

ВПЛИВ НАДДОЛОТНИХ БУРОВИХ АМОРТИЗАТОРІВ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВІБРОПРИСКОРЕННЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

В. М. Мойсишин, Б. І. Смага, Р. А. Жовнірук

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 71-72-31; e-mail: math@nung.edu.ua*

Авторами встановлено, що дисперсія віброприскорення бурильної колони та середня потужність процесу його зміни мають однаковий фізичний зміст, тобто є прямо пропорційними величинами. За результатами промислових досліджень встановлено, що використання в компонованні низу бурильної колони наддолотних бурових амортизаторів різних конструкцій зменшує розмах віброприскорення, за яким визначаються максимальні динамічні навантаження на елементи бурильної колони. Одночасно зменшується і середня потужність коливого процесу бурильної колони. Вплив різних конструкцій амортизаторів на ці величини залежить від коефіцієнта поглинання пружного елемента амортизатора, який визначається відношенням площі петлі гістерезису до площі під віткою навантаження. Встановлено, що ефективність віброзахисту (зменшення амплітуди віброприскорення бурильної колони) зростає зі збільшенням цього коефіцієнта.

Ключові слова: *наддолотний буровий амортизатор, віброприскорення бурильної колони, розмах віброприскорення, компоновання низу бурильної колони, дисперсія та потужність зміни випадкового процесу, апроксимація експериментальних даних емпіричними залежностями.*

Вступ

Процес поглиблення свердловини шарошковими долотами супроводжується коливаннями (вібраціями) бурильної колони, величина яких визначає динамічні навантаження на елементи колони та наземного бурового обладнання. Для зменшення динамічних навантажень і, як наслідок, збільшення надійності та довговічності роботи бурового обладнання в компонованні низу бурової колони (КНБК), починаючи з 1960 року, використовують різні віброзахисні пристрої, найбільш поширеними з них є наддолотні амортизатори (НА), класифікацію яких наведено в [1]. Експериментальні дослідження впливу НА на динаміку роботи бурильної колони, проведені Гарретом У.Р. [2], Ганджумяном Р.А. [3], Балицьким В.П. [4], Бевзюком Ф.И. [5] та іншими дослідниками підтвердили ефективність їх використання. При проведенні цих досліджень автори не вивчали вплив коефіцієнтів поглинання пружних еле-

ментів НА та інтегральні статистичні характеристики коливного процесу, до яких відносяться дисперсія та стандарт, що розкривають внутрішню структуру цього процесу.

Мета дослідження

Метою роботи є використання інтегральних статистичних характеристик коливного процесу, до яких відносяться дисперсія та стандарт, для встановлення найбільш ефективного, з точки зору віброзахисту, наддолотного амортизатора серед тих, які випускаються серійно. До них відносяться амортизатори РДБК-240, АН-240 та НАБ-240 конструкції «УкрДіпроНДІнафта», 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 амортизаторів наведено в [1, 5]. Порівняльні випробування цих конструкцій, які входили до складу КНБК, проводились методом чергування добань 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 чутливістю 12,52 мВ(м/с²), коефіцієнт підсилення вимірного тракту – 3,545.

Встановлення зв'язку між дисперсією віброприскорення вертлюга бурильної колони та потужністю процесу його зміни

Для з'ясування фізичного змісту дисперсії вибірки миттєвих значень віброприскорення $W_{B,i}$ розглянемо детально процес одержання аналогового запису W_B . Під час коливного процесу вертлюга, до якого прикріплений акселерометр, напруга U на виході останнього змінюється і фіксується реєструючим обладнанням.

Миттєве значення потужності електричного сигналу на виході

$$P_i^u = \frac{U_i^2}{R}, \quad (1)$$

де U_i – i -те дискретне значення електричного сигналу, мВ; R – вхідний опір вимірювального тракту, Ом.

Оскільки процес зміни в часі віброприскорення на долоті є випадковою функцією, то для спрощення статистичних досліджень перейдімо до центрованих дискретних значень \dot{U}_i .

$$\dot{U}_i = U_i - \bar{U}, \quad (2)$$

де \bar{U} – середнє вибірки миттєвих значень $\{U_i\}$. Зрозуміло, що математичне сподівання вибірки центрованих значень $\{\dot{U}_i\}$ рівне нулю.

