювання штоків.

Мкртчичан Я.С. пов'язує вихід з ладу штока з неякісною ущільнюючою манжетою [6]. В робочі поверхні манжети проникають і закріплюються абразивні частинки, що спричинює інтенсивне зношення штока в процесі реверсивного тертя в зоні контакту [7].

Отже, в загальній картині, що описує вплив умов роботи бурового насоса на довговічність штока, спостерігаються прогалини. Зокрема, залишилися поза увагою питання оцінки впливу швидкості реверсивного шаржування в місці контакту шток-еластомер, а також вмісту абразиву в буровому розчині, перекачуваному насосом.

Тому була поставлено завдання: встановити вплив умов роботи штока, виготовленого за

типовими технічними умовами, на його напрацювання.

З цією метою була розроблена експериментальна партія штоків і проведені натурні експерименти з встановлення напрацювань штоків, виготовлених за чинною на ВАТ „Дрогобицький машинобудівний завод” технологією.

Штоки виготовляли зі сталі 40Х ГОСТ 4543-71, яка відповідає існуючим типовим технічним умовам ТУ У 0153362-011-98. Для зміцнення використовували електрохімічне хромування „хромоном” за ТУ6-02-788-79 на глибину 0,6 мм до твердості 57HRC з викінчувальною операцією шліфуванням на шорсткість  $R_a=0,4$  мкм. Твердість серцевини штока становила 280-320НВ.

При плануванні експериментів, а також обробці отриманих даних використовували методи математичної статистики та теорії планування експерименту [8] з використанням програмних продуктів Mathcad та електронних таблиць Excel.

Випробовування проводилися на буровому комплексі Бориславського управління бурових робіт Львівської області. Дослідження проводилися при бурінні свердловин на глибину 1200-4550м., густині бурового розчину, перекачуваного насосом, 1,14-1,69г/см<sup>3</sup> і вмісті абразиву в розчині 1-3%.

Вихід з ладу штока визначався за характерними ознаками несправностей, що є найбільш імовірними причинами втрати працездатності. Виходячи з встановлених умов виходу з ладу штока досліджуваними факторами є процентний вміст абразиву та швидкість ходу штока. Швидкість ходу штока визначали згідно з [9]

$$V = R \frac{\pi n}{30} \left( \sin \alpha \pm \frac{R}{2L} \sin 2\alpha \right), \quad (1)$$

де:  $R$  – радіус кривошипа;  $n$  – частота обертання трансмісійного вала;  $\alpha$  – кут повороту кривошипа, врахований від осі циліндрів;  $L$  – довжина шатуна.

Отже, на шток діють два фактори: процентний вміст абразиву в буровому розчині ( $K$ ) і швидкість руху штока ( $V$ ).

Для здійснення в експерименті всіх необхідних комбінацій щодо досліджуваних факторів був вибраний план повного двофакторного експерименту  $2^2$  [8].

Кодові значення факторів будуть відповідно  $X_1, X_2$

$$X_1 = \frac{K - 0,5(K_{max} + K_{min})}{0,5(K_{max} - K_{min})} \quad (2)$$

$$X_2 = \frac{V - 0,5(V_{max} + V_{min})}{0,5(V_{max} - V_{min})} \quad (3)$$

Граничні значення процентного вмісту абразиву в буровому розчині та швидкості руху штока призначаємо відповідно до статистичних даних експлуатації штоків:  $K_{min} = 1\%$ ,  $K_{max} = 3\%$ ;  $V_{min} = 0,7$ м/с.,  $V_{max} = 1,6$ м/с.

Одержимо

$$X_1 = K - 2, \quad (4)$$

$$X_2 = 2,2V - 2,6. \quad (5)$$

Як відклик  $Y$  розглянемо значення напрацювання в годинах. Знайдемо зв'язок між факторами і відкликом. Функцію відклику задамо поліномом першого порядку з урахуванням ефекту взаємодії

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (6)$$

де  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}$  – коефіцієнти функції.

Відповідно оцінку функції відклику (емпіричного рівняння регресії) шукається у вигляді

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{1,2} X_1 X_2, \quad (7)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{1,2}$  – оцінки коефіцієнтів  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}$ .

Згідно з планом експерименту було проведено  $N = 4$  досліди з числом повторів кожного досліду  $m = 5$ , необхідна кількість зразків  $mN = 20$ .

