

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ЖОРСТКОСТІ ТА ДЕМПФУВАННЯ БУРИЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ ОБЕРТОВОГО МОМЕНТУ ПІД ЧАС БУРІННЯ ШАРОШКОВИМИ ДОЛОТАМИ

В.М. Мойсишин, Б.Д. Борисевич, Ю.Л. Гаврилів, Б.І. Смага

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727131,  
e-mail: math@nimg.edu.ua

Для оцінки впливу жорсткості та демпфування бурильного інструменту на середнє значення обертового моменту на долоті (моментоемність) на буровому стенді ІФНТУНГ було проведено сорок серій досліджень за класичним планом. Параметри бурильного інструменту встановлювались на трьох рівнях: жорсткість – 225; 1700 і 6000 кН/м; демпфування – 0,1; 40 та 70 кН·с/м. Для порівняння статистичних характеристик вибірок з миттєвими значеннями обертового моменту, одержаних за різних рівнів жорсткості та демпфування, було застосовано статистичну перевірку параметричних гіпотез. За результатами цих досліджень встановлено наступне:

1. Зміна жорсткості від 225 до 6000 кН/м, незалежно від типорозміру долота, збільшує моментоемність процесу буріння. Імовірність прийняття такого рішення – 0,95;
2. Збільшення демпфування із 0,1 до 70 кН·с/м зменшує середнє значення обертового моменту на долоті. Імовірність прийняття такого рішення – 0,95.

Ключові слова: бурильний інструмент, жорсткість, демпфування, моментоемність, статистичні характеристики, параметричні гіпотези

Для оценки влияния жесткости и демпфирования бурильного инструмента, на среднее значение вращательного момента на долоте (моментоемность) на буровом стенде ИФНТУНГ было проведено сорок серий исследований по классическому плану. Параметры бурильного инструмента устанавливались на трех уровнях: жесткость – 225; 1700 и 6000 кН/м, демпфирование – 0,1; 40 и 70 кН·с/м. Для сравнения статистических характеристик выборок с мгновенными значениями вращательного момента, полученных для двух уровней жесткости и демпфирования, использовали статистическую проверку параметрических гипотез. За результатами этих исследований установлено следующее:

1. Изменение жесткости от 225 до 6000 кН/м, независимо от типоразмера долота, увеличивает моментоемность процесса бурения. Вероятность принятия такого решения – 0,95;
2. Увеличение демпфирования с 0,1 до 70 кН·с/м уменьшает среднее значение вращательного момента на долоте. Вероятность принятия такого решения – 0,95.

Ключевые слова: бурильный инструмент, жесткость, демпфирование, моментоемность, статистические характеристики, параметрические гипотезы.

To estimate the influence of drilling tools parameters (rigidity and damping coefficient) on the average value of torque on the bit 40 series of investigations have been carried out due to the standard plan at the drilling bedstead of IFNTUOG. The parameters of drilling tools was set at 3 levels: rigidity – 225, 1700, 6000 kN/m, as well as the damping coefficient was also established at 3 levels – 0,1; 40 and 70 kN/m. To compare statistical characteristics the average value of torque on the bit obtained for different levels of rigidity and damping coefficient the “statistical checking of parameter hypotheses” method was applied. Due to the results of these studies the following was determined:

1. The change of rigidity from 225 to 6000 kN/m, irrespective of a standard size of a bit increases the average value of torque on the bit during the process of drilling. The probability of making such a decision is 0,95;
2. The growth of damping coefficient from 0,1 to 70 kN/m decreases the average value of torque on the bit. The probability of making such a decision is 0,95.

Keywords: drilling tools, rigidity, damping coefficient, average value of torque on the bit, statistical characteristics, parameter hypotheses.

