

УДК 622.24

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ
СЕРЕДНЬОГО ЗНАЧЕННЯ ОБЕРТОВОГО МОМЕНТУ
НА ДОЛОТІ ВІД ЖОРСТКОСТІ ТА ДЕМПФУВАННЯ
БУРИЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

В. М. Мойсишин, Б. Д. Борисевич, Ю. Л. Гаврилів, Б. І. Смага
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 4-22-64, 4-24-53, факс. +380 (342) 4-21-39*

Для визначення емпіричних залежностей між середнім значенням обертового моменту на долоті (моментоемністю) з одного боку та параметрами бурильного інструменту (жорсткістю C та демпфуванням β) з другого, на буровому стенді ІФНТУНГ були проведені дванадцять п'ять серій досліджень за класичним планом, розбитих на три групи. Для першої групи досліджень жорсткість бурильного інструменту встановлювалась на восьми рівнях – 225, 400, 1000, 1480, 1700, 2100, 2500 і 6000 кН/м, а демпфування було постійним і становило 0,1кН·с/м. Для другої групи жорсткість бурильного інструменту встановлювалась на п'яти рівнях – 400, 1480, 1700, 2500 і 6000 кН/м, демпфування також було постійним і становило 0,1 кН·с/м. Для третьої групи жорсткість була постійною і становила 225кН/м, демпфування встановлювалось на шести рівнях 0,1, 40, 50, 70, 80 і 90 кН·с/м. В інтервалі демпфування 40-90 кН·с/м використовувався гідравлічний поглинач коливань (гідравлічна пружина). Для порівняння статистичних характеристик вибірок із миттєвими значеннями обертового моменту, одержаних за різних рівнів жорсткості та демпфування, було застосовано статистичну перевірку параметричних гіпотез. За результатами цих досліджень встановлено наступне:

1. Зменшення жорсткості бурильного інструменту збільшує моментоемність \bar{T}_0 незалежно від типорозміру долота в середньому на 14-22%;

2. Зменшення демпфування від 90 до 0,1кН·с/м веде до збільшення \bar{T}_0 . Інтенсивність збільшення \bar{T}_0 залежить від фізико-механічних характеристик породи. За зміни демпфування від 90 до 0,1кН·с/м (в інтервалі твердості породи за штампом 1440-2050 МПа) це збільшення складо 42-54%;

3. Ймовірність існування емпіричних кореляційних залежностей $\bar{T}_0 = f(C)$ та $\bar{T}_0 = f(\beta)$ перевищує 0,95.

Ключові слова: бурильний інструмент, жорсткість, демпфування, моментомісткість, статистичні характеристики, параметричні гіпотези, емпіричні кореляційні залежності

Основним показником, що характеризує ефективність використання енергії, підведеної до вибою свердловини, є енергоємність руйнування гірських порід. За [2] енергоємність визначається за формулою:

$$A_v = \frac{A_0}{\pi \cdot R_\delta^2 \cdot \delta_0} = \frac{G\delta_0 + 2 \cdot \pi \cdot \bar{T}_\delta}{\pi \cdot R_\delta^2 \cdot \delta_0} = \frac{G}{\pi \cdot R_\delta^2} + \frac{2 \cdot \bar{T}_\delta}{R_\delta^2 \cdot \delta_0}, \quad (1)$$

де A_0 – робота долота за один оберт; G – осьове статичне навантаження на долото; δ_0 – проходка за один оберт долота; R_δ – радіус долота; \bar{T}_δ – середнє значення обертового моменту на долоті. Обертовий момент на долоті, який за рівнянням (1) є одним з основних параметрів, що визначають енергоємність процесу буріння, як правило, в процесі буріння не відомий, за винятком спеціальних досліджень у свердловині з використанням вибірного вимірювача обертового моменту. В той же час обґрунтований вибір параметрів процесу буріння не можливий без достатньо точних знань про зміну обертового моменту на долоті. За результатами стендових та промислових досліджень [1, 3, 4] встановлено, що зі збільшенням осьового статичного навантаження на долото F_{CT} середнє значення обертового моменту \bar{T}_δ (моментомісткість) зростає, а із збільшенням частоти обертання болота n_δ – зменшується. Характер залежностей $\bar{T}_\delta = f(F_{CT})$, $\bar{T}_\delta = f(n_\delta)$ може бути як лінійним, так і нелінійним. Однозначний висновок про вплив діаметра долота d_δ на \bar{T}_δ відсутній. Емпіричних залежностей між параметрами бурильного інструменту, жорсткістю C та демпфуванням β з одного боку та \bar{T}_δ з другого боку не встановлено.

Дослідження на обертовий момент параметрів бурильного інструменту були проведені на буровому стенді ІФНТУНГ, створеному на базі бурового верстата СБА-500 (рис.1) [5].

Для зміни жорсткості C бурильного інструменту використовувалась пристрій (рис. 2) [6], пружним елементом якого є гвинтова пружина стиску 1. Передача обертового моменту від обертача до долота здійснювалась через рухоме шлицьове з'єднання 2. Для зміни демпфування бурильного інструменту розроблено спеціальний пристрій (рис. 3) [6], жорсткість якого забезпечується гвинтовою пружиною стиску 2. В ролі рідинної пружини використовувались серійні вертикальні гідравлічні поглиначі коливань конструкції Ленінградського інституту інженерів залізнодорожного транспорту, які випускає Калінінський вагонобудівний завод (КВЗ-ЛІИЖТ).