Середнє значення напрацювання  $\bar{y}_u$  і середнє квадратичне відхилення  $S_u^2$  визначається за формулами [10]

$$\bar{y}_u = \frac{1}{5} \sum_{q=1}^5 y_{uq}, \quad (8)$$

$$S_u^2 = \frac{1}{2} \left( \sum_{q=1}^5 y_{uq}^2 - \frac{\left( \sum_{q=1}^5 y_{uq} \right)^2}{5} \right), \quad (9)$$

де  $y_{uq}$  – потокове значення величини напрацювання.

Матриця плану експерименту, значення фіксованого фактора  $X_0$ , ефект взаємодії  $X_1 X_2$  і значення відклику представлені в табл. 1.

За результатами досліджень оцінки коефіцієнтів функції відклику

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N \bar{y}_u = 241. \quad (10)$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N X_{1u} \bar{y}_u = -31. \quad (11)$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N X_{2u} \bar{y}_u = -36,5. \quad (12)$$

$$b_{1,2} = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N X_1 X_2 \bar{y}_u = -9. \quad (13)$$

Оцінка функції відклику в кодованих значеннях факторів

$$\hat{Y} = 241,5 - 31X_1 - 36,5X_2 - 9X_1 X_2. \quad (14)$$

Підставимо замість  $X_1, X_2$  їхні значення (4, 5), отримаємо оцінку залежності середнього

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту над штоками, зміцненими хромуванням

№ u	Фактори			X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	Y						
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		повтори досліду y <sub>uq</sub>					$\bar{y}_u$	S <sub>u</sub> <sup>2</sup>
1	+	+	-	-	250	265	255	240	270	256	285
2	+	+	+	+	165	150	180	160	170	165	250
3	+	-	+	-	240	235	250	260	240	245	200
4	+	-	-	+	300	285	295	315	305	300	250

значення напрацювання від процентного вмісту абразиву в буровому розчині і швидкості руху штока

$$Y = 351,3 - 7,6K - 40,6V - 19,8KV. \quad (15)$$

Статистичний аналіз результатів дослідження починається з перевірки однорідності дисперсій.

Критичне значення критерію Кохрена

$$G = \frac{S_{max}^2}{N \sum_{u=1}^N S_u^2} = 0,289. \quad (16)$$

Оскільки при довірчій ймовірності P<sub>дов.</sub>=0,95 і числах вільності k<sub>1</sub>= m - 1 = 4, k<sub>2</sub>= N = 4 критичне значення критерію Кохрена - G<sub>кр.</sub>=0,6287, що вибирається з [11], гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, оскільки G<sub>кр.</sub>>G.

Оскільки число дослідів рівне числу коефіцієнтів, що визначаються, функції відклику, перевірити адекватність моделі методом порівняння дисперсій адекватності відтворення не можна. У зв'язку з цим був поставлений додатковий дослід в області, близькій до центра експерименту, при вмісті абразиву в буровому розчині 2 % і швидкості штока 1,15 м/с. Було випробувано п'ять штоків і відповідно встановлені значення їх напрацювання: 255, 250, 240, 265, 245. Відповідно середнє значення і середнє квадратичне відхилення значення напрацювання в додатковому досліді

$$\bar{y}_D = 251, S_D^2 = 185. \quad (17)$$

Для знаходження границь, в яких знаходиться істинна величина середнього значення напрацювання, визначалися верхня (L<sub>max</sub>) і нижня (L<sub>min</sub>) границі довірчого інтервалу

$$L_{max} = \bar{y}_D + t \frac{S_D}{\sqrt{N}}; \quad (18)$$

$$L_{min} = \bar{y}_D - t \frac{S_D}{\sqrt{N}}, \quad (19)$$

де: N = 5 – число повторів додаткового досліді; t = 2,776 – квантіль розподілу Стюдента [11], який вибирається залежно від числа вільності k=N - 1=4

$$L_{min} = 234, L_{max} = 268. \quad (20)$$

Розрахована величина оцінки середнього значення напрацювання додаткового досліді

$$\bar{Y} = 244,8. \quad (21)$$

Розрахована величина (21) знаходиться в межах довірчого інтервалу (20), що є основним для прийняття гіпотези адекватності моделі.

Для перевірки значимості коефіцієнтів в моделі обраховується дисперсія відтворення

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 = 246,3. \quad (22)$$

Дисперсія коефіцієнтів моделі

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{mN} = 12,3. \quad (23)$$

Експериментальні значення критерію Стюдента t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, t<sub>1,2</sub> для коефіцієнтів b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>1,2</sub> відповідно рівні

$$t_1 = \frac{|b_1|}{\sqrt{S_b^2}} = 8,9. \quad (24)$$

$$t_2 = \frac{|b_2|}{\sqrt{S_b^2}} = 10,4. \quad (25)$$

$$t_{1,2} = \frac{|b_{1,2}|}{\sqrt{S_b^2}} = 2,8. \quad (26)$$

Для встановлення значимості коефіцієнтів моделі необхідно порівняти отримані значення з табличними. Табличне значення критерію Стюдента t<sub>кр.</sub>=2,120, вибирається з [11] залежно від числа вільності k=(m-1)N=16 та довірчої ймовірності P<sub>дов.</sub>=0,95.

