

Буріння свердловин

УДК 622.24

DOI: 10.31471/2304-7399-2019-1(53)-81-93

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТЕНДОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСЬОВОЇ ДИНАМІЧНОЇ СИЛИ ПРИ БУРІННІ ТРИШАРОШКОВИМИ ДОЛОТАМИ

В. М. Мойсишин, М. В. Лисканич, Р. А. Жовнірук, Є. П. Майкович
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380(3422) 4-21-23; e-mail: math@nung.edu.ua*

Метою пропонованої статті є встановлення за результатами експериментальних досліджень, проведених на буровому стенді Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, причин виникнення коливань бурильного інструменту та основних закономірностей розподілу загальної енергії процесу зміни осьової динамічної сили по частотах спектру.

Змінними факторами під час проведення експериментів за класичним планом були жорсткість бурильного інструменту і твердість гірської породи. За результатами досліджень встановлено, що основна потужність процесу зміни осьової динамічної сили під час буріння тришарошковими долотами знаходиться в частотному діапазоні 0–32 Гц, в якому виділяються три гармонічні частотні складові, які відповідають теоретичним значенням низькочастотних та зубцевих коливань долота і власним коливанням корпусу стенда. Наведено експериментальні значення частот гармонічних складових енергетичного та нормованого спектрів, а також величини дисперсії осьової динамічної сили та її нормовані значення на цих частотах. З'ясовано, що зі зменшенням жорсткості бурильного інструмента максимум енергії осьової динамічної сили переміщується з області низькочастотних коливань в область зубцевих коливань, інтенсифікуючи процес руйнування породи і, одночасно, захищаючи інструмент від шкідливого впливу коливань долота. Зменшення жорсткості бурильного інструменту захищає долото від шкідливого впливу коливань, які генерує стенд. Зменшення енергії цих коливань знаходиться в межах від 47 до 77 %.

Ключові слова: осьова динамічна сила, низькочастотні коливання, зубцеві коливання, енергетичний спектр, нормований спектр, жорсткість бурильного інструмента, експериментальні стендові дослідження, коефіцієнт проковзування.

Вступ. Шарошкове долото, рухаючись по нерівній поверхні вибою свердловини і руйнуючи при цьому гірську породу, здійснює вертикальні переміщення, внаслідок чого виникає динамічна складова осьового навантаження, яку називають осьовою динамічною силою $F_{дин}$. Загальне осьове навантаження на долото можна подати сумою двох складових: статичної $F_{oc.ст}$ і динамічної $F_{дин}$, яка в процесі буріння може приймати як додатні так і від'ємні значення, тобто $F_{oc} = F_{oc.ст} \pm F_{дин}$.

Вплив $F_{дин}$ на процес буріння є як позитивним, оскільки збільшується інтенсивність руйнування породи, так і негативним, через появу значних втомних напружень в різьбових з'єднаннях бурильної колони та зменшення довговічності роботи породоруйнівного інструменту [1]. Для підсилення позитивного та зменшення негативного впливу $F_{дин}$ в конструюванні бурильної колони використовують регулятори динамічної взаємодії колони з вибоєм, основними характеристиками яких є жорсткість та коефіцієнт демпфування [2].

Одним із методів вивчення впливу параметрів цих пристроїв є проведення досліджень вібрацій бурильної колони в промислових умовах. На результати цих досліджень та їх аналіз впливають такі фактори: відсутність достовірної інформації про фізико-механічні характеристики розбурених порід у відповідний момент часу; неможливість багаторазової зміни в заданому діапазоні факторів, які впливають на процес руйнування породи; відсутність вимірної апаратури для реєстрації параметрів процесу взаємодії долота з вибоєм безпосередньо на вибої.

Більш надійним способом отримання достовірних результатів є стендові експериментальні дослідження. Під час їх проведення режим буріння і параметри конструювання бурильного інструмента мають строго фіксовані значення та можливість їх зміни у певних межах.

Постановка задачі дослідження. Метою роботи є встановлення за результатами експериментальних досліджень, проведених на буровому стенді ІФНТУНГ [7], причин виникнення коливань бурильного інструменту та основних закономірностей розподілу загальної енергії процесу зміни осьової динамічної сили по частотах спектру. Дослідження проводились за класичним планом (див. табл. 1).

