

Буріння свердловин

УДК 622.24

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОРІВНЯЛЬНИХ ПРОМИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДДОЛОТНИХ БУРОВИХ АМОРТИЗАТОРІВ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В. М. Мойсишин, М. В. Лисканич, Р. А. Жовнірук

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (3422) 4-21-23; e-mail: math @ tnung. edu. Ua*

За результатами порівняльних промислових досліджень наддолотних бурових амортизаторів різних конструкцій встановлено, що основна потужність процесу зміни віброприскорення бурильної колони знаходиться в області низькочастотних коливань. Вплив різних конструкцій амортизаторів на цю потужність залежить від коефіцієнта поглинання пружного елемента амортизатора. Встановлено, що ефективність віброзахисту (зменшення амплітуди віброприскорення бурильної колони) зростає зі збільшенням цього коефіцієнта.

Ключові слова: наддолотний буровий амортизатор, віброприскорення бурильної колони, низькочастотні коливання, спектральна щільність віброприскорення, компонування низу бурильної колони, статистична непараметрична гіпотеза.

Вступ

Руйнування гірської породи під дією осьового навантаження на шарошкове долото – основний процес буріння нафтових і газових свердловин. Шарошкове долото рухаючись по нерівній поверхні вибою свердловини здійснює вертикальні переміщення, які породжують вібрації бурильної колони, і створюють додаткове динамічне навантаження на елементи компонування та наземного обладнання [1, 4]. Для зменшення цього навантаження в компонуванні низу бурильної колони (КНБК), починаючи з 1960 року, використовують різні віброзахисні пристрої (ВЗП). Найбільш поширеними з них є наддолотні амортизатори, класифікацію яких наведено в [4].

Мета дослідження

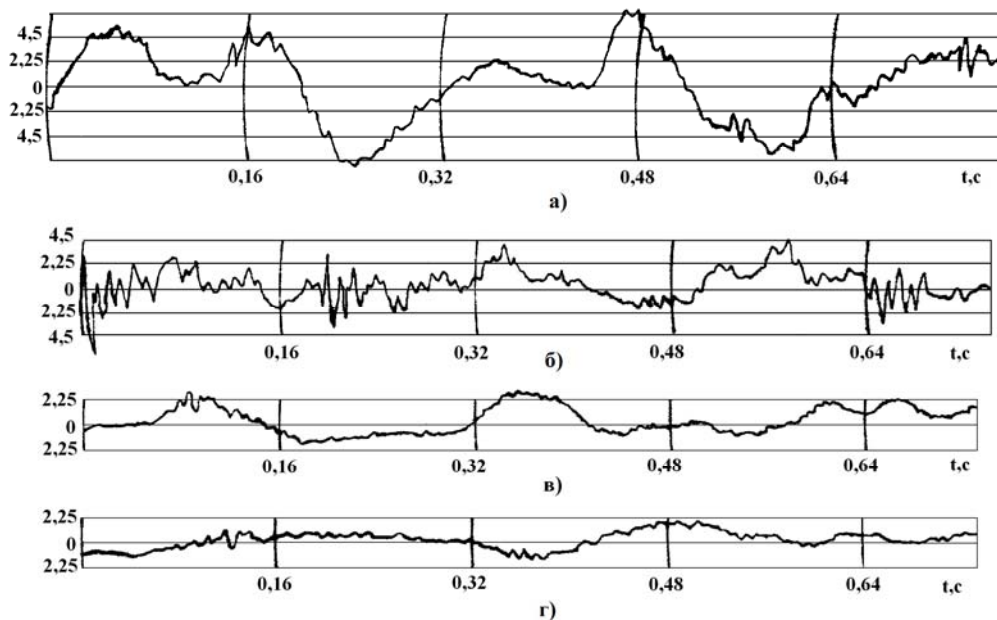
Метою роботи є встановлення найбільш ефективного (з точки зору віброзахисту) наддолотного амортизатора (одного з тих трьох, які

випускаються серійно). Це амортизатори РДБК-240, АН-240 та НАБ-240, розроблені відповідно Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу, Московським науково-дослідним інститутом бурової техніки та Науково-дослідним інститутом «УкрДіпроНДІнафта». Опис конструкцій та технічні характеристики цих ВЗП наведено в [2, 4]. Порівняльні випробування цих пристроїв, які входили до складу КНБК, проводились методом чергування довбань на буровій Кудрявська-2 Охтирського УБР об'єднання «Укрнафта». Компонування низу бурильної колони складалось з таких елементів: долото STAS 295; перехідник – 0,8 м; калібратор лопатевий спіральний – 1,5 м; перехідник – 0,8 м; відповідний тип наддолотного амортизатора; перехідник – 0,8 м; ОБТ 203 – 8,3 м; калібратор лопатевий спіральний – 1,5 м; ОБТ 203 – 151 м. Давач віброприскорення – акселерометр АНС-014-03 з чутливістю 12,52 мВ (м/с^2), коефіцієнт підсилення вимірного тракту – 3,545.