Середнє значення потужності центрованого електричного сигналу становитиме

$$\bar{P}^u = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^u}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{U}_i^2}{R \cdot n}. \quad (3)$$

Перехід від миттєвих значень центрованого електричного сигналу в мВ до миттєвих значень віброприскорення в м/с² здійснюємо за формулою

$$\dot{W}_{Bi} = Z \cdot \dot{U}_i, \quad (4)$$

де Z – коефіцієнт переходу, який визначали за чутливістю давача 12,52 мВ(м/с²) помноженого на коефіцієнт підсилення вимірного тракту – 3,545. Отже,

$$Z = 12,52 \cdot 3,545 = 44,38 \text{ мВ(м/с}^2\text{)}. \quad (5)$$

Дисперсію D_W вибірки миттєвих значень $\{\dot{W}_{Bi}\}$ визначаємо за формулою

$$D_W = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{W}_{Bi}^2}{n-1} = Z^2 \frac{\sum_{i=1}^n \dot{U}_i^2}{n-1}. \quad (6)$$

Порівнюючи (3) і (6), одержимо

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

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

значень віброприскорення та середнє значення потужності електричного сигналу мають однаковий фізичний зміст. Надалі замість фрази «дисперсія вибірки миттєвих значень віброприскорення бурильної колони» використовуватимемо вираз «потужність процесу зміни віброприскорення бурильної колони».

Вплив наддолотних амортизаторів на потужність процесу зміни віброприскорення бурильної колони

Оцінку цього впливу проводимо за експериментальними значеннями дисперсії та стандарту віброприскорення бурильної колони, одержаними під час буріння різними компоновками НБК для декількох рівнів статичного осевого навантаження на долото F_{CT} , які визначались за показами гідравлічного індикатора ваги (ГІВ). Ці значення наведено у табл. 1.

Для визначення емпіричних кореляційних залежностей $D_W = f(F_{CT})$ і $\sigma_W = f(F_{CT})$ проводимо апроксимацію (вирівнювання) експериментальних даних, наведених у табл. 1. Це вирівнювання здійснюємо за програмою «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів» [6], яка визначає вибіркового коефіцієнт

кореляції r_e експериментальних даних, коефіцієнти чотирнадцяти різних залежностей та основну похибку σ_0 вирівнювання для кожної з них.

Таблиця 1. Експериментальні значення дисперсії, стандарту та розмаху віброприскорення вертлюга бурильної колони

Тип амортизатора	$F_{ст},$ кН	$D_w, (м/с^2)^2$	$\sigma_w, м/с^2$	$A_{p,w}, м/с^2$
НАБ-240 «УкрДіпроНДІнафта»	0	0,1647	0,4058	-
	50	0,1709	0,4134	2,024
	100	0,1892	0,435	2,2177
	150	0,2505	0,5005	2,3799
	200	0,3198	0,5655	3,2973
	230	0,4022	0,6342	3,6241
РДБК-240 ІФНТУНГ	0	0,0851	0,2828	1,1179
	80	0,2759	0,5253	3,6048
	100	0,3137	0,5601	3,8223
	150	0,6289	0,793	4,1834
	200	0,989	0,9945	4,4609
АН-240 ВНДІБТ	0	0,1462	0,3824	1,9613
	50	0,3845	0,6201	3,4654
	100	0,4894	0,6996	4,3258
	150	0,8794	0,9378	4,9943
	200	1,4506	1,2044	5,9319
КНБК без амортизатора	0	-	-	1,8344
	50	4,2109	2,052	4,5214
	100	5,797	2,4077	11,9408
	150	8,9097	2,9849	16,0525
	200	20,4193	4,5188	21,2707

Апроксимація вважається задовільною, якщо виконуються дві умови:

1. $\sigma_0 < 0,1\bar{D}_w$ та $\sigma_0 < 0,1\bar{\sigma}_w$ де σ_0 – середнє квадратичне відхилення значень емпіричної залежності від експериментальних значень; $\bar{D}_w, \bar{\sigma}_w$ – середні, сформовані із значень дисперсій та стандартів вибірок на всіх рівнях осьового статичного навантаження F_{CT} ;

2. Ймовірності кореляційного зв'язку між D_w та σ_w і F_{CT} $P(D_w, F_{CT}) \geq 0,95$. $P(\sigma_w, F_{CT}) \geq 0,95$, де D_w та σ_w – значення дисперсій та стандартів, за якими здійснювалась апроксимація. Ця умова виконується, якщо $T_{cn} > t_{кр}$, де T_{cn} – спостережене значення критерію

Стьюдента, $t_{кр}(\alpha, \kappa)$ – критична точка розподілу Стьюдента, $\alpha = 0,05$ – рівень значущості (зона ухвалення рішення двостороння), $\kappa = n - 2$ – число ступенів вільності, n – об'єм вибірки, за якою здійснювалась апроксимація.

В табл. 2 наведені результати підбору кореляційних емпіричних залежностей $D_w = f(F_{CT})$ і $\sigma_w = f(F_{CT})$ для всіх КНБК.

Таблиця 2. Результати підбору залежностей $D_w = f(F_{CT})$ і $\sigma_w = f(F_{CT})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

Тип амортизатора	Кореляційні емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умов $\sigma_0 < 0,1\bar{D}_w$ і $\sigma_0 < 0,1\bar{\sigma}_w$
НАБ-240	$D_w = f(F_{CT}) = 0,164 \cdot e^{1,699603 \cdot 10^{-6} \cdot F_{CT}^2}$	0,9352 P>0,95	0,0054<0,025
	$\sigma_w = f(F_{CT}) = 0,405 \cdot e^{8,498483 \cdot 10^{-5} \cdot F_{CT}^2}$	0,9504 P>0,95	0,005<0,049
РДБК-240	$D_w = f(F_{CT}) = 0,102 + 2,246755 \cdot 10^{-5} \cdot F_{CT}^2$	0,9597 P>0,95	0,023<0,046
	$\sigma_w = f(F_{CT}) = (0,53 + 2,342392 \cdot 10^{-3} \cdot F_{CT})^2$	0,9927 P>0,95	0,015<0,063
АН-240	$D_w = f(F_{CT}) = 0,173 \cdot e^{1,083472 \cdot 10^{-5} \cdot F_{CT}^2}$	0,9616 P>0,95	0,056<0,067
	$\sigma_w = f(F_{CT}) = (0,633 + 2,278139 \cdot 10^{-3} \cdot F_{CT})^2$	0,9876 P>0,95	0,04<0,077
Без амортизатора	$D_w = f(F_{CT}) = 1/0,299 - 1,2515664 \cdot 10^{-3} \cdot F_{CT}$	0,9123 P>0,95	0,047<0,98
	$\sigma_w = f(F_{CT}) = 2,028 + 3,080304 \cdot 10^{-7} \cdot F_{CT}^3$	0,9459 P>0,95	0,066<0,3
Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями D_w , σ_w і F_{CT}			

Умови задовільної апроксимації експериментальних даних за програмою «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів» виконуються, тобто незалежно від КНБК між дисперсією і стандартом віброприскорення бурильної колони та статичним осьовим зусиллям на долото існують кореляційні емпіричні залежності, ймовірність існування яких більша за 0,95.

Для компонування НБК без амортизатора статистичні інтегральні характеристики (дисперсія і стандарт) при відсутності навантаження не відповідають загальній кореляційній емпіричній залежності. Ці значення значно менші за значення цих же характеристик в інтервалі 50-

200 кН. Для компоновань з амортизаторами, незалежно від їх конструкції, інтегральні характеристики при відсутності навантаження відповідають загальній кореляційній емпіричній залежності, тобто динамічні процеси, які виникають в бурильній колоні при вільному обертанні (колона обертається, навантаження відсутнє) співмірні з динамічними процесами в інтервалі статичного осьового навантаження 50-200 кН. Це ще один доказ того, що в компонованні низу бурильної колони необхідно використовувати наддолотний амортизатор як елемент колони, що захищає її від шкідливого впливу вібрацій.