Таблиця 1. Класичний план експериментальних досліджень

| № серії | Постійні параметри | | | | Змінні параметри | |
|---------|--------------------|--------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | $F_{ст}, кН$ | $n, хв^{-1}$ | $\beta, кН \cdot с/м$ | типорозмір долота | порода, твердість $p_w, МПа$ | жорсткість, $C, кН/м$ |
| 1 | 25 | 82 | 0,1 | ІІІ-93Т-ЦА | пісковик воротищенської світи, 1440 | 225 |
| 2 | | | | | | 6000 |
| 3 | | | | | пісковик воротищенської світи, 2050 | 225 |
| 4 | | | | | | 6000 |
| 5 | | | | | пісковик стрийської світи, 2500 | 225 |
| 6 | | | | | | 6000 |
| 7 | | | | | граніт, 3120 | 225 |
| 8 | | | | | | 6000 |

Змінними факторами під час проведення експериментів за класичним планом були жорсткість бурильного інструменту, яка встановлювалась на двох рівнях, та твердість гірської породи, яка встановлювалась на чотирьох рівнях. За роботами [4, 8] процес зміни осьової динамічної сили на долоті, для часової довжини реалізацій 2-4 с, є випадковим, стаціонарним та ергодичним, тобто оцінку внутрішньої структури осьової динамічної сили можна проводити за спектральною щільністю однієї реалізації, яка представляє собою розподіл по частотному спектру загальної дисперсії процесу зміни осьової динамічної сили. Згідно [6] дисперсія вибірки миттєвих значень віброприскорення та середнє значення потужності електричного сигналу мають однаковий фізичний зміст, тобто замість фрази «дисперсія вибірки миттєвих значень віброприскорення бурильної колони» використовуватимемо вираз «потужність процесу зміни віброприскорення бурильної колони». Розподіл загальної потужності по частотах спектру будемо називати енергетичним спектром. Аналогічний висновок можна зробити і для загальної дисперсії вибірки миттєвих значень осьової динамічної сили.

Основні закономірності розподілу загальної енергії процесу зміни осьової динамічної сили по частотах спектру. Згідно з даними експериментальних досліджень [1, 2] поздовжні коливання корпусу тришарошкового долота, як правило, двохкомпонентні, виділяють низькочастотні і зубцеві складові. Низькочастотні коливання тришарошкового долота виникають під час перекочування шарошок, як гладких конусів, по вибою свердловини.

Частоти цих коливань визначаються за формулою

$$f_H = \frac{N \cdot n_{\text{ДОЛ}}}{60} k \text{ Гц}, \quad (1)$$

де N – число шарошок долота, які знаходяться в контактi з вибоєм, $N=1$ і 3 ; $n_{\text{ДОЛ}}$ – частота обертання долота, хв^{-1} ; k – коефіцієнт кратності до числа шарошок $N=3$, $k=1, 2, 3$ [5].

За частоти обертання $n_{\text{ДОЛ}} = 82 \text{хв}^{-1}$ (див. табл. 1) можливі теоретичні значення низькочастотних коливань визначаються за формулами

$$f_{H1} = \frac{N \cdot n_{\text{ДОЛ}}}{60} k = \frac{1 \cdot 82}{60} \cdot 1 = 1,366 \approx 1,37 \text{ Гц}, \quad (2)$$

$$f_{H2} = \frac{N \cdot n_{\text{ДОЛ}}}{60} k = \frac{3 \cdot 82}{60} \cdot 1 \approx 4,11 \text{ Гц}, \quad (3)$$

$$f_{H3} = \frac{N \cdot n_{\text{ДОЛ}}}{60} k = \frac{3 \cdot 82}{60} \cdot 2 \approx 8,22 \text{ Гц}, \quad (4)$$

$$f_{H4} = \frac{N \cdot n_{\text{ДОЛ}}}{60} k = \frac{3 \cdot 82}{60} \cdot 3 \approx 12,33 \text{ Гц}. \quad (5)$$

Коливання долота, які виникають при перекочуванні шарошок долота з зубця на зубець, називаються зубцевими. Теоретичне значення

частоти цих коливань залежить від розміщення зубців на поверхні шарошок і визначається за формулою

$$f_{зуб} = \frac{D_{ДОЛ} \cdot n_{ДОЛ} \cdot Z_{min}}{d_{Ш} \cdot 60} \text{ Гц}, \quad (6)$$

де $D_{ДОЛ}$ – діаметр долота; $d_{Ш}$ – діаметр шарошки; Z_{min} – мінімальне число зубців периферійного вінця шарошки долота.

Геометричні параметри долота ІІІ-93Т-ЦА наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Геометричні параметри долота ІІІ-93Т-ЦА

| № шарошки | Діаметр шарошки | Периферійний вінець | |
|-----------|-----------------|----------------------|------------------------|
| | | крок зубців t , мм | число зубців Z_{msn} |
| I | 58,3 | 13,4 | 14 |
| II | 58,75 | 14,1 | 13 |
| III | 59,45 | 12,2 | 15 |

Під час буріння шарошковими долотами із фрезерованими зубцями на вибої свердловини утворюється зубчаста периферійна рейка (див. рис. 1), яка впливає на процес взаємодії долота з вибоєм і збільшує або зменшує коефіцієнт проковзування. Результатом цього є відмінність між теоретичним і експериментальним значеннями частоти зубцевих коливань.