Загальний аналіз результатів порівняльних випробувань

На рис. 1 зображено аналогові записи віброприскорення вертлюга під час буріння різними КНБК. Використання амортизаторів, як бачимо, зменшує амплітуду віброприскорення.

Максимальні значення віброприскорення для різних компонок відповідно становлять: компоновка без амортизатора – $7,21 \text{ м/с}^2$, компоновка з амортизатором АН – $5,86 \text{ м/с}^2$, з амортизатором РДБК – $3,15 \text{ м/с}^2$, з амортизатором НАБ – $1,8 \text{ м/с}^2$.



а – комп. без амортизатора; б – комп. з амортизатором АН;

в – комп. з амортизатором РДБК; г – комп. з амортизатором НАБ

Рис. 1. Аналогові записи віброприскорення вертлюга бурильної колони (свердловина Кудрявська-2 Охтирського УБР)

Згідно одержаних записів найбільш ефективно гасить коливання бурильної колони амортизатор НАБ-240 [2м]. Коефіцієнт поглинання пружного елемента цього амортизатора, який визначається відношення площі петлі гістерезису (площа між вітками навантаження та розвантаження статичної характеристики пружного елемента) до площі під віткою навантаження, найбільший, тобто можна стверджувати що зі збільшенням коефіцієнта поглинання (демпфування) пружного елемента наддолотного амортизатора коливання бурильної колони зменшуються.

На рис. 2 і 3 зображено графіки розподілу загальної дисперсії, яка характеризує потужність процесу зміни віброприскорення вертлюга бурильної колони [2], по частотному спектру для різних КНБК за статичного осьового навантаження на долото 200 кН. Такі залежності називають спектральними щільностями. Вони є одними з основних характеристик оцінки внутрішньої частотної структури коливань бурильної колони.

Згідно одержаних графіків основна енергія віброприскорення вертлюга бурильної колони знаходиться в діапазоні 0-20 Гц, який є діапазоном низькочастотних коливань, викликаних перекочуванням шарошок долота, як гладких конусів, поверхнею вибою. Теоретичне значення основної частоти (першої складової) цих коливань наступне

$$f_{T.низ} = \frac{3 \cdot n_{дол}}{60} = \frac{3 \cdot 90}{60} = 4,5 \text{ Гц} \quad (1)$$

де $n_{дол}$ – частота обертання долота, $хв^{-1}$.

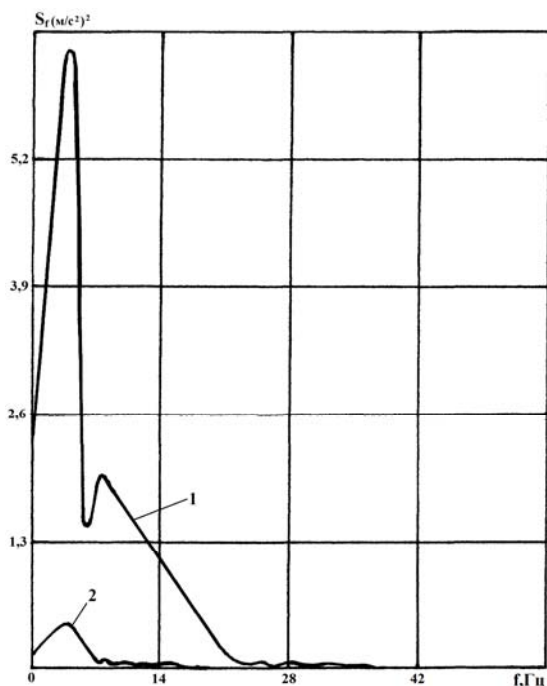
Згідно з рис. 2, 3 ця енергія у порівнянні з енергією КНБК без амортизатора зменшилась для АН-240, РДБК-240 та НАБ-240 відповідно у 13,5, у 24,7 та у 104,4 рази.

Крім записів віброприскорення вертлюга бурильної колони визначалось середнє значення механічної швидкості буріння для відповідних КНБК (табл. 1).