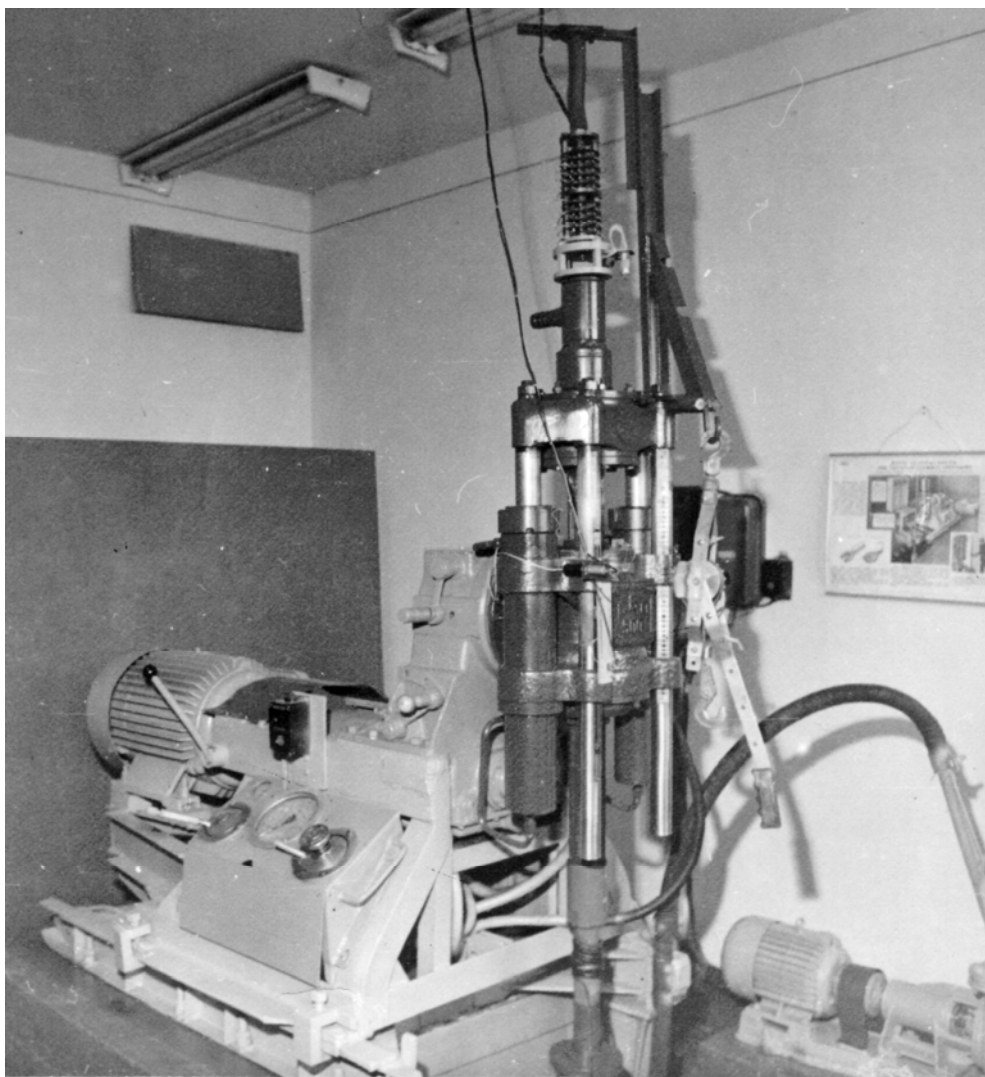
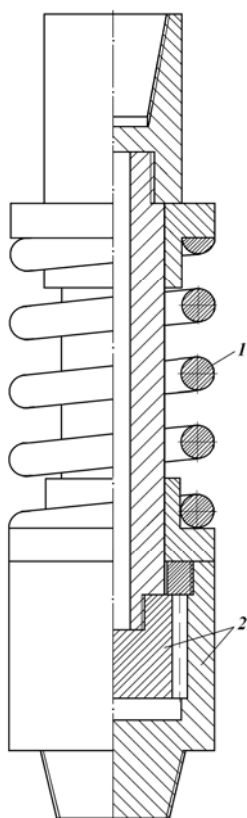


Рис. 1. Загальний вигляд бурового станда

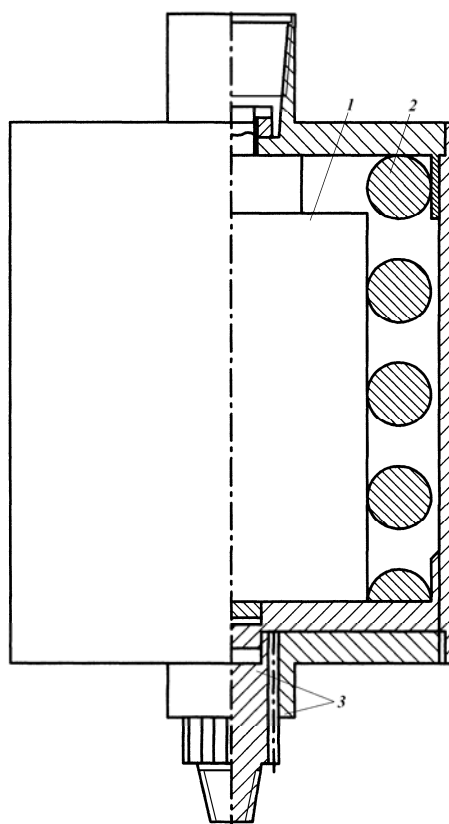
Для встановлення емпіричних кореляційних залежностей між параметрами бурильного інструменту та моментоемності процесу буріння було проведено двадцять п'ять серій експериментів за класичним планом. Серії експериментів розбито на три групи, що відрізняються умовами проведення.