За кількістю виступів периферійної рейки експериментальне значення частоти зубцевих коливань визначається за формулою

$$f_{зуб} = \frac{1}{t_{зуб}} = \frac{Z_P}{T} \text{ Гц}, \quad (7)$$

де $t_{зуб}$ – час зубкових коливань, с; Z_P – число виступів рейки; T – час руху шарошки по периферійній рейці, с, що визначається за формулою

$$T = \frac{L}{V} = \frac{\pi \cdot d_{СВ}}{\omega_{Ш} \cdot R_{Ш}} = \frac{\pi \cdot d_{СВ} \cdot i}{\omega_D \cdot R_{Ш}} = \frac{\pi \cdot d_{СВ} \cdot 30 \cdot d_{Ш}}{\pi \cdot n_{ДОЛ} \cdot R_{Ш} \cdot D_{ДОЛ}} = \frac{d_{СВ} \cdot 60}{n_{ДОЛ} \cdot D_{ДОЛ}} \text{ с}, \quad (8)$$

де $d_{СВ}$ – діаметр свердловини, мм; $\omega_{Ш}$ – кутова швидкість обертання шарошки, с^{-1} ; $R_{Ш}$ – радіус шарошки, мм.

Під час буріння в пісковикі воротищенської світи число виступів периферійної рейки – $Z_P=18$ (див. рис. 1), за формулами (6) – (8)

$$f_{зуб}^T = \frac{D_{ДОЛ} \cdot n_{ДОЛ} \cdot Z_{min}}{d_{Ш} \cdot 60} = \frac{93 \cdot 82 \cdot 13}{58,75 \cdot 60} = 28,12 \approx 28 \text{ Гц}, \quad (9)$$

$$\text{При } d_{СВ} \approx D_{ДОЛ} \rightarrow T = \frac{d_{СВ} \cdot 60}{n_{ДОЛ} \cdot D_{ДОЛ}} = \frac{93 \cdot 60}{82 \cdot 93} = 0,7317 \approx 0,732 \text{ с}, \quad (10)$$

$$f_{зуб}^E = \frac{1}{t_{зуб}} = \frac{Z_P}{T} = \frac{18}{0,732} = 24,59 \approx 24,6 \text{ Гц}. \quad (11)$$

Під час буріння в пісковнику стрийської світи та граніті число виступів периферійної рейки $Z_P=19$, за формулою (11)

$$f_{3VB}^E = \frac{l}{t_{3VB}} = \frac{Z_P}{T} = \frac{19}{0,732} = 25,956 \cong 26 \text{ Гц}. \quad (12)$$



Рис. 1. Поверхня вибою свердловини під час буріння долотом 93Т в пісковнику воротищенської світи твердістю $p_{\text{ш}}=1440\text{МПа}$, число зубців периферійної рейки – 18

Під час проведення експериментальних досліджень спектр осрової динамічної сили містить частоти, які генеруються стендом при його роботі [3]. Для встановлення цих частот проводився аналіз енергетичного спектра віброприскорень корпусу стенда (див. рис.2), одержаний при нерухомому обертачі ($n_{\text{дол}}=0\text{хв}^{-1}$). Спектр коливань містить сім гармонічних складових, на дві з яких (f_{C1} і f_{C2}) припадає основна енергія коливного процесу.

В табл. 3 наведені частоти гармонічних складових спектра віброприскорення стенда і відповідні цим частотам значення дисперсії та нормовані значення спектральної щільності віброприскорення стенда. Нормовані значення, які є відсотками від загальної енергії зміни процесу, визначаються за формулою

$$S_W^n(f_i) = \frac{S_W(f_i)}{D_W}, \quad (13)$$

де $S_W(f_i)$ – значення дисперсії спектра на частоті i -ї гармонічної складової; D_W – значення загальної дисперсії процесу зміни віброприскорення стенда під час його роботи.

Загальна дисперсія віброприскорення стенда становить $D_W = (0,162 м / с^2)^2$.