Таблиця 1. Результати порівняльних промислових випробувань наддолотних амортизаторів АН-240, НАБ-240 і РДБК-240 на буровій Кудрявська-2 Охтирського УБР

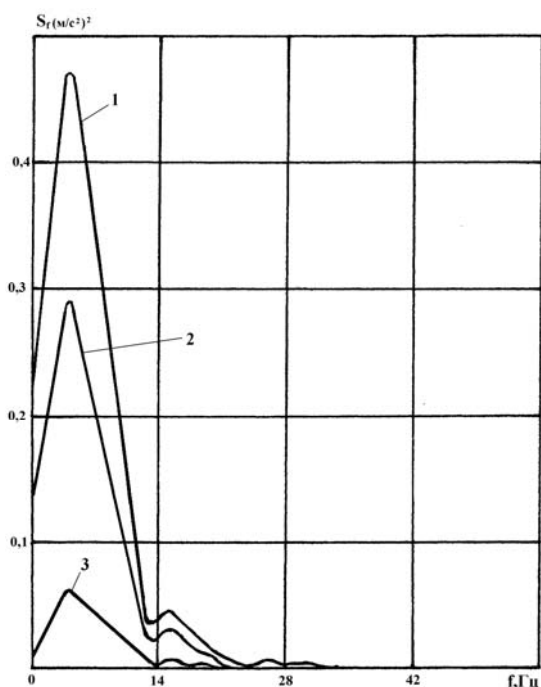
Тип наддолотного амортизатора	Інтервал буріння, м	Проходка на долото, м	Час буріння, год	Механічна швидкість, м/год
РДБК	2153-2201	48	14,5	3,31
НАБ	2202-2237	36	11,5	3,13
АН	2238-2268	31	9,7	3,2
Відсутній	2269-2304	36	12,6	2,87

За даними табл. 1 використання наддолотних амортизаторів у КНБК підвищує механічну швидкість буріння на 9-11,5%.



1 – комп. без амортизатора; 2 – комп. з амортизатором АН-240

Рис. 2. Спектральна щільність віброприскорення вертлюга бурильної колони



1 – комп. з амортизатором АН-240, 2 – комп. з амортизатором РДБК-240,
3 – комп. з амортизатором НАБ-240

Рис. 3. Спектральна щільність віброприскорення вертлюга бурильної колони під час буріння різними КНБК

Аналіз спектральної щільності віброприскорення вертлюга бурильної колони в частотному діапазоні 0-20 Гц

В табл. 2 наведено значення експериментальних частот $f_{екс.i}$ в діапазоні 0-20 Гц і значення дисперсії (потужності процесу зміни) віброприскорення на цих частотах $S_{f,i}$ в $(м/с^2)^2$ для різних значень статичного осьового зусилля на долото $F_{ос.см}$.

Таблиця 2. Експериментальні частоти спектра в діапазоні 0-20 Гц та значення дисперсії віброприскорення вертлюга бурильної колони на цих частотах

Тип амортизатора	$F_{ос.см},$ кН	$f_{екс.1}/S_{f,1}$	$f_{екс.2}/S_{f,2}$	$f_{екс.3}/S_{f,3}$	$f_{екс.4}/S_{f,4}$
НАБ-240 «УкрДіпро- НДІнафта»	0	3,75/0,012	7,5/0,0049	11,25/0,0003	18,75/0,00081
	50	3,75/0,0397	7,5/0,00773	-	18,75/0,00171
	100	3,75/0,0471	7,5/0,0185	11,25/0,0029	18,75/0,0026
	140	3,75/0,0583	-	11,25/0,02377	18,75/0,00837
	150	3,75/0,05	-	-	-
	160	3,75/0,0615	-	-	18,75/0,011
	200	3,75/0,0609	7,5/0,0406	11,25/0,0034	-
РДБК-240 ІФНТУНГ	0	3,75/0,0336	-	-	18,75/0,000075
	50	3,75/0,0466	-	11,25/0,007	18,75/0,0066
	80	3,75/0,0629	7,5/0,0329	-	18,75/0,00669
	100	3,75/0,065	7,5/0,055	11,25/0,0086	18,75/0,00962
	150	3,75/0,1175	7,5/0,1038	-	18,75/0,0156
	200	3,75/0,211	7,5/0,1067	11,25/0,02445	18,75/0,0193
АН-240 ВНДІБТ	0	3,75/0,04838	7,5/0,0017	-	18,75/0,001
	50	3,75/0,0841	-	-	18,75/0,00456
	100	3,75/0,1511	7,5/0,0107	-	18,75/0,0085
	150	3,75/0,2641	-	-	18,75/0,0185
	200	3,75/0,4698	7,5/0,08	-	18,75/0,0412
КНБК без амортизатора	0	3,75/0,0607	7,5/0,006	-	18,75/0,0003
	50	3,75/0,6494	-	11,25/2,1525	-
	100	3,75/2,1042	7,5/0,4933	11,25/0,0377	18,75/0,0208
	150	3,75/4,035	7,5/1,0099	-	18,75/0,0253
	200	3,75/6,7047	7,5/1,6045	-	18,75/0,0358