В табл. 1 наведено статистичні характеристики миттєвих значень обертового моменту T_{oi} на долоті паралельних дослідів першої групи (серії 1-8) за різних значень C . Буріння велось долотом Ш-76ОК-ЦА в граніті ($p_{ш} = 3120$ МПа) за постійних осьового навантаження $F_{СТ} = 25$ кН та частоти обертання $n_{\phi} = 82$ хв⁻¹. Гідралічний поглинач коливань (рідинна пружина) не використовувався.



1 – пружина стиску,
2 – рухоме шліцьове з'єднання

Рис. 2. Пристрій зміни жорсткості інструменту бурильного



1 – рідинна пружина, 2 – пружина стиску, 3 – рухоме шліцьове з'єднання

Рис. 3. Пристрій зміни демпфування бурильного інструмента

Таблиця 1. Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту T_{oi} паралельних дослідів за результатами 1-8 серій експериментальних досліджень

№ серії	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) ²
1	225	881	135,5	2679
2	400	1454	126,57	1593
3	1000	523	116,89	1317
4	1480	528	113,18	1226
5	1700	831	110,35	1205
6	2100	393	108,72	1155
7	2500	639	107,5	1129
8	6000	1561	100,65	1173

В табл. 2 наведено результати перевірки нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок $H_0: D_{Tj} = D_{Tk} (j \neq k)$ за альтернативних їм $H_1: D_{Tj} \neq D_{Tk} (j \neq k)$.

Таблиця 2. Перевірка нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок, $\alpha=0,02$

№ серії	C, кН/м	$D_T, (Н \cdot м)^2$	Об'єм миттєвих значень T_{oi}	Перевірка умови $F_{cn} < F_{кр}$	Висновок про гіпотезу $H_0: D_{Tj} = D_{Tk} (j \neq k)$
1	2	3	4	5	6
1	225	2679	881	1,68>1,09	Не підтверджена
2	400	1593	1454		
1	225	2679	881	2,03>1,17	Не підтверджена
3	1000	1317	523		
1	225	2679	881	2,19>1,17	Не підтверджена
4	1480	1226	528		
1	225	2679	881	2,22>1,13	Не підтверджена
5	1700	1205	831		
1	225	2679	881	2,32>1,19	Не підтверджена
6	2100	1155	393		
1	225	2679	881	2,37>1,17	Не підтверджена
7	2500	1129	639		
1	225	2679	881	2,28>1,09	Не підтверджена
8	6000	1173	1561		
2	400	1593	1454	1,21>1,17	Не підтверджена
3	1000	1317	523		
2	400	1593	1454	1,3>1,17	Не підтверджена
4	1480	1226	528		
2	400	1593	1454	1,32>1,13	Не підтверджена
5	1700	1205	831		
2	400	1593	1454	1,38>1,19	Не підтверджена
6	2100	1155	393		
2	400	1593	1454	1,41>1,17	Не підтверджена
7	2500	1129	639		
2	400	1593	1454	1,36>1,17	Не підтверджена
8	6000	1173	1561		
3	1000	1317	523	1,07<1,17	Підтверджена
4	1480	1226	528		
3	1000	1317	523	1,09<1,13	Підтверджена
5	1700	1205	831		

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6
3	1000	1317	523	1,14<1,19	Підтверджена
6	2100	1155	393		
3	1000	1317	523	1,17>1,16	Не підтверджена
7	2500	1129	639		
3	1000	1317	523	1,12>1,09	Не підтверджена
8	6000	1173	1561		
4	1480	1226	528	1,02<1,13	Підтверджена
5	1700	1205	831		
4	1480	1226	528	1,06<1,13	Підтверджена
6	2100	1155	393		
4	1480	1226	528	1,09<1,11	Підтверджена
7	2500	1129	639		
4	1480	1226	528	1,05<1,09	Підтверджена
8	6000	1173	1561		
5	1700	1205	831	1,04<1,11	Підтверджена
6	2100	1155	393		
5	1700	1205	831	1,07<1,13	Підтверджена
7	2500	1129	639		
5	1700	1205	831	1,03<1,11	Підтверджена
8	6000	1173	1561		
6	2100	1155	393	1,02<1,11	Підтверджена
7	2500	1129	639		
6	2100	1155	393	1,02<1,11	Підтверджена
7	6000	1173	1561		
7	2500	1129	639	1,04<1,11	Підтверджена
8	6000	1173	1561		

За табл. 2 нульова гіпотеза про рівність дисперсій вибірок підтверджується для 3, 4, 5, 6, 7 та 8 серій. Всі інші серії належать до різних генеральних сукупностей.

При підтвердженні нульової гіпотези про рівність дисперсій для 3, 4, 5, 6, 7 та 8 серій проводимо перевірку гіпотез про рівність середніх вибірових $H_0: \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok} (j \neq k)$ за альтернативних їм $H_1: \bar{T}_{oj} > \bar{T}_{ok} (j \neq k)$.