Основним показником, що характеризує ефективність використання енергії підведеної до вибою свердловини, є енергоемність руйнування гірських порід. Вона визначається за формулою:

$$A_V = \frac{A_0}{\pi \cdot R_D^2 \cdot \delta_0} = \frac{G \delta_0 + 2 \cdot \pi \cdot T}{\pi \cdot R_D^2 \cdot \delta_0} = \frac{G}{\pi \cdot R_D^2} + \frac{2 \cdot T}{R_D^2 \cdot \delta_0}, \quad (1)$$

де  $A_0$  – робота долота за один оберт;

$G$  – осьове статичне навантаження на долото;

$\delta_0$  – проходка за один оберт долота;

$R_D$  – радіус долота;

$T$  – середнє значення обертового моменту на долоті. Обертовий момент на долоті, який згідно (1) є одним з основних параметрів, що визначають енергоемність процесу буріння, як правило, в процесі буріння не відомий, за винятком спеціальних досліджень з використанням вибірного вимірювача обертового моменту. В той же час обґрунтований вибір параметрів процесу буріння не можливий без достатньо

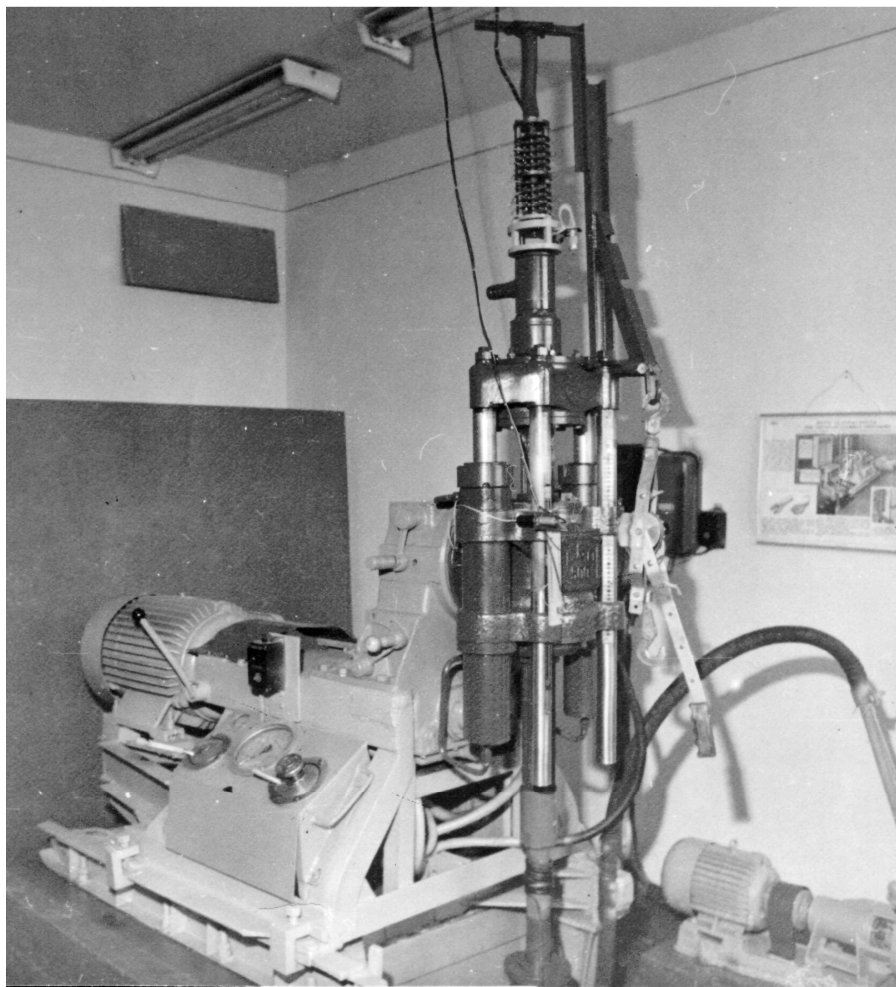


Рисунок 1 – Загальний вигляд бурового станда

точних знань про зміну обертового моменту на долоті. За результатами досліджень, наведених у [1, 3, 4], було встановлено вплив на обертовий момент статичного осьового навантаження на вибій, частоти обертання долота та фізико-механічних властивостей гірської породи. В той же час дослідження з вивчення впливу на обертовий момент жорсткості та демпфування бурильного інструменту не проводились.