Графічну оцінку впливу наддолотних амортизаторів на потужність процесу зміни віброприскорення бурильної колони краще проводити не за залежністю $D_w = f(F_{CT})$, а за залежністю $\sigma_w = f(F_{CT})$, оскільки стандарт σ_w і віброприскорення вертлюга бурильної колони w_B мають однакову розмірність, а коефіцієнти кореляції залежностей $\sigma_w = f(F_{CT})$ для всіх компоновань НБК більші від коефіцієнтів залежностей $D_w = f(F_{CT})$.

На рис. 1 зображено графіки залежностей $\sigma_w = f(F_{CT})$ для компоновання НБК з амортизатором АН-240 і для компоновання НБК без амортизатора. На рис. 2 зображено графіки залежностей $\sigma_w = f(F_{CT})$ для компоновання НБК з амортизаторами АН-240, ББК-240 і НАБ-240.

Важливим параметром коливного процесу бурильної колони є розмах реалізацій віброприскорення $A_{P,W}$, який є алгебраїчною різницею між найбільшим і найменшим значеннями в межах однієї реалізації (див. рис. 3).

Розмах визначається за формулою

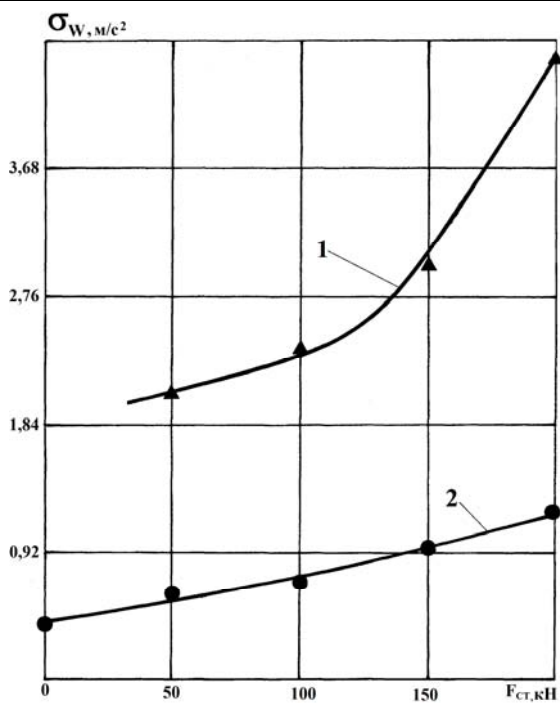
$$A_{P,W} = A_+ + A_- \quad (8)$$

За величиною $A_{P,W}$ визначають максимальні динамічні навантаження, які діють на елементи бурильної колони, а за ними – умови безпечної роботи колони бурильних труб.

В табл. 1 наведено експериментальні значення $A_{P,W}$ залежно від рівня статичного осьового навантаження на долото та КНБК.

За цими значеннями визначались емпіричні кореляційні залежності $A_{P,W} = f(F_{CT})$ за програмою «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів». Результати підбору цих залежностей наведено в табл. 3.

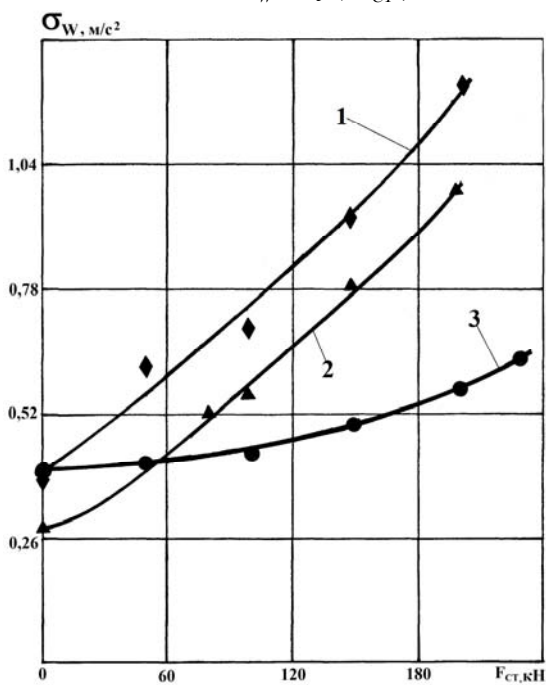
Умови задовільної апроксимації експериментальних даних за програмою «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів» виконуються, тобто незалежно від КНБК між розмахом віброприскорення вертлюга бурильної колони та статичним осьовим зусиллям на долото існують кореляційні емпіричні залежності, ймовірність існування яких більша за 0,95.