Оскільки табличне значення критерію Стюдента менше за експериментальні значення цього критерію (24-26), то можна стверджувати, що всі коефіцієнти моделі значимі. Отже, визначена залежність середнього значення напрацювання штоків, зміцнених хромуванням, від процентного вмісту абразиву в буровому розчині та швидкості руху штока у визначених межах залишається в силі.

Отримана оцінка залежності середнього значення напрацювання штоків від умов роботи (15) дає можливість зробити аналіз впливу досліджуваних факторів на напрацювання штоків.

За допомогою програмного продукту Mathcad була побудована модель залежності середнього значення напрацювання штоків від умов роботи (рис. 1).

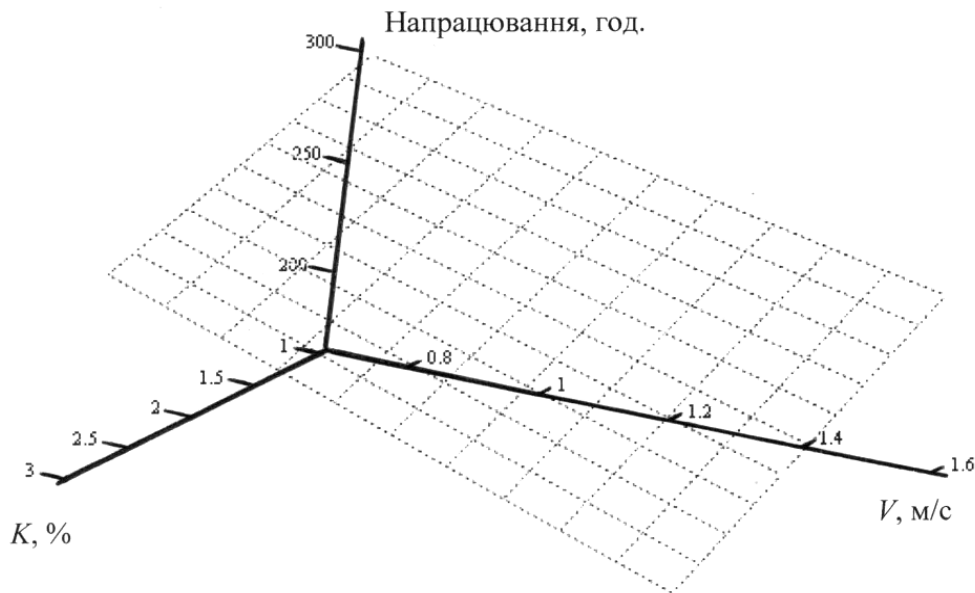


Рисунок 1 – Модель залежності середнього значення напрацювання штоків від умов роботи

Таблиця 3 – Умови роботи штока при промислових випробуваннях

№ групи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вміст абразиву в буровому розчині, %	1	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
Швидкість руху штока, м/с	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

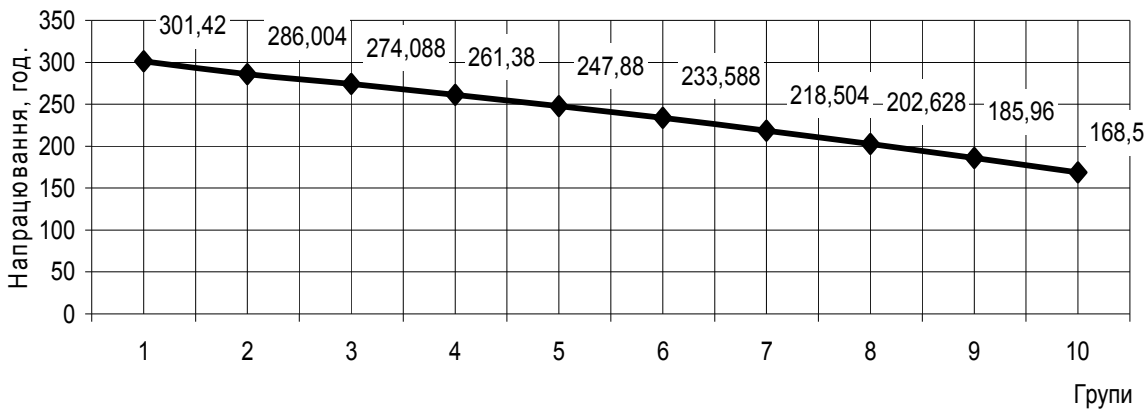


Рисунок 2 – Залежність середнього значення напрацювання штока від зростання значень досліджуваних факторів

Для унаочнення тенденції впливу факторів, що визначають умови роботи штока за допомогою інтерполяції, були отримані їх проміжні значення (табл.3.)