Такі дослідження були проведені на експериментально-вимірному стенді ІФНУНГ, створеному на базі бурового верстата СБА-500 (рис. 1).

Для оцінки впливу жорсткості  $C$  та демпфування  $\beta$  бурильного інструменту на моментозміну руйнування гірських порід було проведено сорок серій експериментальних досліджень за класичним планом. З них 28 серій досліджень впливу жорсткості  $C$  та 12 серій досліджень впливу демпфування  $\beta$ . Значення жорсткості брали на трьох рівнях: мінімальному  $C_{min}=225$  кН/м, проміжному  $C_{np}=1700$  кН/м та максимальному  $C_{max}=6000$  кН/м, які визначались конструктивними особливостями станду. Для оцінки впливу демпфування значення  $\beta$  встановлювались також на трьох рівнях: 0,1 кН·с/м, 40 кН·с/м та 70 кН·с/м. Параметри

процесу буріння під час проведення цих досліджень наведено в табл. 1, 2.

Для з'ясування фізичного змісту дисперсії вибірки миттєвих значень обертового моменту на долоті  $T_{oi}$  розглянемо детально процес одержання аналогового запису  $T_{\delta}$ . Під дією обертового моменту на долоті напруга  $U$  на виході давача змінюється і фіксується самописцем або магнітографом.

Миттєві значення потужності електричного сигналу на виходу

$$P_i'' = \frac{U_i^2}{R}, \quad (2)$$

де  $U_i$  –  $i$ -те дискретне значення електричного сигналу, мВ;

$R$  – вхідний опір вимірювального тракту, Ом.

Оскільки процес зміни в часі обертового моменту на долоті є випадковою функцією, то для спрощення статистичних досліджень перейдемо до центрованих дискретних значень

$$\dot{U}_i = U_i - \bar{U}, \quad (3)$$

де  $\bar{U}$  – середнє вибірки миттєвих значень  $\{U_i\}$ .

Таблиця 1 – Умови проведення експериментальних досліджень для оцінки впливу жорсткості  $C$  на показники буріння (серії 1-28)

№ серії / кількість паралельних дослідів	Постійні параметри					Змінний параметр $C$ , кН/м	
	$F_{CT}$ , кН	$n_{\partial}$ , хв <sup>-1</sup>	$\beta$ , кН·с/см	Типорозмір долота	Порода, твердість, $P_u$ , МПа		
1/3	25	82	0,1	93С	білий вапняк, 2300	225	
2/3						6000	
3/3				93Т	пісковик воротищенської світи, 1440	225	
4/3						6000	
5/4						225	
6/3						6000	
7/3						225	
8/4						6000	
9/3				76ОК	граніт, 3120	225	
10/4						6000	
11/3						225	
12/3						6000	
13/3						225	
14/3						6000	
15/3						225	
16/4						6000	
17/3		93С	93ОК	225			
18/3				6000			
19/3				225			
20/3				6000			
21/3		133	93Т	93Т	225		
22/3					1700		
23/3				93Т	пісковик воротищенської світи, 1440	225	
24/3						1700	
25/3						225	
26/3						1700	
27/3				70	93Т	пісковик воротищенської світи, 1440	225
28/3							1700
<b>Загальна кількість дослідів – 88</b>							

Середнє значення потужності центровано-го електричного сигналу складе

$$\bar{P}^u = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^u}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{U}_i^2}{R \cdot n} \quad (4)$$

Перехід від дискретних значень центровано-го електричного сигналу в мВ до миттєвих значень обертового моменту на долоті в Н·м здійснюємо за формулою

$$\dot{T}_{\partial i} = Z \cdot \dot{U}_i \quad (5)$$

де  $Z$  – коефіцієнт переходу, що визначається за результатами тарування давача.