За результатами перевірки нульових гіпотез для серій 1-8 встановлено наступне:

- зміна жорсткості бурильного інструменту не є значущою при порівнянні дисперсій вибірок миттєвих значень обертового моменту на долоті паралельних дослідів в діапазоні жорсткостей 1000-6000 кН/м, вибірки миттєвих значень обертового моменту з ймовірністю 0,98 належать до одної генеральної сукупності;

- за нульовою гіпотезою про рівність середніх вибірових з ймовірністю більшою за 0,95 тільки вибірки миттєвих значень обертового моменту в діапазоні жорсткостей 1700-2500 кН/м належать до однієї генеральної сукупності, всі інші вибірки – до різних;

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

Таблиця 3. Перевірка нульових гіпотез про рівність середніх вибірових, $\alpha=0,05$

№ серії	C , кН/м	\bar{T}_{∂} , Н·м	D_T , (Н·м) ²	Об'єм миттєвих значень $T_{\partial i}$	Перевірка умови $T_{cn} < T_{кр}$	Висновок про гіпотезу $H_0 : \bar{T}_{\partial j} = \bar{T}_{\partial k}$ ($j \neq k$)	$S(t)$	Ймовірність випадкової похибки
3	1000	116,89	1317	523	1,7>1,65	Не підтверджена	0,955	0,045
4	1480	113,18	1226	528				
3	1000	116,89	1317	523	3,3>1,65	Не підтверджена	0,999	0,001
5	1700	110,35	1205	831				
3	1000	116,89	1317	523	3,5>1,65	Не підтверджена	0,999	0,001
6	2100	108,72	1155	393				
4	1480	113,18	1226	528	1,5<1,65	Підтверджена	0,933	0,067
5	1700	110,35	1205	831	$\alpha=0,1 \rightarrow 1,25$			
4	1480	113,18	1226	528	1,9>1,65	Не підтверджена	0,971	0,029
6	2100	108,72	1155	393				
4	1480	113,18	1226	528	2,8>1,65	Не підтверджена	0,997	0,003
7	2500	107,5	1129	639				
4	1480	113,18	1226	528	7>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
8	6000	100,65	1173	1561				
5	1700	110,35	1205	831	0,8<1,65	Підтверджена	0,788	0,212
6	2100	108,72	1155	393				
5	1700	110,35	1205	831	1,6<1,65	Підтверджена	0,9452	0,0548
7	2500	107,5	1129	639	$\alpha=0,1 \rightarrow 1,25$			
5	1700	110,35	1205	831	10>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
8	6000	100,65	1173	1561				
6	2100	108,72	1155	393	0,6<1,65	Підтверджена	0,726	0,274
7	2500	107,5	1129	639				
6	2100	108,72	1155	393	5>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
8	6000	100,65	1173	1561				
7	2500	107,5	1129	639	4,3>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
8	6000	100,65	1173	1561				

В табл. 4 наведено статистичні характеристики миттєвих значень обертового моменту T_{oi} на долоті паралельних дослідів другої групи (серії 9-13) за різних значень C . Буріння велось долотом ПІ-93Т-ЦА в пісковуку стрийської світи ($p_w = 2500$ МПа) за постійних осьового навантаження $F_{CT} = 25$ кН та частоти обертання $n_o = 82$ хв⁻¹. Гідравлічний поглинач коливань (рідинна пружина) не використовувався.

Таблиця 4. Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту T_{oi} паралельних дослідів за результатами 9-13 серій експериментальних досліджень

№ серії	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) ²
9	400	3947	177,27	5206
10	1480	2002	143,18	4741
11	1700	565	140,4	4588
12	2500	521	133,06	4307
13	6000	1647	130,87	3708

В табл. 5 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. 5 нульова гіпотеза про рівність дисперсій вибірок підтверджується для 10, 11 та 12-гої серій, 9 та 13 серії належать до інших генеральних сукупностей.

При підтвердженні нульової гіпотези про рівність дисперсій для 10, 11 та 12-гої серій проводимо перевірку гіпотези про рівність середніх вибіркових $H_0: \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok} (j \neq k)$ за альтернативних їм $H_1: \bar{T}_{oj} > \bar{T}_{ok} (j \neq k)$.

За результатами перевірки нульових гіпотез для серій 9-13 було встановлено наступне:

- зміна жорсткості бурильного інструменту не є значущою при порівнянні дисперсій вибірок миттєвих значень обертового моменту T_{oi} паралельних дослідів в діапазоні жорсткостей $C_{np} = 1480 - 2500$ кН/м;
- нульова гіпотеза про рівність середніх вибіркових з ймовірністю 0,95 не відхиляється в інтервалі значень жорсткості $C_{np} = 1480 - 2500$ кН/м;

- нульова гіпотеза про рівність середніх вибірових з ймовірністю більшою за 0,95 відхиляється для мінімального значення жорсткості бурильного інструменту $C_{\min} = 400$ кН/м та максимального – $C_{\max} = 6000$ кН/м.

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

Таблиця 5. Перевірка нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок, $\alpha=0,02$

№ серії	C , кН/м	D_T , (Н·м) ²	Об'єм миттєвих значень T_{oi}	Перевірка умови $F_{cn} < F_{kp}$	Висновок про гіпотезу $H_0: D_{Tj} = D_{Tk}$ ($j \neq k$)
9	400	5206	3947	1,1>1,09	Не підтверджена
10	1480	4741	2002		
9	400	5206	3947	1,13<1,17	Підтверджена
11	1700	4588	565		
9	400	5206	3947	1,21>1,17	Не підтверджена
12	2500	4307	521		
9	400	5206	3947	1,40>1,09	Не підтверджена
13	6000	3708	1647		
10	1480	4741	2002	1,03<1,17	Підтверджена
11	1700	4588	565		
10	1480	4741	2002	1,1<1,17	Підтверджена
12	2500	4307	521		
10	1480	4741	2002	1,28>1,09	Не підтверджена
13	6000	3708	1647		
11	1700	4588	565	1,07<1,25	Підтверджена
12	2500	4307	521		
11	1700	4588	565	1,24>1,09	Не підтверджена
13	6000	3708	1647		
12	2500	4307	521	1,16>1,09	Не підтверджена
13	6000	3708	1647		

В табл. 7 наведені емпіричні кореляційні залежності $\bar{T}_o = f(C)$ та результати перевірки умов задовільної апроксимації цими залежностями експериментальних даних.