Таблиця 3. Частоти гармонічних складових спектра віброприскорення стенда та розподіл енергії віброприскорення по цих частотах

| | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|
| Частота максимумів спектра, Гц | 2,5 | 17,5 | 32,5 | 50 | 70 | 82,5 | 100 |
| Дисперсія $S_A, (м/с^2)^2$ | 0,00118 | 0,00958 | 0,00159 | 0,0005 | 0,0003 | 0,005 | 0,0074 |
| Нормоване значення спектральної щільності | 0,007 | 0,059 | 0,009 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,046 |

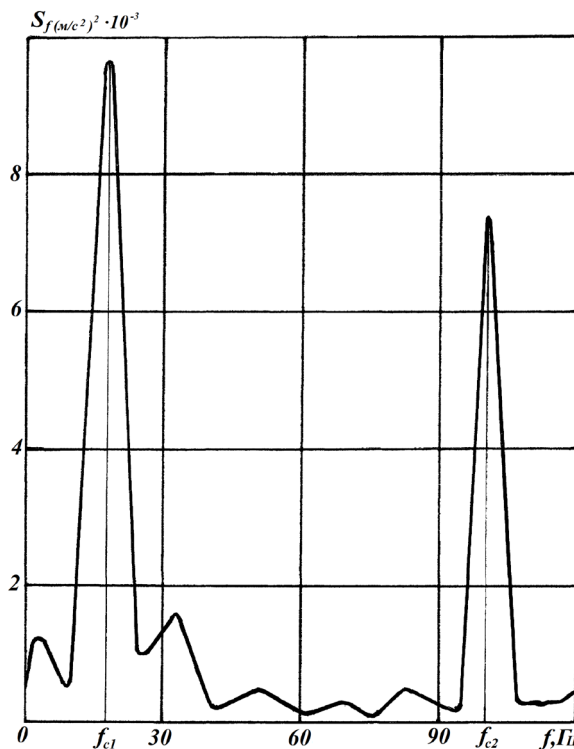
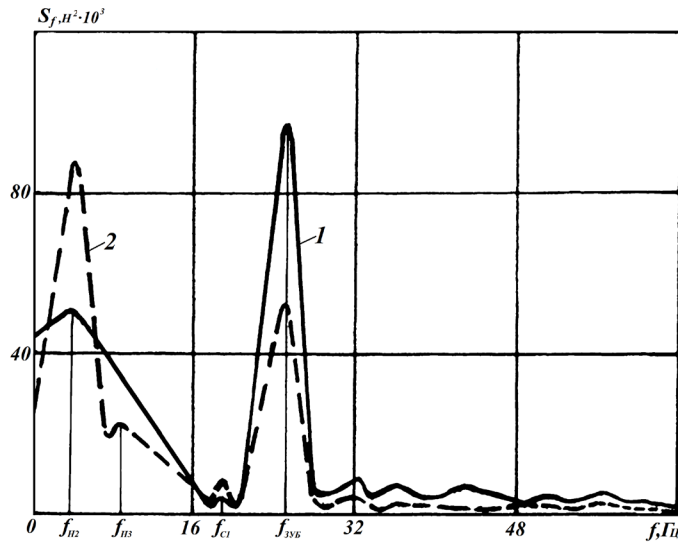


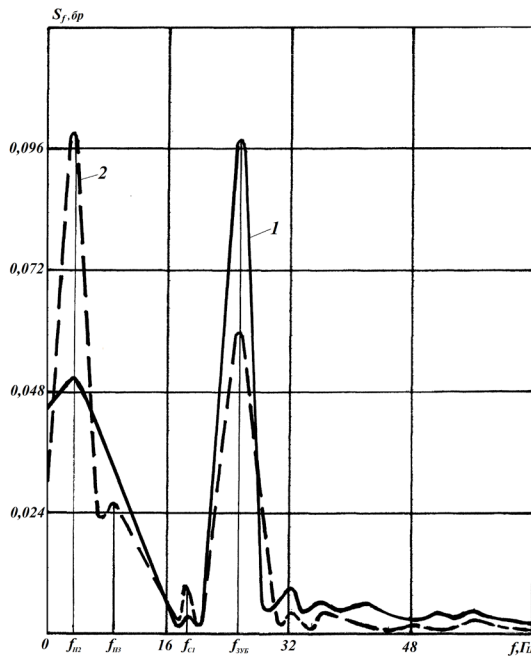
Рис. 2. Енергетичний спектр віброприскорення корпусу стенда при нерухомому обертанні

На рисунках 3 – 8 зображено енергетичні та нормовані спектри осьової динамічної сили 1,3 та 4-тої серій експериментальних досліджень (див. табл. 1).