Дисперсія  $D_T$  вибірки миттєвих значень  $\{\dot{T}_{\partial i}\}$  визначається за формулою

$$D_T = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{T}_{\partial i}^2}{n-1} = Z^2 \frac{\sum_{i=1}^n \dot{U}_i^2}{n-1} \quad (6)$$

Порівнюючи (4) і (6), одержимо

$$D_T = Z^2 \frac{nR}{n-1} \bar{P}^u \quad (7)$$

Оскільки величина  $Z^2 \frac{nR}{n-1} = const$ , то дис-

персія вибірки центрованих миттєвих значень обертового моменту на долоті та середнє значення потужності центровано-го електричного сигналу мають однаковий фізичний зміст, то надалі замість фрази „дисперсія вибірки миттєвих значень обертового моменту на долоті” бу-

Таблиця 2 – Умови проведення експериментальних досліджень для оцінки впливу жорсткості  $C$  на показники буріння (серії 28-40)

№ серії / кількість паралельних дослідів	Постійні параметри					Змінний параметр			
	$F_{CT}$ , кН	$n_{\partial}$ , хв <sup>-1</sup>	$\beta$ , кН·с/см	Типорозмір долота	Порода, твердість, $p_w$ , МПа		$C$ , кН/м		
29/3	25	82	225	93Т	пісковик воротищенської світи, 1440	0,1			
30/3						40			
31/3						70			
32/3					пісковик воротищенської світи, 2050	0,1			
33/3						40			
34/3						70			
35/3			1700		пісковик воротищенської світи, 1400	0,1			
36/3						40			
37/3						70			
38/3					пісковик воротищенської світи, 2050	0,1			
39/3						40			
40/3			70						
<b>Загальна кількість дослідів – 36</b>									

демо використовувати вираз „потужність процесу зміни обертового моменту на долоті”.

Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті  $T_{\partial i}$  паралельних дослідів, що відповідають умовно лінійним ділянкам для приблизно однакових за твердістю пропластків гірських порід, за результатами 1-28 серій експериментальних досліджень наведено у табл. 3.

Для з'ясування значущості відмінностей між характеристиками вибірок (дисперсій  $D_T$  та середніх вибірових  $\bar{T}_{\partial}$ ) проводимо перевірку параметричних гіпотез.

1. *Перевірка гіпотези про рівність дисперсій скоректованих вибірок*

Нехай маємо дві вибірки об'ємами  $n^{(1)}$  та  $n^{(2)}$ , їх дисперсії  $D_T^{(1)}$ ,  $D_T^{(2)}$ . Нульова гіпотеза  $H_0: D_T^{(1)} = D_T^{(2)}$ , альтернативна їй  $H_1: D_T^{(1)} \neq D_T^{(2)}$ . Умова підтвердження нульової гіпотези  $F_{кр} > F_{cn}^{(1,2)}$ , альтернативної –  $F_{кр} \leq F_{cn}^{(1,2)}$ , де  $F_{cn}^{(1,2)}$  – спостережене значення критерію Р.Фішера при порівнянні першої та другої вибірок. При  $D_T^{(1)} > D_T^{(2)}$

$$F_{cn}^{(1,2)} = \frac{D_T^{(1)}}{D_T^{(2)}}. \quad (8)$$

Критичне значення критерію Р. Фішера  $F_{кр}$  знаходимо за значущістю  $\alpha$  та двома степенями вільності

$$\nu_1 = n^{(1)} - 1, \nu_2 = n^{(2)} - 1. \quad (9)$$

При порівнянні дисперсій вибірок критична область прийняття гіпотез двостороння. Якщо нульова гіпотеза  $H_0$  підтверджується при прийнятому значенні  $\alpha$ , то вибірки можуть від-

носити до однієї генеральної сукупності, якщо не підтверджується – до різних генеральних сукупностей.