З отриманих результатів випливає, що величина напрацювання штоків у середньому складає 242 год. При статистичному аналізі значень напрацювань спостерігається порушення стабільності середньостатистичного напрацювання штоків насосів в корозійно-

втомних середовищах з підвищеною концентрацією абразиву та високих значеннях швидкостей реверсивного тертя. Зокрема, при зростанні значень досліджуваних факторів в заданих межах спостерігалось різке зниження напрацювання штока (рис. 1, табл.3, рис. 2). При цьому вплив зміни швидкості руху штока має приблизно в 5 разів більший вплив на його напрацювання, ніж процентний вміст абразиву в буровому розчині. Це можна пояснити термод-

струкцією і втомними процесами в зоні реверсивного швидкого тертя шток-поршень, що підтверджується даними [6], які засвідчують, що збільшення концентрації абразиву в буровому розчині, перекачуваному насосом, несуттєво інтенсифікує процес руйнування еластичної пари.

Експерименти засвідчили, що штоки схильні до утворення вм'ятин, вибоїн, що сприяє швидкому виходу їх з ладу. Очевидно це пов'язано з низькою твердістю основного матеріалу штока, а також недостатньою величиною його межі міцності до розтягу. При утворенні локальних пошкоджень на глибину хромового покриття утворюються задирки, стається розшарування, що призводить до катастрофічних виходів з ладу штока та манжети.

В подальшому перспективним є дослідження, направлені на з'ясування впливу поверхневоактивних речовин, з якими контактує шток, на величину напрацювання чи інтенсифікацію процесів його зношення. Також актуальним є розв'язання проблеми довговічності манжети штока.

#### Література

1. Николич А.С. Поршневые буровые насосы. - М.: Недра, 1973. -224с.
2. <http://www.ostroj.cz.: Surfaces Piston rod>.
3. <http://www.engineeringtalk.com.: Piston rods – a suitable case for hardening>.
4. Гаджиев М.М. Оценка износостойкости материалов штоков буровых насосов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. -1969. - №12. -С.45-46.
5. Толстов Ю.С., Шлыков Б.И. Анализ работоспособности основных быстроизнашивающихся деталей буровых насосов // Нефть и газ. -1976. -№5. -С.101-103.
6. Мкртычан Я.С. Повышение эффективности эксплуатации буровых насосных установок. -М.: Недра, 1987. -207с.
7. Николич А.С. Основания модернизации насосного комплекса буровых установок // Нефтепромысловое машиностроение: Обзорная информация. Серия ХМ-3. - Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению. - 1990. - С24-32.
8. Планирование и организация измерительного эксперимента / Е.Т.Володарский, Б.Н.Малиновский, Ю.М.Туз – К.: Вища школа Головное издательство, 1987. -280с.
9. Ильский А.Л., Миронов Ю.В., Чернобильский А.Г. Расчет и конструирование бурового оборудования. -М.: Недра, 1985. -452с.
10. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский Н.В. Курс вероятностей и математической статистики. -М.: Наука, 1969. -511с.
11. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. -М.: Наука, 1965. -464с.

## 8-а Міжнародна конференція ПОРОДУРІЙНИЙ ТА МЕТАЛООБРОБНИЙ ІНСТРУМЕНТ — ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

*п. Морське (Судакський р-н, Крим)  
(18-23 вересня 2005 р.)*

#### Оргкомітет конференції

*Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М.Бакуля НАН України*

*Тел./факс: (044) 467 56 25*

*E-mail: bond@ism.kiev.ua*

**М. О. БОНДАРЕНКО**

#### Робота конференції за секціями:

- *Породурійний інструмент з надтвердих матеріалів і технологія його застосування*
- *Синтез, спікання і властивості надтвердих матеріалів*
- *Техніка і технологія виробництва твердих сплавів і їх застосування в інструменті для різних галузей промисловості*

На конференції будуть заслухані й обговорені доповіді про стан і перспективи розвитку робіт в області створення інструменту, оптимізації умов його застосування, розробки обладнання і технології для виробництва бурового, камене- і металообробного інструменту, а також проблемні питання, що виникли в сучасній практиці буріння, камене- і металообробки.