Таблиця 6. Перевірка нульових гіпотез про рівність середніх вибірових, $\alpha = 0,05$

№ серії	C , кН/м	\bar{T}_o , Н·м	D_T , (Н·м) ²	Об'єм миттєвих значень T_{oi}	Перевірка умови $T_{cn} < T_{kp}$	Висновок про гіпотезу $H_0: \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok}$ ($j \neq k$)	$S(t)$	Ймовірність випадкової похибки
9	400	177,27	5206	3947	6,7 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
11	1700	140,4	4588	565				
10	1480	143,18	4741	2002	0,7 < 1,65	Підтверджена	0,758	0,242
11	1700	140,4	4588	565				
10	1480	143,18	4741	2002	1,9 > 1,65	Не підтверджена	0,971	0,029
12	2500	133,06	4307	521				
10	1480	143,18	4741	2002	7,4 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
13	6000	130,87	3708	1647				
11	1700	140,4	4588	565	1,0 < 1,65	Підтверджена	0,841	0,159
12	2500	133,06	4307	521				
11	1700	140,4	4588	565	4,2 > 1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
13	6000	130,87	3708	1647				
12	2500	133,06	4307	521	2,9 > 1,65	Не підтверджена	0,998	0,002
13	6000	130,87	3708	1647				

Таблиця 7. Результати підбору залежностей $\bar{T}_o = f(C)$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

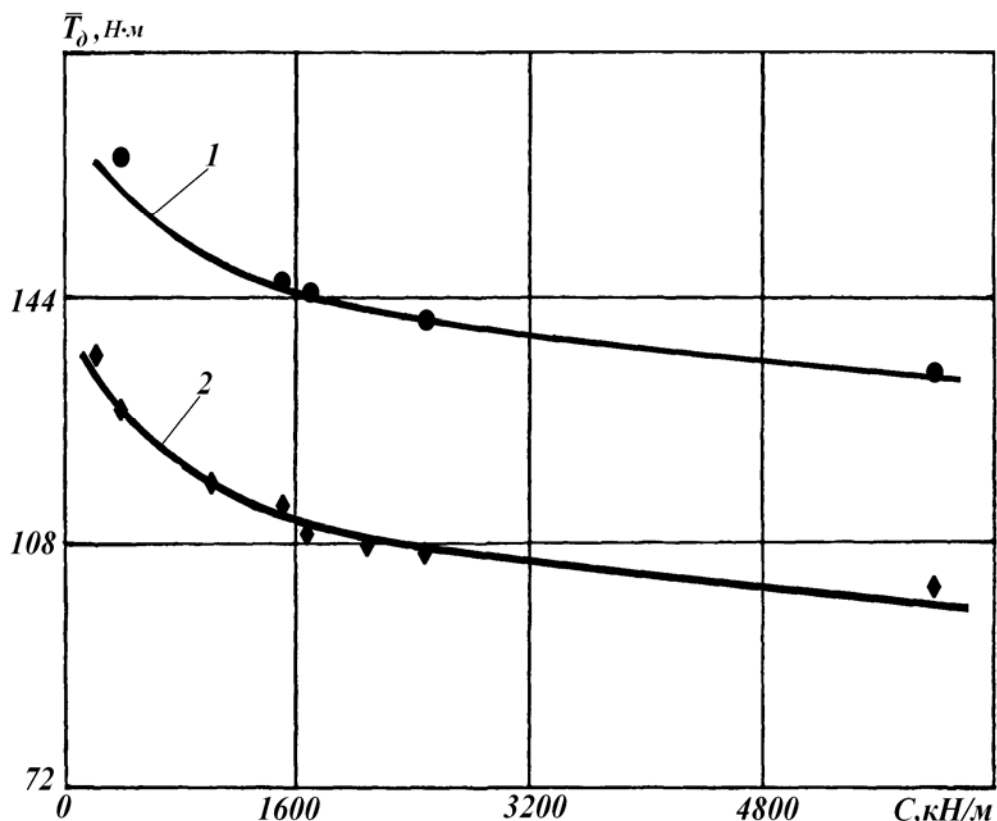
№ серії	P_u , МПа	Типорозмір долота	Емпіричні залежності	Емпіричне значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умови $\sigma_o < 0,1\bar{T}_a$
1-8	3120	Ш-76ОК-ЦА	$\bar{T}_o = 222,313 \cdot C^{-9,239122 \cdot 10^{-2}}$	-0,9863 P > 0,999	1,64 < 11,5
9-13	2500	Ш-93Т-ЦА	$\bar{T}_o = 275,738 \cdot C^{-8,61558 \cdot 10^{-2}}$	-0,9936 P > 0,999	0,59 < 14,5

Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями \bar{T}_o і C

Умови задовільної апроксимації емпіричними залежностями виконуються. Вибіркі експериментальних та розрахункових значень середнього значення обертового моменту на долоті, одержаних за різних рівнів жорсткості C бурильного інструменту, наведено в табл. 8. Графіки підібраних залежностей $\bar{T}_o = f(C)$ зображено на рис. 4.