2. *Перевірка гіпотези про рівність середніх скоректованих вибірок*

Цей пункт виконується тільки при підтвердженні гіпотези  $H_0$  про рівність дисперсій скоректованих вибірок.

Для порівняння середніх скоректованих вибірок висуваємо нульову гіпотезу  $H_0: \bar{T}_{\partial}^{(1)} = \bar{T}_{\partial}^{(2)}$  та альтернативну  $H_1: \bar{T}_{\partial}^{(1)} > \bar{T}_{\partial}^{(2)}$  для правосторонньої критичної області. Умова підтвердження нульової гіпотези  $T_{кр} > T_{cn}^{(1,2)}$ , альтернативної –  $T_{кр} \leq T_{cn}^{(1,2)}$ , де  $T_{кр}$  – критична точка розподілу Стьюдента,  $T_{cn}^{(1,2)}$  – спостережене значення критерію Стьюдента при порівнянні першої та другої вибірок.

$$T_{cn}^{(1,2)} = \frac{\left| \bar{T}_{\partial}^{(1)} - \bar{T}_{\partial}^{(2)} \right|}{\sqrt{\frac{D_T^{(1)}}{n^{(1)}} + \frac{D_T^{(2)}}{n^{(2)}}}}. \quad (10)$$

Значення  $T_{кр}(\alpha/2, \kappa^{(1,2)})$  знаходимо за таблицею критичних точок розподілу Стьюдента, де  $\alpha$  – рівень значущості,  $\kappa^{(1,2)}$  – число степенів вільності.

$$\kappa^{(1,2)} = n^{(1)} + n^{(2)} - 2. \quad (11)$$

При виконанні умов  $F_{кр} > F_{cn}^{(1,2)}$ ,  $T_{кр} > T_{cn}^{(1,2)}$  вибірки належать до однієї генеральної сукупності, якщо ж  $F_{кр} > F_{cn}^{(1,2)}$ ,  $T_{кр} \leq T_{cn}^{(1,2)}$  – до різних генеральних сукупностей, тобто різниця між характеристиками вибірок викликана не випадковою похибкою, а впливом інших факторів, які супроводжують фізичний процес.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті  $T_{oi}$  паралельних дослідів за результатами 1-28 серій експериментальних досліджень

№ серії	Типорозмір долота	$p_{iu}$ , МПа	$\beta$ , кН·с/м	Жорсткість $C$ , кН/м	Об'єм миттєвих значень $T_{oi}$	Статистичні характеристики вибірок	
						середнє значення $\bar{T}_o$ , Н·м	дисперсія $D_T$ , (Н·м) <sup>2</sup>
1	93С	2300	0,1	225	389	172,47	2732
2				6000	245	148,59	2035
3	93Т	1440		225	169	199,35	6189
4				6000	1457	156,62	2271
5		2050		225	513	179,43	5064
6				6000	4961	140,35	1972
7	93Т	2500		400	425	177,27	4763
8				6000	689	130,87	2098
9	76ОК	3120		225	881	135,45	2679
10				6000	1561	100,65	1173
11	93С		225	255	161,13	2172	
12			6000	249	146,41	2802	
13	93Т		225	228	148,64	1921	
14			6000	463	128,25	2615	
15	93ОК		225	127	129,79	2771	
16			6000	212	99,1	2435	
17	93С		225	575	143,3	1777	
18			6000	505	129,1	1855	
19	93Т		225	505	123,07	1681	
20			6000	502	97,73	2005	
21		1440	40	225	104	168,26	1325
22				1700	327	128,79	1810
23	2050	225		1126	143,79	1092	
24		1700		304	115,79	2307	
25	1440		70	225	2226	143,95	621
26				1700	329	118,73	2868
27	2050	225		1328	100,94	798	
28		1700		329	99,56	2282	

Крім використання статистичної перевірки параметричної гіпотези про рівність середніх вибірок можна скористатись методом визначення ймовірності випадкової похибки між цими середніми. Ймовірність випадкової похибки між середніми вибірок для односторонньої критичної області визначається за формулою

$$P\left(\bar{T}_d^{(1)} - \bar{T}_d^{(2)}\right) = 1 - S(t). \quad (12)$$

За виконання умови  $P > 0,05$  скоректовані вибірки належать до однієї генеральної сукупності, за невиконання – до різних.