1 – компоновання НБК без наддолотного амортизатора;

2- компоновання НБК з наддолотним амортизатором АН-240

Рис. 1. Графіки залежностей $\sigma_W = f(F_{cr})$



1 – компоновання НБК з наддолотним амортизатором АН-240;

2- компоновання НБК з наддолотним амортизатором РДБК-240;

3 - компоновання НБК з наддолотним амортизатором НАБ-240

Рис. 2. Графіки залежностей $\sigma_W = f(F_{cr})$

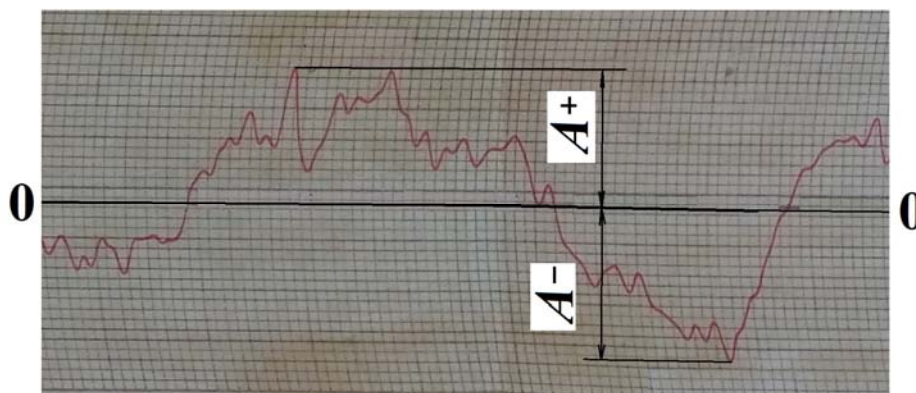


Рис. 3. Найбільше (A+) і найменше (A-) значення віброприскорення вертлюга бурильної колони в межах однієї реалізації

Таблиця 3. Результати підбору залежностей $A_{p,w} = f(F_{CT})$ та перевірка умов задовільної апроксимації експериментальних даних

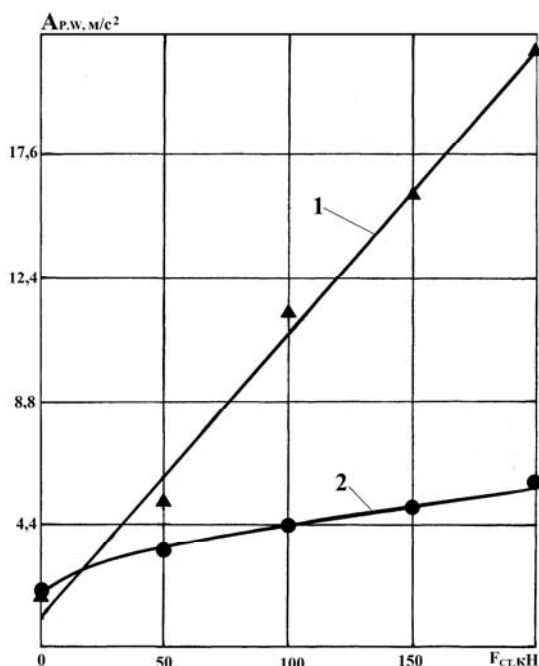
Тип амортизатора	Кореляційні емпіричні залежності	Вибіркове значення коефіцієнта кореляції	Перевірка умов $\sigma_0 < 0,1\bar{A}_{p,w}$
НАБ-240	$A_{p,w} = f(F_{CT}) = 2,028 + 1,378361 \cdot 10^{-7} \cdot F_{CT}^3$	0,9471 P>0,95	0,11<0,22
РДБК-240	$A_{p,w} = f(F_{CT}) = 2,028 + 1,378361 \cdot 10^{-7} \cdot F_{CT}^3$	0,913 P>0,95	0,17<0,34
АН-240	$A_{p,w} = f(F_{CT}) = (1,38 + 7,157253 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{F_{CT}})^2$	0,9886 P>0,95	0,13<0,41
Без амортизатора	$A_{p,w} = f(F_{CT}) = 1,043 + 0,1008074 \cdot F_{CT}$	0,9927 P>0,95	0,97<1,11
Прим.: P – ймовірність кореляційного зв'язку між значеннями $A_{p,w}$ і F_{CT}			