Таблиця 8. Експериментальні та розрахункові значення середнього значення обертового моменту на долоті

C	кН/м	225	400	1000	1480	1700	2100	2500	6000
Експ. дані	Н·м	135,5	126,57	120,5	113,18	109,59	108,72	107,5	100,65
Формула	$\bar{T}_\theta = 222,313 \cdot C^{-9,239122 \cdot 10^{-2}}$								
\bar{T}_θ	Н·м	134,79	127,81	117,43	113,26	111,81	109,65	107,9	99,52
C	кН/м	-	400	-	1480	1700	-	2500	6000
Експ. дані	Н·м	-	177,27	-	143,18	140,4	-	133,06	130,87
Формула	$\bar{T}_\theta = 344,756 \cdot C^{-0,1171153}$								
\bar{T}_θ	Н·м	-	170,91	-	146,63	144,27	-	137,90	124,46



1(●) - долото 93Т, р_ш=2500МПа; 2(◆) - долото 76ОК, р_ш=3120МПа

Рис. 4. Графіки залежностей моментоемності процесу буріння від жорсткості бурильного інструменту

В табл. 9 наведено статистичні характеристики миттєвих значень обертового моменту T_{oi} на долоті паралельних дослідів третьої групи (серії 14-25) за різних значень β . Буріння велось долотом III-93Т-ЦА в блоках піскови́ка воротищенської світи, складених з двох пропластків твердістю $p_{u1} = 1440$ МПа і $p_{u2} = 2050$ МПа, за постійних осьового навантаження $F_{CT} = 25$ кН та частоти обертання $n_{\phi} = 82$ хв⁻¹. Жорсткість бурильного інструменту встановлювалась на мінімальному рівні $C_{min} = 225$ кН/м. Для зміни демпфування бурильного інструменту використовувався гідравлічний поглинач коливань.

Таблиця 9. Статистичні характеристики вибірок миттєвих значень обертового моменту T_{oi} паралельних дослідів за результатами 14-25 серій експериментальних досліджень

№ серії	p_u , МПа	β , кН·с/м	Об'єм миттєвих значень T_{oi}	Статистичні характеристики вибірок	
				Середнє значення \bar{T}_{ϕ} , Н·м	Дисперсія D_T , (Н·м) ²
14	1440	0,1	169	199,35	5885
15		40	104	168,26	1325
16		50	208	159,97	980
17		70	196	143,95	593
18		80	208	130,5	724
19		90	104	116,03	915
20	2050	0,1	249	179,43	3997
21		40	234	143,79	1092
22		50	208	126,94	1031
23		70	208	100,94	798
24		80	208	93,43	1098
25		90	104	82,33	1151

В табл. 10 наведено результати перевірки нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок $H_0: D_{Tj} = D_{Tk} (j \neq k)$ за альтернативних їм $H_1: D_{Tj} \neq D_{Tk} (j \neq k)$.

Для тих серій, для яких нульова гіпотеза про рівність дисперсій вибірок миттєвих значень обертового моменту для яких не відхиляється, проводимо перевірку гіпотези про рівність середніх вибірових $H_0: \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ok} (j \neq k)$ за альтернативних їм $H_1: \bar{T}_{oj} > \bar{T}_{ok} (j \neq k)$.

Таблиця 10. Перевірка нульових гіпотез про рівність дисперсій вибірок, $\alpha=0,02$

№ серії	β , кН·с/ м	D_T , (Н·м) ²	Об'єм миттєвих значень T_{di}	Перевірка умови $F_{cn} < F_{кр}$	Висновок про гіпотезу $H_0: D_{Tj} = D_{Tk}$ ($j \neq k$)
1	2	3	4	5	6
14	0,1	5885	169	4,44>1,522	Не підтверджена
15	40	1325	104		
14	0,1	5885	169	6,01>1,41	Не підтверджена
16	50	980	208		
14	0,1	5885	169	9,92>1,421	Не підтверджена
17	70	593	196		
14	0,1	5885	169	8,13>1,41	Не підтверджена
18	80	724	208		
14	0,1	5885	169	6,43>1,526	Не підтверджена
19	90	915	104		
15	40	1325	104	1,352<1,47 4	Підтверджена
16	50	980	208		
15	40	1325	104	2,234>1,48 2	Не підтверджена
17	70	593	196		
15	40	1325	104	1,83>1,477	Не підтверджена
18	80	724	208		
15	40	1325	104	1,448<1,58 1	Підтверджена
19	90	915	104		
16	50	980	208	1,653>1,39 1	Не підтверджена
17	70	593	196		
16	50	980	208	1,353<1,38 5	Підтверджена
18	80	724	208		
16	50	980	208	1,071<1,5	Підтверджена
19	90	915	104		
17	70	593	196	1,22<1,391	Підтверджена
18	80	724	208		
17	70	593	196	1,54>1,478	Не підтверджена
19	90	915	104		
18	80	724	208	1,26<1,474	Підтверджена
19	90	915	104		
20	0,1	3997	249	3,33>1,368	Не підтверджена
21	40	1092	234		
20	0,1	3997	249	3,88>1,377	Не підтверджена
22	50	1031	208		

Продовження табл. 10

1	2	3	4	5	6
20	0,1	3997	249	5,01>1,377	Не підтверджена
23	70	798	208		
20	0,1	3997	249	3,64>1,377	Не підтверджена
24	80	1098	208		
20	0,1	3997	249	3,47>1,494	Не підтверджена
25	90	1151	104		
21	40	1092	234	1,06<1,38	Підтверджена
22	50	1031	208		
21	40	1092	234	1,37<1,38	Підтверджена
23	70	798	208		
21	40	1092	234	1,01<1,376	Підтверджена
24	80	1098	208		
21	40	1092	234	1,05<1,466	Підтверджена
25	90	1151	104		
22	50	1031	208	1,29<1,385	Підтверджена
23	70	798	208		
22	50	1031	208	1,06<1,385	Підтверджена
24	80	1098	208		
22	50	1031	208	1,12<1,474	Підтверджена
25	90	1151	104		
23	70	798	208	1,38<1,385	Підтверджена
24	80	1098	208		
23	70	798	208	1,44<1,474	Підтверджена
25	90	1151	104		
24	80	1098	208	1,05<1,474	Підтверджена
25	90	1151	104		

За результатами перевірки нульових гіпотез для серій 14-25 було встановлено наступне:

- зміна демпфування бурильного інструменту не є значущою при порівнянні дисперсій вибірок миттєвих значень обертового моменту T_{oi} паралельних дослідів для значень демпфування $\beta=40; 50; 70; 80; 90$ кН·с/м незалежно від твердості гірської породи;

- нульова гіпотеза про рівність середніх вибірових з ймовірністю більшою за 0,95 відхиляється для всіх значень демпфування $\beta=0,1; 40; 50; 70; 80; 90$ кН·с/м незалежно від твердості гірської породи;

- зі зменшенням демпфування β бурильного інструменту середнє значення обертового моменту на долоті зростає.