Згідно даних табл. 2 експериментальне значення частоти першої низькочастотної складової 3,75 Гц відповідає теоретичному значенню 4,5 Гц, а ймовірність появи цієї частоти у спектрі коливань складає 1. Друга низькочастотна складова рівна 7,5 Гц, що відповідає подвійній першій складовій. Ймовірність появи цієї частоти у спектрі коливань для всіх компонувань рівна 0,65.

Третя низькочастотна складова рівна 11,25 Гц і відповідає потрійній першій складовій. Загальна ймовірність появи цієї частоти у спектрі

коливань для всіх компонувань рівна 0,39. Четверта низькочастотна складова рівна 18,75 Гц, що відповідає з кратністю 5 першій складовій. Загальна ймовірність появи цієї частоти у спектрі коливань для всіх компонувань рівна 0,87. Отже, зі збільшенням статичного осьового навантаження на долото спостерігається зростання дисперсії віброприскорення вертлюга бурильної колони на всіх низькочастотних складових спектра, що дає можливість встановити кореляційні залежності між цими величинами.

Для визначення емпіричних залежностей $S_{f,i} = f(F_{oc.cm})$ проводимо апроксимацію (вирівнювання) експериментальних даних емпіричними залежностями. Це вирівнювання здійснюємо двома способами: перший – за програмою «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів» [5], яка визначає вибіркового коефіцієнт кореляції r_6 експериментальних даних, коефіцієнти чотирнадцяти різних залежностей та основну похибку σ_0 вирівнювання для кожної з них. За цією програмою визначається вид «розумної» гладкої емпіричної залежності [5], якщо таку залежність підібрати неможливо, використовують другий спосіб – апроксимація поліномом i -того степеня (як правило, другого або третього).

Апроксимація вважається задовільною, якщо виконуються дві умови:

перша – $\sigma_0 < 0,1\bar{S}_{f,i}$, де σ_0 – середнє квадратичне відхилення значень емпіричної залежності від експериментальних значень; $\bar{S}_{f,i}$ – середнє вибірки об'єму n , сформованої зі значень $S_{f,i}$ на всіх рівнях статичного осьового навантаження $F_{oc.cm}$;

друга – ймовірність кореляційного зв'язку між $S_{f,i}$ і $F_{oc.cm}$ більша або рівна 0,95, тобто $P(S_{f,i}, F_{oc.cm}) \geq 0,95$. Ця умова виконується, якщо $T_{cn} > t_{kp}$, де T_{cn} – спостережене значення критерію Стюдента, $t_{kp}(\alpha, \kappa)$ – критична точка розподілу Стюдента, $\alpha = 0,05$ – рівень значущості (зона ухвалення рішення двостороння), $\kappa = n - 2$ – число ступенів вільності, n – об'єм вибірки, для якої знаходили $\bar{S}_{f,i}$.

Для частоти першої низькочастотної складової 3,75 Гц в табл. 3 наведено результати підбору емпіричних залежностей $S_{f,i} = f(F_{oc.cm})$ всіх КНБК.

Умови задовільної апроксимації експериментальних даних за програмою [5] виконуються, тобто незалежно від КНБК між дисперсією віброприскорення на першій частоті низькочастотних коливань бурильної колони та статичним осьовим зусиллям на долоті існує кореляційна залежність, ймовірність якої більша 0,95.