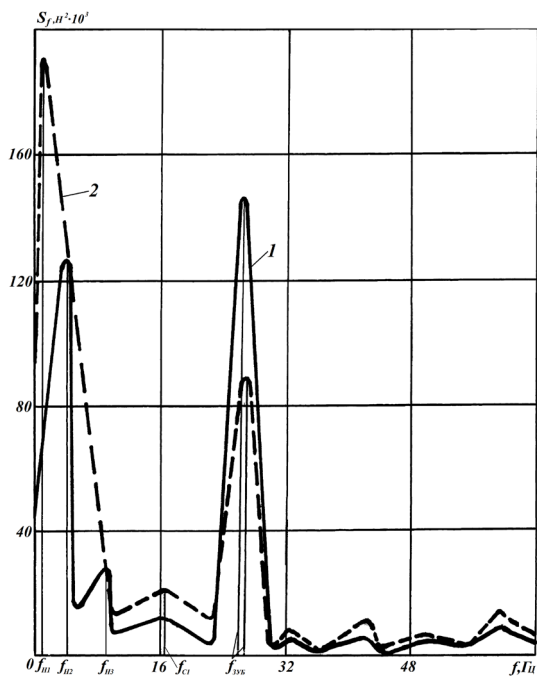
1 – $C=225\text{кН/м}$; 2 – $C=6000\text{кН/м}$

Рис. 3. Енергетичний спектр осьової динамічної сили під час буріння в пісковіку воротищенської світи твердістю $\rho_{ш}=1440\text{МПа}$



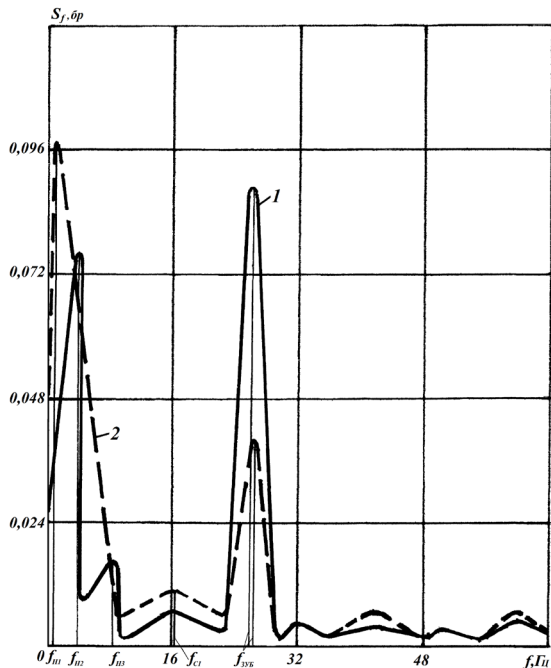
1 – $C=225\text{кН/м}$; 2 – $C=6000\text{кН/м}$

Рис. 4. Нормований спектр осьової динамічної сили під час буріння в пісковіку воротищенської світи твердістю $\rho_{ш}=1440\text{МПа}$



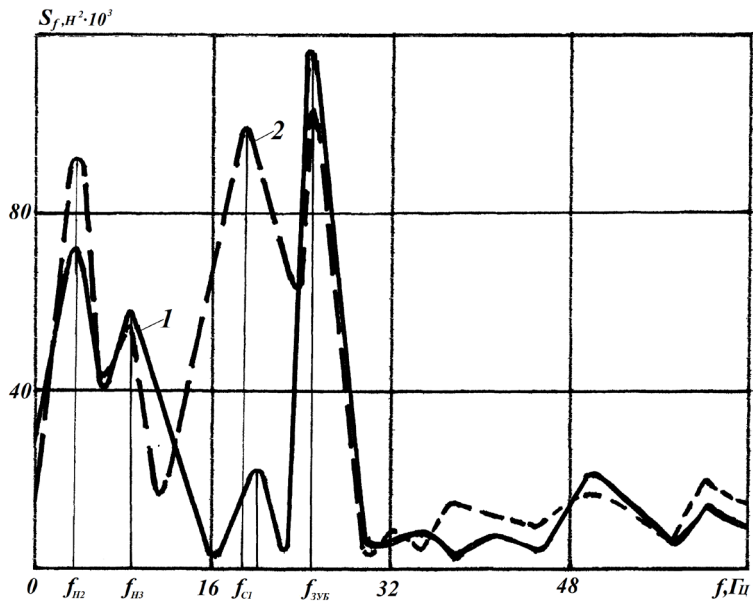
1 – $C=225\text{кН/м}$; 2 – $C=6000\text{кН/м}$

Рис. 5. Енергетичний спектр осової динамічної сили під час буріння в пісковіку стрийської світи твердістю $\rho_{ш}=2500\text{МПа}$