В табл. 4 наведено результати перевірки нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок  $H_0: D_{Tj} = D_{Tk} (j \neq k)$  за альтернативних їм  $H_1: D_{Tj} \neq D_{Tk} (j \neq k)$ .

За табл. 4 при зміні жорсткості  $C$  бурильного інструменту з 225 кН/м до 6000 кН/м нульова гіпотеза про рівність дисперсій вибірок підтверджується для тільки для 11, 12, 17-22 серій. Всі інші серії належать до різних генера-

льних сукупностей. Збільшення жорсткості  $C$  веде до росту потужності процесу зміни обертового моменту на долоті.

При підтвердженні нульових гіпотез про рівність дисперсій проводимо перевірку гіпотез про рівність середніх вибірок. Результати перевірки нульових гіпотез  $H_0: \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok} (j \neq k)$  за альтернативних їм  $H_1: \bar{T}_{oj} > \bar{T}_{ok} (j \neq k)$  наведено у табл. 5, в якій  $S(t)$  – ймовірність статистичного критерію Стьюдента. Як бачимо, критична область прийняття рішення правостороння, оскільки меншій жорсткості  $C$  бурильного інструменту відповідає більша моментоемність процесу буріння.

За результатами перевірки нульових гіпотез для серій 1-28 встановлено наступне:

- зміна жорсткості бурильного інструменту не є значущою при порівнянні дисперсій вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті паралельних дослідів тільки для 11, 12, 17-22 серій. Для всіх інших серій нульова гіпо-

Таблиця 4 – Перевірка нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок,  $\alpha=0,02$

№ серії	Типо-розмір долота	$C$ , кН/м	$D_T$ , (Н·м) <sup>2</sup>	Об'єм миттєвих значень $T_{di}$	Перевірка умови $F_{СП} < F_{КР}$	Висновок про гіпотезу $H_0$ : $D_{Tj} = D_{Tk}$ ( $j \neq k$ )
1	93С	225	2732	389	1,34 > 1,33	Не підтверджена
2		6000	2035	245		
3	93Т	225	6189	169	2,73 > 1,3	Не підтверджена
4		6000	2271	1457		
5		225	5064	513	2,57 > 1,15	Не підтверджена
6		6000	1972	4961		
7	93Т	225	4763	425	2,27 > 1,24	Не підтверджена
8		6000	2098	689		
9	76ОК	225	2679	881	2,28 > 1,12	Не підтверджена
10		6000	1173	1561		
11	93С	225	2172	255	1,29 < 1,36	Підтверджена
12		6000	2802	249		
13	93Т	225	1921	228	1,36 > 1,33	Не підтверджена
14		6000	2615	463		
15	93ОК	225	2771	127	1,14 < 1,45	Підтверджена
16		6000	2435	212		
17	93С	225	1777	575	1,04 < 1,26	Підтверджена
18		6000	1855	505		
19	93Т	225	1681	505	1,19 < 1,24	Підтверджена
20		6000	2005	502		
21	93Т	225	1325	104	1,37 < 1,49	Підтверджена
22		1700	1810	327		
23		225	1092	1126	2,11 > 1,29	Не підтверджена
24		1700	2307	304		
25		225	621	2226	4,62 > 1,29	Не підтверджена
26		1700	2868	329		
27		225	798	1328	2,86 > 1,29	Не підтверджена
28		1700	2282	329		

Таблиця 5 – Перевірка нульових гіпотез про рівність середніх вибірових,  $\alpha=0,05$