Таблиця 3. Результати підбору залежностей $S_{f.1} = f(F_{oc.cm})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

Тип амортизатора	Емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умови $\sigma_0 < 0,1\bar{S}_{f.1}$
НАБ-240	$S_{f_{H1}} = 0,012 + 3,5246 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{F_{OC}}$	0,9295 P>0,95	0,0034<0,0047
РДБК-240	$S_{f_{H1}} = 0,043 + 2,113296 \cdot 10^{-8} \cdot F_{OC}^3$	0,9279 P>0,95	0,006<0,0089
АН-240	$S_{f_{H1}} = 0,048 \cdot e^{1,138152 \cdot 10^{-2} \cdot F_{OC}}$	0,9511 P>0,95	0,001<0,02
Без амортизатора	$S_{f_{H1}} = (0,242 + 1,178 \cdot 10^{-2} \cdot F_{OC})^2$	0,9733 P>0,95	0,053<0,27
Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями $\bar{S}_{f.1}$ і $F_{oc.cm}$			

На рис. 4 зображено графіки залежностей $S_{f_{H1}} = f(F_{OC})$ для компонувань без амортизатора і з амортизатором АН-240 а на рис. 5 – для компонувань з амортизаторами АН, РДБК і НАБ.

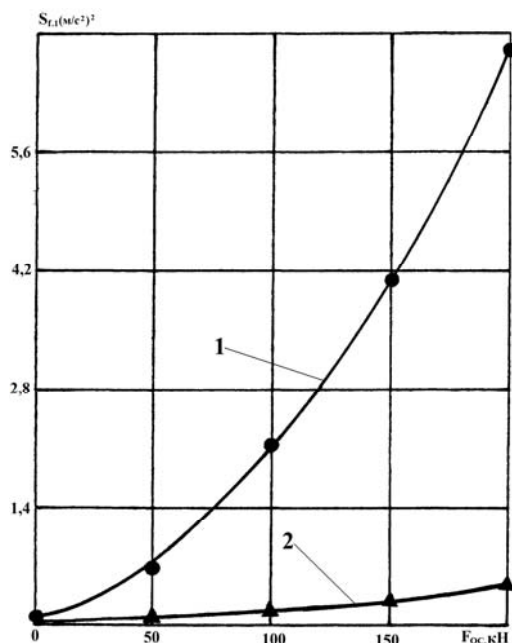
В табл. 4 і 5 наведено результати підбору емпіричних залежностей $S_{f.2} = f(F_{oc.cm})$ і $S_{f.4} = f(F_{oc.cm})$ для другої та четвертої низькочастотних складових спектра віброприскорення вертлюга бурильної колони.

Таблиця 4. Результати підбору залежностей $S_{f.2} = f(F_{oc.cm})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

Тип амортизатора	Емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умови $\sigma_0 < 0,1\bar{S}_{f.1}$
НАБ-240	$S_{f_{H2}} = (0,064 + 6,83259 \cdot 10^{-4} \sqrt{F_{OC}})^2$	0,9827 P>0,95	0,0013<0,0018
РДБК-240	$S_{f_{H2}} = 0,165 - 10,69538 / F_{OC}$	0,9336 P>0,95	0,0066<0,0075
Без амортизатора	$S_{f_{H2}} = 0,059 + 3,967769 \cdot 10^{-5} \cdot F_{OC}^2$	0,9747 P>0,95	0,053<0,27
Прим.1: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями $\bar{S}_{f.2}$ і $F_{oc.cm}$			

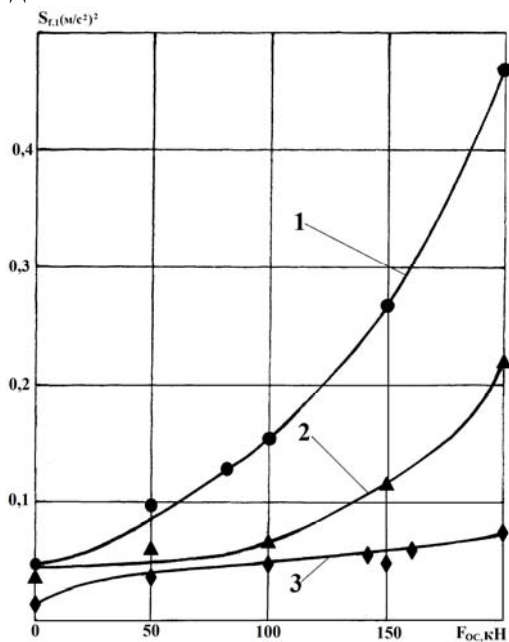
Прим.2: Для комп. з амортизатором АН залежність не підбиралась через недостатню кількість експериментальних значень

Умови задовільної апроксимації експериментальних даних за програмою [5] виконуються, тобто незалежно від КНБК між дисперсією віброприскорення на другій і четвертій частотах низькочастотних коливань бурильної колони та статичним осьовим зусиллям на долоті існує кореляційна залежність, ймовірність якої більша 0,95.