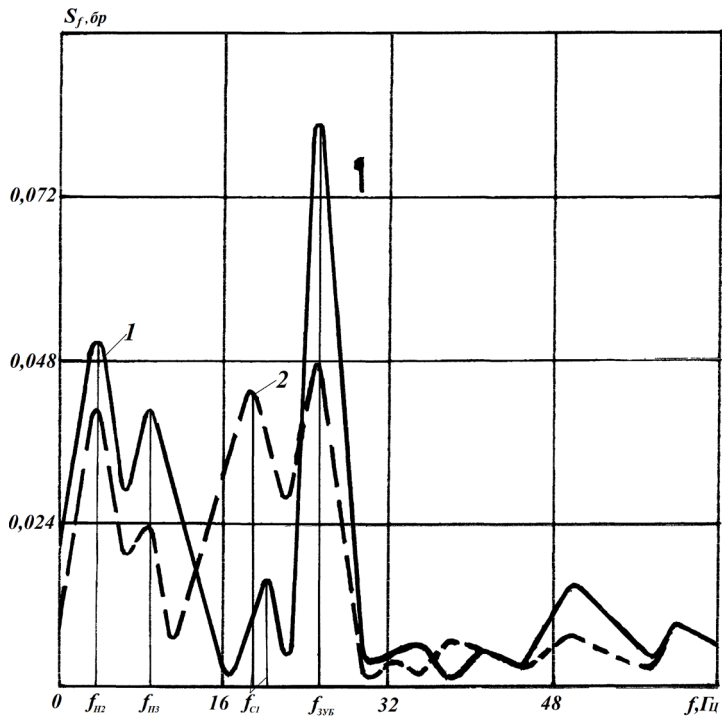
1 – $C=225\text{кН/м}$; 2 – $C=6000\text{кН/м}$

Рис. 6. Нормований спектр осової динамічної сили під час буріння в пісковіку стрийської світи твердістю $\rho_{ш}=2500\text{МПа}$



1 – $C=225$ кН/м; 2 – $C=6000$ кН/м

Рис. 7. Енергетичний спектр осьової динамічної сили під час буріння в граніті твердістю $\rho_{ш}=3120$ МПа



1 – $C=225$ кН/м; 2 – $C=6000$ кН/м

Рис. 8. Нормований спектр осьової динамічної сили під час буріння в граніті твердістю $\rho_{ш}=3120$ МПа

Вони свідчать, що основна частина загальної енергії процесу зміни сили знаходиться в частотному діапазоні 0 – 32Гц, в якому присутні низькочастотні та зубцеві коливання долота і перша основна гармонічна складова коливань корпусу стенда. В табл. 4 в частотному діапазоні 0 – 32Гц наведено експериментальні значення частот гармонічних складових енергетичного та нормованого спектрів, а також дисперсії осьової динамічної сили та її нормовані значення на цих частотах.

Таблиця 4. Розподіл енергії осьової динамічної сили в частотному діапазоні 0-32Гц

| № виб. | Рш, МПа | С, кН/м | Частоти локальних максимумів спектра осьової динамічної сили, її дисперсія та нормована спектральна щільність на цих частотах | | | | | |
|--------|---------|---------|---|--------|--------|-------|--------|--------|
| | | | частота, Гц | 3,75 | - | - | 18,75 | 25 |
| 1 | 1440 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 50382 | - | - | 3724 | 96663 |
| | | | нормоване значення | 0,0505 | - | - | 0,0037 | 0,0969 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 8,75 | - | 18,75 | 25 |
| 2 | 6000 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 86091 | 22291 | - | 8423 | 51726 |
| | | | нормоване значення | 0,099 | 0,0255 | - | 0,0097 | 0,0595 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 7,5 | 12,5 | 18,75 | 25 |
| 3 | 2050 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 54068 | 44607 | 20257 | 4296 | 100375 |
| | | | нормоване значення | 0,0473 | 0,039 | 0,018 | 0,0037 | 0,0877 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 7,5 | 12,5 | 18,75 | 25 |
| 4 | 6000 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 106689 | 48722 | 21211 | 10423 | 58749 |
| | | | нормоване значення | 0,066 | 0,03 | 0,013 | 0,006 | 0,036 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 8,75 | - | 16,25 | 26,25 |
| 5 | 2500 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 125570 | 27636 | - | 11297 | 147208 |
| | | | нормоване значення | 0,0759 | 0,0167 | - | 0,0068 | 0,0889 |
| | | | частота, Гц | 1,25 | - | - | 16,25 | 26,25 |
| 6 | 6000 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 190960 | - | - | 21411 | 89255 |
| | | | нормоване значення | 0,0972 | -- | - | 0,0109 | 0,0454 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 8,75 | - | 20 | 26,25 |
| 7 | 3120 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 71685 | 57826 | - | 22454 | 117149 |
| | | | нормоване значення | 0,0504 | 0,0407 | - | 0,0158 | 0,0824 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 8,75 | - | 18,75 | 26,25 |
| 8 | 6000 | 225 | дисперсія F_{dun} , (Н) ² | 92222 | 53597 | - | 98770 | 106345 |
| | | | нормоване значення | 0,0404 | 0,0236 | - | 0,0432 | 0,0465 |
| | | | частота, Гц | 3,75 | 8,75 | - | 18,75 | 26,25 |