№ серії	Типо-розмір долота	$\bar{T}_d$ , Н·м	$D_T$ , (Н·м) <sup>2</sup>	Об'єм миттєвих значень $T_{di}$	Перевірка умови $F_{СП} < F_{КР}$	Висновок про гіпотезу $H_0$ : $\bar{T}_{Dj} = \bar{T}_{Dk}$ ( $j \neq k$ )	S(t)	Ймовірність випадкової похибки
11	93С	161,13	2172	255	3,31 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
12		146,41	2802	249				
17	93С	143,3	1777	575	5,5 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
18		129,1	1855	505				
19	93Т	123,07	1681	505	9,4 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
20		97,73	2005	502				
21		168,26	1325	104				
22		128,79	1810	327	9,2 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0

теза про рівність дисперсій вибірок відхиляється. З ймовірністю 0,95 ці вибірки належать до різних генеральних сукупностей;

- для 11, 12, 17-22 серій нульова гіпотеза про рівність середніх вибірових з ймовірністю

0,95 відхиляється, тобто ці вибірки належать до різних генеральних сукупностей;

- зі зменшенням жорсткості  $C$  буринного інструменту середнє значення обертового моменту на долоті зростає.

Таблиця 6 – Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті  $T_{oi}$  паралельних дослідів за результатами 29-40 серій експериментальних досліджень

№ серії	Типо-розмір долота	$P_{ш}$ , МПа	$\beta$ , кН·с/м	$C$ , кН/м	Об'єм миттєвих значень $T_{oi}$	Статистичні характеристики вибірок	
						середнє значення $\bar{T}_o$ , Н·м	дисперсія $D_T$ , (Н·м) <sup>2</sup>
29	93Т	1440	0,1	225	169	199,35	6189
30			40		104	168,26	1325
31			70		2226	143,95	621
32		2050	0,1		513	179,43	5064
33			40		1126	143,79	1092
34			70		1328	100,94	798
35		1440	1440		0,1	1700	169
36	40			327	128,79		1810
37	70			329	118,73		2868
38	2050		0,1	513	144,47		4077
39			40	304	115,79		2307
40			70	329	99,56		2282

Таблиця 7 – Перевірка нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок,  $\alpha=0,02$

№ серії	$\beta$ , кН·с/м	$D_T$ , (Н·м) <sup>2</sup>	Об'єм миттєвих значень $T_{oi}$	Перевірка умови $F_{СП} < F_{КР}$	Висновок про гіпотезу $H_0: D_{Tj} = D_{Tk} (j \neq k)$
29	0,1	6189	169	4,67 > 1,53	Не підтверджена
30	40	1325	104		
29	0,1	6189	169	9,97 > 1,28	Не підтверджена
31	70	621	2226		
30	40	1325	104	2,13 > 1,36	Не підтверджена
31	70	621	2226		
32	0,1	5064	513	4,64 > 1,09	Не підтверджена
33	40	1092	1126		
32	0,1	5064	513	6,35 > 1,09	Не підтверджена
34	70	798	1328		
33	40	1092	1126	1,37 > 1,09	Не підтверджена
34	70	798	1328		
35	0,1	4916	169	2,72 > 1,38	Не підтверджена
36	40	1810	327		
35	0,1	4916	169	1,71 > 1,38	Не підтверджена
37	70	2868	329		
36	40	1810	327	1,58 > 1,32	Не підтверджена
37	70	2868	329		
38	0,1	4077	513	1,77 > 1,23	Не підтверджена
39	40	2307	304		
38	0,1	4077	513	1,79 > 1,22	Не підтверджена
40	70	2282	329		
39	40	2307	304	1,01 < 1,32	Підтверджена
40	70	2282	329		

Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті  $T_{oi}$  паралельних дослідів, що відповідають умовно лінійним ділянкам для приблизно однакових за твердістю пропластків гірських порід, за результатами 29-40 серій експериментальних

досліджень для оцінки впливу демпфування  $\beta$  бурильного інструменту на моментоемність наведено у табл. 6.

В табл. 7 наведено результати перевірки нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок  $H_0$ : за альтернативних їм  $H_1$ :  $D_{Tj} \neq D_{Tk} (j \neq k)$ .