На рис. 4 зображено графіки залежностей $A_{p,w} = f(F_{CT})$ для компонування НБК з амортизатором АН-240 і для компонування НБК без амортизатора. На рис. 5 зображено графіки залежностей $A_{p,w} = f(F_{CT})$ для компонування НБК з амортизаторами АН-240, ББК-240 і НАБ-240.

Висновки

1. Із збільшенням осьового статичного навантаження на долото спостерігається зростання потужності процесу зміни віброприскорення вертлюга бурильної колони (дисперсії) для всіх компонувань НБК (див. рис. 1 і 2).

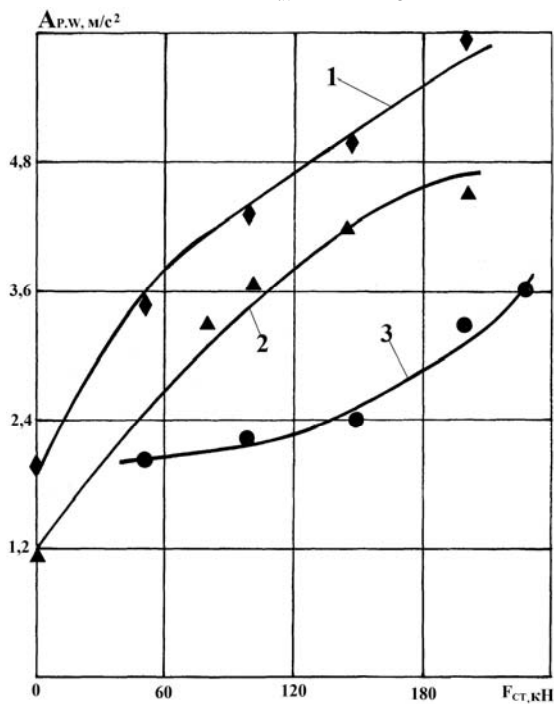
2. Між дисперсією віброприскорення і статичним осьовим навантаженням на долото встановлені емпіричні кореляційні залежності, що мають вигляд «розумних» гладких кривих. Ймовірність існування цих залежностей перевищує 0,95.



1 – компонування НБК без наддолотного амортизатора;

2 – компонування НБК з наддолотним амортизатором АН-240

Рис. 4. Графіки залежностей $A_{p,w} = f(F_{CT})$



1 – компонування НБК з наддолотним амортизатором АН-240;

2 – компонування НБК з наддолотним амортизатором РДБК-240;

3 – компонування НБК з наддолотним амортизатором НАБ-240

Рис. 5. Графіки залежностей $A_{p,w} = f(F_{CT})$

3. Використання в компонованні НБК наддолотних амортизаторів АН-240, РДБК-240 та НАБ-240 зменшує потужність процесу зміни віброприскорення бурильної колони при статичному осьовому навантаженні 200 кН відповідно у 14,1, 20,6 і 50,8 рази по відношенню до КНБК без амортизатора

4. Найбільш ефективним з точки зору віброзахисту (див. рис. 1 і 2) є амортизатор НАБ-240, коефіцієнт поглинання його пружного елемента є найбільшим (практично, рівним 1).