Згідно даних табл. 4 частота 3,75Гц основної низькочастотної складової спектру f_{H2} , на яку припадає від 4 до 10 відсотків загальної енергії осьової динамічної сили, відповідає теоретичному значенню 4,11Гц, тобто трьом коливанням долота за оберт. Ймовірність появи цієї складової в спектрі коливань – 0,875. Ймовірність появи низькочастотної складової спектру f_{H1} , значення якої 1,25Гц відповідає теоретичному значенню 1,37Гц, тобто одному коливанню долота за оберт, становить – 0,125. Ймовірності появи частот f_{H3} і f_{H4} відповідно становлять 0,75 і 0,25. Зміна жорсткості бурильного інструменту з 6000 до 225кН/м зменшує енергію осьової динамічної сили на частотах f_{H1} і f_{H2} . Відсоток цього зменшення залежить від твердості гірської породи і становить від-

повідно: 1440МПа – 41%; 2050МПа – 49%; 2500МПа – 34%; 3120МПа – 22%, тобто зменшення жорсткості є більш ефективним під час буріння в породах меншої твердості. На енергію низькочастотних складових спектру f_{H3} і f_{H4} , яка у відсотках від загальної енергії, відповідно, становить 1,6-4% і 1,3-2,6%, зміна жорсткості не впливає.

Діапазон частотного спектру 16,25 – 20 Гц відповідає першій основній гармонічній складовій коливаний корпусу стенда $f_{C1}=17,5$ Гц. Зміна жорсткості компоновки з 6000 до 225 кН/м зменшує цю енергію на 55%, 58%, 47% і 77% відповідно для 1 – 8 серій експериментальних досліджень.

Таке зменшення енергії осьової динамічної сили можна пояснити тим, що пристрій зміни жорсткості, який є елементом конструювання бурильного інструменту, одночасно є механічним фільтром, що захищає долото від шкідливого впливу коливаний, які генерує стенд.

Частотний діапазон 25 – 26,25 Гц спектра коливаний осьової динамічної сили – це зубцеві коливаний долота. Відмінність між теоретичними та експериментальними значеннями частот цих коливаний пояснюється проковзуванням шарошок по вибою [1]. Величина проковзування оцінюється емпіричним коефіцієнтом k_{f_1} , який визначається за формулою

$$k_{f_1} = \frac{f_{теор}}{f_{експ}}. \quad (14)$$

Залежно від твердості гірської породи цей коефіцієнт змінюється від 0,879 до 0,929.

В табл. 5 наведено значення дисперсії (енергії) осьової динамічної сили на частотах зубцевих коливаний і її відсоток від загальної дисперсії та значення механічної швидкості буріння для 1 – 8 серій експериментальних досліджень [2].

Таблиця 5. Енергія осьової динамічної сили на частоті зубцевих коливаний

| № виб | R _ш , МПа | С, кН/м | V _{МЕХ} , м/год | Значення частот зубцевих коливаний | Енергія зубцевих коливаний | |
|-------|----------------------|---------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------|
| | | | | | H ² | відсоток |
| 1 | 1440 | 225 | 7,01 | 25 | 96663 | 9,69 |
| 2 | | 6000 | 4,28 | 25 | 51726 | 5,95 |
| 3 | 2050 | 225 | 3,86 | 25 | 100375 | 8,77 |
| 4 | | 6000 | 2,67 | 25 | 58749 | 3,6 |
| 5 | 2500 | 225 | 1,01 | 26,25 | 147208 | 8,89 |
| 6 | | 6000 | 0,65 | 26,25 | 89255 | 4,54 |
| 7 | 3120 | 225 | 0,86 | 26,25 | 117149 | 8,24 |
| 8 | | 6000 | 0,74 | 26,25 | 106345 | 4,65 |

Порівнюючи значення механічної швидкості буріння і значення енергії зубцевих коливаний, можна зробити висновок, що зі збільшенням енергії зубцевих коливаний осьової динамічної сили механічна швидкість буріння збільшується, тобто зменшення жорсткості бурильного інструмента інтенсифікує процес руйнування породи.