1 – комп. без амортизатора; 2 – комп. з амортизатором АН

Рис. 4. Графіки залежностей спектральної щільності віброприскорення вертлюга на першій низькочастотній складовій коливань бурильної колони від осевого статичного навантаження на долото



1 – комп. з амортизатором АН; 2 – комп. з амортизатором РДБК;
3 – комп. з амортизатором НАБ

Рис. 5. Графіки залежностей спектральної щільності віброприскорення вертлюга на першій низькочастотній складовій коливань бурильної колони від осевого статичного навантаження на долото

Таблиця 5. Результати підбору залежностей $S_{f.4} = f(F_{oc.cm})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

Тип амортизатора	Емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умови $\sigma_0 < 0,1\bar{S}_{f.4}$
НАБ-240	$S_{f_{H4}} = 2,603406 \cdot 10^{-9} \cdot F_{OC}^3$	0,9251 P>0,95	0,00048<0,00056
РДБК-240	$S_{f_{H4}} = 9,729143 \cdot 10^{-5} \cdot F_{OC}$	0,9903 P>0,95	0,00087<0,00097
АН-240	$S_{f_{H4}} = 0,002 + 4,799058 \cdot 10^{-9} \cdot F_{OC}^3$	0,9226 P>0,95	0,001<0,0015
Без амортизатора	$S_{f_{H.4}} = (0,18 + 1,200643 \cdot 10^{-2} \sqrt{F_{OC}})^2$	0,9929 P>0,95	0,0015<0,0021
Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями $\bar{S}_{f.4}$ і $F_{oc.cm}$			

Аналіз спектральної щільності віброприскорення вертлюга бурильної колони в частотному діапазоні 20-62,5 Гц

В частотному інтервалі 20-62,5 Гц спектра віброприскорення вертлюга бурильної колони знаходяться коливання, які виникають при перекочуванні шарошок долота з зубця на зубець і називаються зубцевими. Озброєння долота STAS – твердосплавні штиреві зубці. Під час буріння долотами з таким озброєнням на вибої свердловини не формується чітка периферійна рейка, тобто у спектрі віброприскорення можуть бути декілька зубцевих коливань з різними частотами одночасно.

Дослідженнями процесу взаємодії шарошкового долота з вибоєм свердловини встановлено, що периферійна рейка на вибої формується вінцем тієї шарошки для якої крок між зубцями є найбільшим, а число зубців найменшим [4].

За конструктивними параметрами озброєння долота STAS 295 можна визначити теоретичні значення частот двох зубцевих коливань. Перша частота цих коливань визначається під час перекочування вінця В другої шарошки по поверхні вибою. Число зубців на цьому вінці є найменшим (у порівнянні з шарошками А і С) і складає 13. Теоретична частота зубцевих коливань визначається за формулою

$$f_{теор.з.1} = \frac{D_{дол} \cdot n_{дол} \cdot Z_{min}}{d_{ш} \cdot 60} = \frac{295 \cdot 90 \cdot 13}{178 \cdot 60} = 32,3 \text{ Гц.} \tag{2}$$

де $D_{дол}$ – діаметр долота в мм; $d_{ш}$ – діаметр шарошки в мм; $n_{дол}$ – частота обертання долота, $хв^{-1}$.

Друга частота зубцевих коливань визначається під час перекочування периферійного вінця А першої шарошки з найбільшим кроком зубців у порівнянні з такими ж вінцями інших шарошок. Теоретичне значення цієї частоти

$$f_{теор.3.2} = \frac{D_{ДОЛ} \cdot n_{ДОЛ} \cdot Z_{min}}{d_{III} \cdot 60} = \frac{295 \cdot 90 \cdot 18}{178 \cdot 60} = 44,7 \text{ Гц.} \quad (3)$$

де Z_{min} – число зубців на периферійному вінці А першої шарошки.