Таблиця 8 – Перевірка нульових гіпотез про рівність середніх вибірових,  $\alpha=0,05$ 

№ серії	Типорозмір долота	$\bar{T}_o$ , Н·м	$D_T$ , (Н·м) <sup>2</sup>	Об'єм миттєвих значень $T_{oi}$	Перевірка умови $F_{СП} < F_{КР}$	Висновок про гіпотезу $H_0$ : $\bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok}$ ( $j \neq k$ )	S(t)	Ймовірність випадкової похибки
39	93Т	115,79	2307	304	4,26 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
40		99,56	2282	329				

За табл. 7 при зміні демпфування  $\beta$  бурильного інструменту нульова гіпотеза про рівність дисперсій вибірок підтверджується для тільки для 39 та 40 серій.

Всі інші серії належать до різних генеральних сукупностей. Збільшення  $\beta$  веде до спадання потужності процесу зміни обертового моменту на долоті.

При підтверженні нульової гіпотези про рівність дисперсій для 39 та 40 серій проводимо перевірку гіпотези про рівність середніх вибірових. Нульова гіпотеза має вигляд  $H_0: \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok}$  ( $j \neq k$ ) за альтернативної їй  $H_1: \bar{T}_{oj} > \bar{T}_{ok}$  ( $j \neq k$ ). Критична область прийняття рішення правостороння, оскільки меншому демпфуванню  $\beta$  бурильного інструменту відповідає більше середнє значення обертового моменту на долоті. Результати перевірки гіпотези про рівність середніх вибірових наведено в табл. 8.

За результатами перевірки нульових гіпотез для серій 29-40 встановлено наступне:

- зміна демпфування бурильного інструменту є значущою при порівнянні дисперсій вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті паралельних дослідів тільки для 39 та 40 серій. Для всіх інших серій нульова гіпотеза про рівність дисперсій вибірок відхиляється. З ймовірністю 0,95 ці вибірки належать до різних генеральних сукупностей;

- для 39 та 40 серій нульова гіпотеза про рівність середніх вибірових з ймовірністю 0,95 відхиляється, тобто ці вибірки належать до різних генеральних сукупностей;

- зі зменшенням демпфування  $\beta$  бурильного інструменту середнє значення обертового моменту на долоті зростає.

### ВИСНОВКИ

1. Зменшення жорсткості бурильного інструменту збільшує моментоемність (середнє значення обертового моменту на долоті)  $\bar{T}_o$  незалежно від типорозміру долота в середньому на 14-22%.

2. Зменшення демпфування від 70 до 0,1 кН·с/м веде до збільшення  $\bar{T}_o$ . Інтенсивність збільшення  $\bar{T}_o$  залежить від фізико-механічних характеристик породи. За зміни коефіцієнту демпфування від 70 до 0,1 кН·с/м (в інтервалі твердості породи за штампом 1440-2050 МПа) це збільшення склало 44-25%.

### Література

- 1 Григорян Н.А. Анализ процесса турбинного бурения [Текст] / Н.А. Григорян, Р.Е. Багиров. – М.: Недра, 1982. – 207 с.
- 2 Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин [Текст] / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М.: Недра, 1979. – 239 с.
- 3 Потапов Ю.Ф. Разрушение горных пород трехшарошечными долотами малого диаметра [Текст] / Ю.Ф. Потапов, В.В. Симонов. – М.: Гостехиздат, 1961. – 86 с.
- 4 Мавлютов М.Р. Некоторые результаты экспериментального исследования колебаний осевой и моментной нагрузок на шарошечном долоте [Текст] / М.Р. Мавлютов, Р.Х. Санников // Труды УНИ. – 1972. – Вып. VIII. – С. 33-41.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
11.04.14

Рекомендована до друку  
професором **Векериком В.І.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Никифорчиним О.Р.**  
(Прикарпатський національний університет  
ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)