Таблиця 11. Перевірка нульових гіпотез про рівність середніх вибі-
ркових, $\alpha=0,05$

№ серії	$\bar{T}_0,$ Н·м	$D_T,$ (Н·м) ²	Об'єм миттєвих значень T_{oi}	Перевірка умови $T_{cn} < T_{кр}$	Висновок про гіпотезу $H_0 : \bar{T}_{oj} = \bar{T}_{ок}$ ($j \neq k$)	S(t)	Ймовір- ність випадкової похибки
15	168,26	1325	104	1,984>1,65	Не підтверджена	0,976	0,0237
16	159,97	980	208				
15	168,26	1325	104	11,25>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
19	116,03	915	104				
16	159,97	980	208	10,30>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
18	130,5	724	208				
16	159,97	980	208	11,95>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
19	116,03	915	104				
17	143,95	593	196	5,28>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
18	130,5	724	208				
18	130,5	724	208	4,13>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
19	116,03	915	104				
21	143,79	1092	234	5,43>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
22	126,94	1031	208				
21	143,79	1092	234	14,69>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
23	100,94	798	208				
21	143,79	1092	234	15,97>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
24	93,43	1098	208				
21	143,79	1092	234	15,49>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
25	82,33	1151	104				
22	126,94	1031	208	8,77>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
23	100,94	798	208				
22	126,94	1031	208	10,47>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
24	93,43	1098	208				
22	126,94	1031	208	11,14>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
25	82,33	1151	104				
23	100,94	798	208	2,49>1,65	Не підтверджена	0,9 93	0,007
24	93,43	1098	208				
23	100,94	798	208	4,82>1,65	Не підтверджена	1,0	0,0
25	82,33	1151	104				
24	93,43	1098	208	2,74>1,65	Не підтверджена	0,9 94	0,006
25	82,33	1151	104				

В табл. 12 наведені емпіричні кореляційні залежності $\bar{T}_o = f(\beta)$ та результати перевірки умов задовільної апроксимації цими залежностями експериментальних даних.

Таблиця 12. Результати підбору залежностей $\bar{T}_o = f(\beta)$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

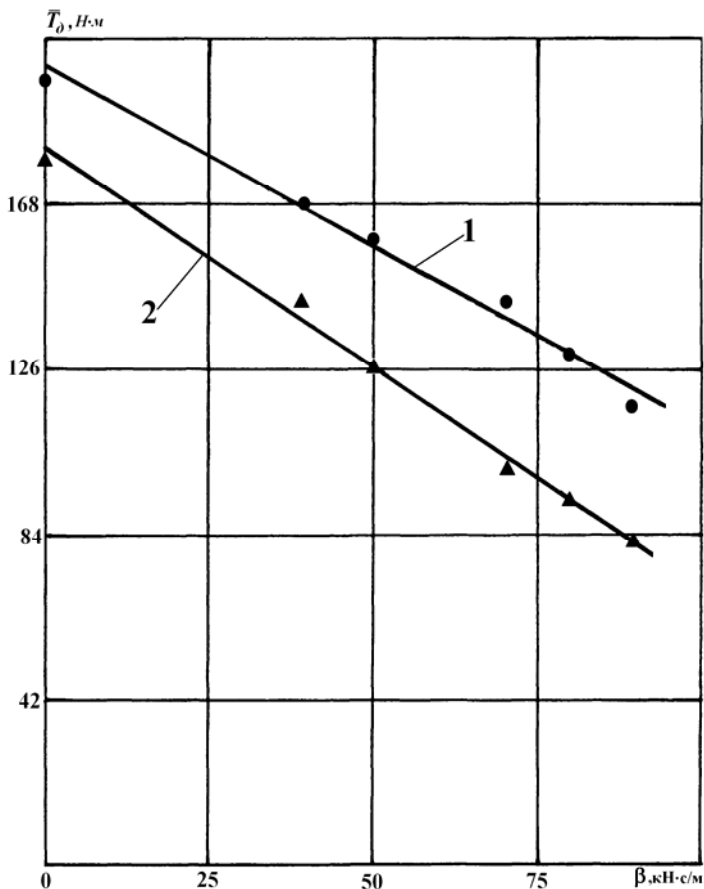
№ серії	p_{ui} , МПа	Емпіричні залежності	Емпіричне значення коефіцієнту кореляції	Перевірка умови $\sigma_o < 0,1\bar{T}_o$
14-19	1440	$\bar{T}_o = 202,478 - 0,899149 \cdot \beta$	-0,9922 P>0,95	3,73<15
20-25	2050	$\bar{T}_o = 182,177 - 1,109376 \cdot \beta$	-0,9958 P>0,95	3,29<12

Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями \bar{T}_o і β

Умови задовільної апроксимації емпіричними залежностями виконуються. Вибірki експериментальних та розрахункових значень середнього значення обертового моменту на долоті, одержаних за різних рівнів демпфування β бурильного інструменту, наведено в табл. 13. Графіки підібраних залежностей $\bar{T}_o = f(\beta)$ зображено на рис. 5.