В табл. 6 наведено значення експериментальних частот $f_{екс.i}$ в діапазоні 30-33,5 Гц, що відповідає першій частоті зубцевих коливань, та в діапазоні 40-43,75 Гц, що відповідає другій частоті зубцевих коливань, і значення дисперсії (потужності процесу зміни) віброприскорення на цих частотах $S_{f.зуб.i}$ в $(\text{м/с}^2)^2$ для різних значень статичного осьового навантаження на долото $F_{ос.ст.}$

Таблиця 6. Експериментальні частоти спектра в діапазонах 30-33,5 Гц та 40-43,75 Гц і значення дисперсії віброприскорення вертлюга бурильної колони на частотах в цих діапазонах

Тип амортизатора	$F_{ос.ст.}$, кН	$f_{екс.зуб.1}/S_{f.зуб.1}$	$f_{екс.зуб.2}/S_{f.зуб.2}$
НАБ-240 «УкрДіпроНДІ- нафта»	0	30/0,00011	43,75/0,00001
	50	31,25/0,000296	43,75/0,00006
	100	30/0,000584	41,25/0,000107
	140	–	43,75/0,00128
	150	33,75/0,000616	–
	200	31,25/0,000783	40/0,00374
РДБК-240 ІФНТУНГ	0	–	43,75/0,000049
	50	–	40/0,00099
	80	32,5/0,00135-	42,5/0,00143
	100	32,5/0,00171	43,75/0,00196
	150	31,25/0,0018	–
	200	32,5/0,00269	43,75/0,00243
АН-240 ВНДІБТ	0	31,25/0,00071	41,25/0,00115
	50	32,5/0,00114	–
	100	32,5/0,00144	41,25/0,00217
	150	31,25/0,00147	42,5/0,00234
	200	30/0,00191	42,5/0,00245
КНБК без амортизатора	0	31,25/0,00193	42,5/0,000586
	50	–	–
	100	30/0,00602	40/0,0121
	150	32,5/0,0158	42,5/0,0303
	200	30/0,0258	40/0,0731

Згідно даних табл. 6 експериментальне значення першої зубцевої частоти знаходиться в частотному діапазоні 30-33,75 Гц і відповідає теоретичному значенню 32,3 Гц. Загальна ймовірність появи цієї частоти в спектрі коливань рівна 0,83. Друга зубцева складова знаходиться в діапазоні 40-43,75 Гц, що, практично, відповідає її теоретичному значенню 44,7 Гц. Загальна ймовірність появи цієї частоти у спектрі коли-

вань для всіх компоновань рівна 0,83. Як свідчить аналіз даних табл. 6 зі збільшенням статичного осьового зусилля на долоті спостерігається зростання дисперсії віброприскорення вертлюга бурильної колони на зубцевих складових спектра, що дає можливість встановити кореляційні залежності між цими величинами.

В табл. 7 і 8 наведено результати підбору емпіричних залежностей $S_{f.3VB.1} = f(F_{oc.cm})$ і $S_{f.3VB.2} = f(F_{oc.cm})$ для першої та другої зубцевих частот спектра віброприскорення вертлюга бурильної колони.

Таблиця 7. Результати підбору залежностей $S_{f.3VB.1} = f(F_{oc.cm})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

Тип амортизатора	Емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умови $\sigma_0 < 0,1\bar{S}_{f.4}$
НАБ-240	$S_{f.3VB.1} = (0,1 + 1,254115 \cdot 10^{-3} \sqrt{F_{oc}})^2$	0,9827 P>0,95	0,0<0,00005
РДБК-240	$S_{f.3VB.1} = 0,001 + 1,614384 \cdot 10^{-10} \cdot F_{oc}^3$	0,9433 P>0,95	0,0001<0,00019
АН-240	$S_{f.3VB.1} = (0,1 + 1,254115 \cdot 10^{-3} \sqrt{F_{oc}})^2$	0,9722 P>0,95	0,0<0,00013
Без амортизатора	$S_{f.3VB.1} = 0,001 + 6,160211 \cdot 10^{-7} \cdot F_{oc}^2$	0,9358 P>0,95	0,00092<0,0012
Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями $\bar{S}_{f.3VB.1}$ і $F_{oc.cm}$			

Таблиця 8. Результати підбору залежностей $S_{f.3VB.2} = f(F_{oc.cm})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

Тип амортизатора	Емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умови $\sigma_0 < 0,1\bar{S}_{f.4}$
НАБ-240	$S_{f.3VB.2} = 4,482077 \cdot 10^{-10} \cdot F_{oc}^3$	0,922 P>0,95	0,0001<0,00012
РДБК-240	$S_{f.3VB.2} = 1,736959 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{F_{oc}}$	0,9427 P>0,95	0,0001<0,00014
АН-240	$S_{f.3VB.2} = (0,035 + 7,989418 \cdot 10^{-5} \cdot F_{oc})^2$	0,9534 P>0,95	0,0001<0,0002
Без амортизатора	$S_{f.3VB.2} = 0,001 + 8,845929 \cdot 10^{-9} \cdot F_{oc}^3$	0,9025 P>0,9	0,001<0,003
Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями $\bar{S}_{f.3VB.2}$ і $F_{oc.cm}$			

Умови задовільної апроксимації експериментальних даних за програмою [5] виконуються, тобто незалежно від КНБК між дисперсією

віброприскорення на першій частоті зубцевих коливань та статичним осьовим зусиллям на долоті існує кореляційна залежність, ймовірність якої більша 0,95.