5. Ефективність віброзахисту бурильної колони під час буріння з наддолотними амортизаторами із зменшенням коефіцієнта поглинання погіршується. Найменше зниження енергії коливань бурильної колони зафіксоване під час буріння з амортизатором АН-240, величина коефіцієнта поглинання пружного елемента якого, орієнтовно, становить 0,5-0,6.

6. Із збільшенням осьового статичного навантаження на долото спостерігається зростання розмаху віброприскорення вертлюга бурильної колони для всіх компоновань НБК (див. рис. 4 і 5).

7. Між розмахом віброприскорення і осьовим статичним навантаженням на долото встановлені емпіричні кореляційні залежності, ймовірність існування яких більша за 0,95. Вони також мають вигляд «розумних» гладких кривих.

8. Використання наддолотних амортизаторів у складі КНБК зменшує розмах віброприскорення бурильної колони. При статичному осьовому навантаженні 200 кН під час буріння з амортизатором АН-240 розмах зменшився в 3,6 рази по відношенню до КНБК без амортизатора. Для амортизаторів РДБК-240 та НАБ-240 розмах зменшився відповідно у 4,8 і 5,9 разів.

9. Використання наддолотних амортизаторів в компонованнях НБК зменшує динамічні навантаження на всі елементи бурильної колони та наземного обладнання. Наслідком цього є збільшення довговічності їх роботи з одночасним зменшенням загальної вартості буріння глибоких нафтових та газових свердловин.

Література

1. Стійкість і коливання бурильної колони / В.М. Мойсишин, Б.Д. Борисевич, Ю.Л. Гаврилів, С.А. Зінченко. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2013. – 590 с.
2. Гаррет У.Р. Влияние скважинного амортизатора ударов на эксплуатационные характеристики долот и бурильных труб / У.Р. Гаррет // РНТС: Нефтепромышленное дело. – М.: ВНИИОЭНГ, 1963. – №4. – С. 16-21.
3. Ганджумян Р.А. Анализ результатов промышленных испытаний наддолотных амортизаторов по объединению «Краснодарнефтегаз» / Р.А. Ганджумян, Н.Г. Серета, С.А. Залкин // РНТС: Бурение. – 1970. – №1.

4. Балицкий В.П. Влияние амортизатора на колебательные процессы в бурильной колонне / В.П. Балицкий // РНТС: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1981. – №9. – С. 10-12.
5. Бевзюк Ф.И. Сравнительная оценка результатов стендовых и промышленных испытаний различных амортизаторов / Ф.И. Бевзюк, Г.И. Дранкер // Нефт. и газовая промышленность. – 1978. – С. 16-18.
6. Програма «Визначення виду емпіричної залежності методом найменших квадратів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_найменших_квадратів
*Стаття надійшла до редакційної колегії 21.02.2018 р.,
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Векериком В.І.,
д.т.н., професором Куцяком Я.В. (м. Київ)*

INFLUENCE OF SUPERCHISEL BORING SHOCK ABSORBERS DIFFERENT CONSTRUCTIONS ON A VIBROACCELERATION BORING COLUMN

B. M. Moysyshyn, B. I. Smaha, R. A. Zhovniruk

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str., 15;
ph. +380 (342) 72-71-31; e-mail: math @ nung. edu. ua*

The authors found that the variance of the vibration acceleration of the drilling column and the average power of the process of its change have the same physical content that is they are directly proportional to the values. According to the results of industrial researches it was found that the use of lower cylinder drill diameters of different structures reduces the velocity of vibration acceleration which determines the maximum dynamic load on the elements of the drilling column. At the same time the average power of the fluctuating process of the drilling column is also confused. The influence of different structures of shock absorbers on these values depends on the absorption coefficient of the elastic element of the shock absorber which is determined by the ratio of the area of the hinges loop to the area under the load cell. It is established that the effectiveness of vibration protection (reduction of the amplitude of vibration acceleration of a drill column) increases with increasing this coefficient.

Key words: *superchisel boring shock absorber, vibration acceleration of the drill column, vibration acceleration, layout of the bottom of the drilling column, dispersion and power of change of random process, approximation of experimental data by empirical dependencies.*