Висновки

1. Основна потужність процесу зміну осьової динамічної сили під час буріння тришарошковими долотами знаходиться в частотному діапазоні 0–32 Гц, в якому виділяються три гармонічні частотні складові: низькочастотні коливання корпусу долота, які відповідають трьом коливанням за один оберт, власні коливання, станда та коливання, що виникають внаслідок перекочуванням зубців шарошок поверхнею вибою.

2. Частота зубцевих коливань визначається числом зубців периферійної рейки на вибої свердловини, яка формується вінцем шарошки долота з найбільшим кроком між зубцями.

3. Із зменшенням жорсткості бурильного інструмента максимум енергії осьової динамічної сили переміщуються з області низькочастотних коливань в область зубцевих коливань, інтенсифікуючи процес руйнування породи і, одночасно, захищаючи інструмент від шкідливого впливу коливань долота.

4. Зменшення жорсткості бурильного інструменту захищає долото від шкідливого впливу коливань, які генерує стэнд. Зменшення енергії цих коливаннях знаходиться в межах від 47 до 77%.

Література

1. Балицкий П.В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины. – М.: Недра, 1975. – 293 с.
2. Стійкість і коливання бурильної колони / В.М. Мойсишин, Б.Д. Борисевич, Ю.Л. Гаврилів, С.А. Зінченко. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2013. – 590 с.
3. Борисевич Б.Д. Інформаційна модель процесу зміни осьової динамічної сили при бурінні компоновкою різної жорсткості [Текст] / Б.Д. Борисевич, М.В. Лисканич, Ю.Я. Сітко // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 2001. – Вип. 37 (Том 6). – С. 158–165.
4. Мойсишин В.М. Статистичний аналіз результатів стендових експериментальних досліджень зміни осьової сили при бурінні долотом Ш 93С [Текст] / В.М. Мойсишин, О.М. Лисканич, А.І. Масьовський // Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2015. – №1 (29). – С. 228–245.
5. Мойсишин В.М. Аналіз результатів порівняльних промислових досліджень наддолотних бурових амортизаторів різних конструкцій [Текст] / В.М. Мойсишин, М.В. Лисканич, Р.А. Жовнірук // Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2017. – №2 (38). – С. 171–183.
6. Мойсишин В.М. Вплив наддолотних бурових амортизаторів різних конструкцій на віброприскорення бурильної колони [Текст] / В.М. Мойсишин, Б.І. Смага, Р.А. Жовнірук // Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2018. – №1 (45). – С. 170–180.

7. 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.
8. Статистичний аналіз результатів стендових експериментальних досліджень зміни осьового навантаження на долота різних типів [Текст] / В.М. Мойсишин, О.Ю. Витязь, Я.М. Фем'як та ін. // Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2017. – №1 (37). – С. 179 – 193.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 15.01.2019 р.
Рекомендовано до друку д.т.н. Кунцяком Я.В. (м. Київ),
д.т.н., професором Світлицьким В.М. (м. Київ)*

ANALYSIS OF STAND RESEARCH RESULTS OF AXIAL DYNAMIC FORCE IN DRILLING BY THREE ROLLER CONE BIT

**V. M. Moisyshyn, M. V. Lyskanych, R. A. Zhovnuruk,
Ye. P. Majkovych**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
15, str. Carpatska, Ivano-Frankivsk, 76019;
tel. +380 (3422) 4-21-23; e-mail: math@nung.edu.ua*

The purpose of the proposed article is to establish the causes of oscillations of drilling tool and the basic laws of the distribution of the total energy of the process of changing the axial dynamic force over frequencies of spectrum.

Variable factors during experiments on the classical plan were the rigidity of drilling tool and the hardness of the rock. According to the results of research, the main power of the process of change of axial dynamic force during drilling of three roller cone bits is in the frequency range 0-32 Hz in which three harmonic frequency components are allocated which correspond to the theoretical values of low-frequency and gear oscillations of the chisel and proper oscillations of the bit.

The experimental values of frequencies of harmonic components of energy and normalized spectrum as well as the magnitude of the dispersion of the axial dynamic force and its normalized values at these frequencies are presented. It has been found that with decreasing rigidity of the drilling tool maximum energy of axial dynamic force moves from the low-frequency oscillation region to the tooth oscillation area, intensifying the process of rock destruction and, at the same time, protecting the tool from the harmful effects of the vibrations of the bit. Reducing the rigidity of the drilling tool protects the bit from the harmful effects of the vibrations generated by the stand. The energy reductions in these fluctuations range from 47 to 77%.

Keywords: *axial dynamic force, low frequency oscillations, gear oscillations, spectrum energy, normalized spectrum, rigidity of the drilling tool, experimental bench studies, slip coefficient.*