Умови задовільної апроксимації експериментальних даних за програмою [5] виконуються для всіх КНБК.

Для компонувань з амортизаторами між дисперсією віброприскорення на другій частоті зубцевих коливань та статичним осьовим зусиллям на долоті існує кореляційна залежність, ймовірність якої більша 0,95. Для компонування без амортизатора така ймовірність більша за 0,9.

Висновки

1. У спектрі віброприскорення бурильної колони в діапазоні 0-62,5 Гц зафіксовано шість гармонічних складових, перших чотири з яких відносяться до низькочастотних коливань, а дві останні – до зубцевих коливань. Експериментальні величини цих частот практично співпадають з їхніми теоретичними значеннями.

2. Для першої, другої та четвертої складових низькочастотних коливань ймовірності появи у спектрі віброприскорення вертлюга бурильної колони знаходяться в інтервалі 0,65-1, ймовірність появи у спектрі третьої складової складала 0,39.

3. Основна енергія коливного процесу бурильної колони припадає на першу складову. Експериментальне значення її частоти – 3,75 Гц.

4. Використання в компонуванні низу бурильної колони наддолотних амортизаторів АН-240, РДБК-240 та НАБ-240 зменшує загальну енергію коливань відповідно у 13,5, у 24,7 та у 104,4 рази по відношенню до компонування без амортизатора.

5. Найбільш ефективним з точки зору вітрозахисту є амортизатор НАБ-240 з найбільшим значенням коефіцієнта поглинання (демпфування). Енергія коливного процесу на основній низькочастотній складовій спектру зменшилась у 110,1 рази у порівнянні з компонуванням без наддолотних амортизаторів.

6. Зі збільшенням статичного осьового зусилля на долото спостерігається зростання енергії (дисперсії) коливного процесу на всіх гармоніках спектра. Для усіх складових встановлено емпіричні кореляційні залежності між дисперсією та статичним осьовим навантаженням на долото, які мають вигляд «розумних» гладких кривих.

7. Використання наддолотних амортизаторів у складі компонування низу бурильної колони зменшує динамічні навантаження на елементи бурильної колони та наземного обладнання, наслідком чого є збільшення довговічності їх роботи.

Література

1. Балицкий П.В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины / П.В. Балицкий. – М.: Недра, 1975. – 293 с.

2. Бевзюк Ф.И. Сравнительная оценка результатов стендовых и промышленных испытаний различных амортизаторов / Ф.И. Бевзюк, Г.И. Дранкер // Нефтяная и газовая промышленность. – 1978. – С. 16-18.
3. Протодьяконов М.М. Методика рационального планирования эксперимента / М.М. Протодьяконов. – М., 1970.
4. Стійкість і коливання бурильної колони / В.М. Мойсишин, Б.Д. Борисевич, Ю.Л. Гаврилів, С.А. Зінченко. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2013. – 590 с.
5. Програма «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
*Стаття надійшла до редакційної колегії 26.12.2017 р.,
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Векериком В.І.,
д.т.н., професором Кунцяком Я.В. (м. Київ)*

ANALYSIS OF RESULTS OF COMPARATIVE INDUSTRIAL RESEARCHES OF OVER-THE-WHEEL DRILL AMORTIZERS OF DIFFERENT STRUCTURES

V. M. Moyshyshyn, M. V. Lyskanych, R. A. Zhovniruk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str., 15;

tel. +380 (3422) 4-21-23; e-mail: math@nung.edu.ua

According to the results of comparative industrial studies of over-the-wheel drill amortizes of various structures it has been established that the main power of the process of changing the vibration acceleration of the drilling column is in the field of low-frequency oscillations. The impact of different structures of shock absorbers on this power depends on the absorption coefficient of the elastic element of the shock absorber. It is established that the effectiveness of vibration protection (reduction of the amplitude of vibration acceleration of a drilling column) increases with increasing this coefficient.

Key words: *percolator drill shock absorber, vibration acceleration of the drilling column, low frequency oscillations, spectral density vibration acceleration, layout of the bottom of the drilling column, statistical non-parametric hypothesis.*