Таблиця 13. Експериментальні та розрахункові значення середнього значення обертового моменту на долоті

$p_{ui} = 1440$ МПа							
β	кН·с/м	0,1	40	50	70	80	90
Експ. дані	Н·м	199,35	168,26	159,97	143,95	130,5	116,03
Формула		$\bar{T}_o = 202,478 - 0,899149 \cdot \beta$					
\bar{T}_o	Н·м	202,39	166,51	157,52	139,54	130,55	121,55
$p_{ui} = 2050$ МПа							
β	кН·с/м	0,1	40	50	70	80	90
Експ. дані	Н·м	179,43	143,79	126,94	100,94	93,43	82,33
Формула		$\bar{T}_o = 182,177 - 1,109376 \cdot \beta$					
\bar{T}_o	Н·м	182,07	137,80	126,71	104,52	93,43	82,33



1(●) – пропласток твердістю 1440МПа; 2(▲) – пропласток твердістю 2050МПа

Рис. 5. Залежності середнього значення обертового моменту на долоті (моментоемності) від демпфування під час буріння у блоках пісковика воротищенської світи

Висновки

1. Зменшення жорсткості бурильного інструменту збільшує моментоемність (середнє значення обертового моменту на долоті) \bar{T}_0 незалежно від типорозміру долота в середньому на 14-22%.

2. Зменшення демпфування від 90 до 0,1 кН·с/м веде до збільшення \bar{T}_0 . Інтенсивність збільшення \bar{T}_0 залежить від фізико-механічних характеристик породи. За зміни коефіцієнту демпфування від 90 до 0,1 кН·с/м (в інтервалі твердості породи за штампом 1440-2050 МПа) це збільшення склало 42-54%.

3. Ймовірність існування емпіричних кореляційних залежностей $\bar{T}_0 = f(C)$ та $\bar{T}_0 = f(\beta)$ перевищує 0,95.

Література

1. Григорян Н.А. Анализ процесса турбинного бурения / Н.А.Григорян, Р.Е.Багиров. – М.: Недра, 1982. – 207с.
2. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин / А.И.Спивак, А.Н.Попов. – М.: Недра, 1979. – 239 с.
3. Потапов Ю.Ф. Разрушение горных пород трехшарошечными долотами малого диаметра / Ю.Ф.Потапов, В.В. Симонов. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 86 с.
4. Мавлютов М.Р. Некоторые результаты экспериментального исследования колебаний осевой и моментной нагрузок на шарошечном долоте (Частина книги) / М.Р.Мавлютов, Р.Х.Санников // Труды УНИ. – 1972. – Вып. VIII. – С. 33-41.
5. Буровий стенд для дослідження процесу руйнування гірських порід і динаміки бурильного інструменту / Б.Д.Борисевич, В.М.Мойсишин, Р.Б.Щербій [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – №3(32). – С.23-29.
6. Пристрої зміни динаміки буріння на буровому стенді ІФНТУНГ / Б.Д.Борисевич, В.М.Мойсишин, Р.Б.Щербій [та ін.] // Розробка та розвідка нафтових і газових родовищ. – 2009. – №4(33). – С. 18-23.

Стаття надійшла до редакційної колегії 12.12.2012 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., професором Векериком В.І., д.т.н., професором Світлицьким В.М. (м. Київ)

**DETERMINATION OF EMPIRIC DEPENDENCES
OF MEAN VALUE OF CIRCULATING MOMENT ON A BIT
FROM INFLEXIBILITY AND DEMPFINATION
OF BORING INSTRUMENT**

V. Moysyshyn, D. Borysevych, Yu. I. Gavryliv, I. Smaga

Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;

15, Carpathians street, Ivano-Frankivs'k 76019;

ph. +380 (3422) 4-22-64, 4-24-53, fax. +380 (3422) 4-21-39

For determination of empiric dependences between the mean value of circulating moment on a bit (moment capacity) from one side and parameters of boring instrument (by inflexibility C and dempfnation β) from second one, on a boring stand IFNTOUNG were twelve conducted five series of the researches after a classic plan broken on three groups. For the first group of researches inflexibility of boring instrument was set at eight level – 225, 400, 1000, 1480, 1700, 2100, 2500 and 6000 kN/m, and dempfnation was permanent and made 0,1 kN's/m. For the second group the inflexibility of boring instrument was set at five level – 400, 1480, 1700, 2500 and 6000

kN/m and dempfination also was permanent and made 0,1 kN's/m. For the third group the inflexibility was permanent and made 225 kN/m dempfination was set at six level 0,1, 40, 50, 70, 80 and 90 kN's/m. In the interval of dempfination 40-90 kN's/m was used hydraulic absorber of vibrations (hydraulic spring). For comparison of statistical descriptions of the selections with the instantaneous values of circulating moment, got at different levels of inflexibility and dempfination statistical verification of parametric hypotheses was applied. As a result of these researches, the following is set:

1. Reduction of inflexibility of boring instrument multiplies moment capacity regardless of type size of bit on the average on 14-22%;

2. Reduction of dempfination from 90 to 0,1 kN's/m conduces \bar{T}_0 to the increase. Intensity of \bar{T}_0 increase depends on physical mechanical descriptions of breed. For the changes of dempfination from 90 to 0,1 kN's/m (in the interval of hardness of breed after the stamp of 1440-2050 MPa) this increase was 42-54%;

3. Probability of existence of empiric correlation dependences $\bar{T}_0 = f(C)$ and $\bar{T}_0 = f(\beta)$ exceeds 0,95.

Key words: *boring instrument, inflexibility, dempfination, moment capacity, statistical descriptions, parametric hypotheses, empiric correlation dependences.*