УДК 622.276.6

П.І. ОГОРОДНІКОВ, докт. техн. наук, МНТУ, м. Київ
В.М. СВІТЛИЦЬКИЙ, докт. техн. наук, ДК «Укргазвидобування», м. Київ
О.Т. ДРАГАНЧУК, канд. техн. наук, НАК «Нафтогаз України», м. Київ

АНАЛІЗ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ ЗМІНИ ДИНАМІЧНОГО СТАНУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

Розглянуто хвильовий відбивач, який складається з реактивних елементів та елементів з малим демпфуванням, як пристрій, що трансформує хвильову енергію в заданій смузі частот збурення від долота, в енергію, яка поступає в колону бурильних труб і частково повертається до вибою в вигляді відбитої хвилі.

The undular mirror which consists of reactive devices and devices with small dempfovations as the device converting undular energy in the given frequency band of perturbation from the straight bit, in energy which enters{arrives} in a drilling string and is partially returned to a bottom-hole in the form of a reflected{reflection} wave is viewed.

Ефективність поглиблення вибою свердловини залежить від осьового навантаження на породоруйнуючий інструмент, швидкості його обертання, умов очистки вибою, властивостей гірської породи, компонування низу бурильної колони (КНБК) тощо.

Однак запропоновані на даний час, методи розрахунку режимних параметрів, як правило, не враховують вплив на них конструкції бурильної колони, котра є ланкою, що пов’язує джерело енергії з породоруйнуючим інструментом.

Вводячи в компонування низу бурильної колони той чи інший пристрій, який змінює динамічний стан останньої, ми тим самим змінюємо динамічну складову осьового навантаження, а як наслідок інтенсивність взаємодії долота з породою – механічну швидкість.

Незалежно від типу пристрою, який змінює динамічний стан КБНК, а також смугу частот, у межах яких допустима його зміна, схема введення таких пристроїв (амортизаторів, хвильових відбивачів, регуляторів динаміки тощо) обумовлене метою їх призначення – вітрозахист чи підвищення показників буріння.

Призначенням високодемфуючих пристроїв є зміна вібраційного стану бурильної колони за рахунок усунення відбитих хвиль і зменшення динаміч-

них напружень в елементах бурильної колони, що досягається введення високодемфованих амортизаторів, або КНБК з послідовним включенням в неї значної кількості різноманітних центруючи і калібруючих елементів (Т.Р.С., К.Л.С. тощо).

У цих випадках спостерігається ріст проходки на долота при стабілізації або падінні механічної швидкості буріння.

Другим методом поглинання відбитої пружної хвилі, яка виникає за рахунок вертикальних переміщень долота, є введення в КНБК узгоджуючого пристрою, що дає можливість створення в ланці обважнених бурильних труб (ОБТ) ще однієї відбитої хвилі, амплітуда якої дорівнює амплітуді хвилі відбитої від ОБТ [1]. Фази обох відбитих хвиль відрізняються на 180°. І як наслідок – відбиті хвилі компенсують одна одну.

Перший метод зміни вібраційного стану бурильної колони оснований на введенні у КНБК пристроїв з високим поглинанням енергії коливань долота за рахунок гістерезису в матеріалі, в’язкого і сухого тертя. Конструкції таких пристроїв різноманітні [2]. Недоліком застосування таких пристроїв в бурінні свердловин, є поглинання збурень які поступають від долота тільки в вузькій смузі частот і як правило на достатньо високих частотах.

Тому створення широкосмугових віброзахисних пристроїв з елементами регулювання їх параметрів у залежності від режимів буріння в процесі поглиблення свердловини є дуже актуальною задачею.

Хвильові відбивачі, як пристрої регулювання динаміки бурильної колони і більш ефективного використання енергії відбитої хвилі, в основному, складаються з реактивних елементів (труб, шайб тощо) або комбінації комплексних навантажень (гумометалеві елементи).

Відбита пружна хвиля, яка розповсюджується від вибою, не поглинається, а відбивається назад до долота і знову частково поглинається. В результаті багатократного відбиття від долота і хвильового відбивача, практично вся потужність коливного процесу реалізується на долоті. Відбивач, в цьому випадку, настроюють на достатньо широку смугу ефективних частот роботи долота.

Хвильовий відбивач, який складається з реактивних елементів і елементів з малим демпфуванням можна розглядати як механічний трансформатор, який трансформує хвильову енергію в заданій смузі частот збурення від долота, в енергію, яка поступає в колону бурильних труб і частково повертається до вибою в вигляді відбитої хвилі.

У зв’язку з тим, що хвильовий відбивач, в подальшому, розглядається як трансформатор хвильової енергії, то такий прилад має бути регульованим на вході, зі сторони долота, по частоті його обертання, або осьового навантаження.

Розглянемо компонування бурильної колони, яка представлена на рис. 1.

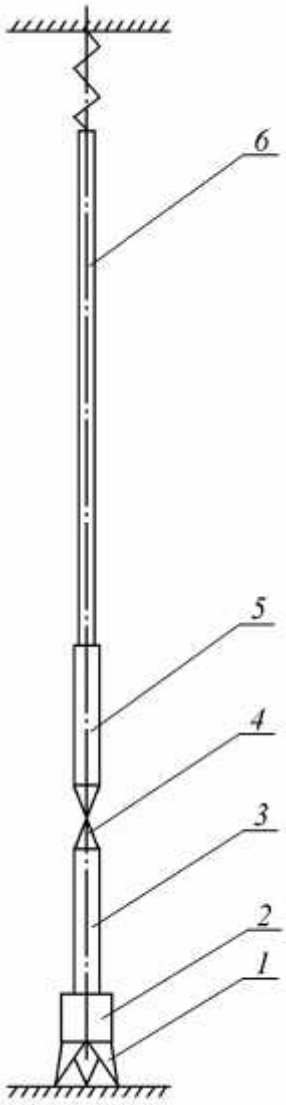

Рис. 1. Компонування бурильної колони:
1 – долото; 2 – центра тор (калібратор); 3 – нижня ланка ОБТ; 4 – хвилевий відбивач; 5 – верхня ланка ОБТ; 6 – колона бурильних труб

Будемо рахувати, що частина ОБТ над хвильовим відбивачем і бурильні труби є навантаженням для нижньої частини компонування.

Для частини компонування бурильної колони над долотом, включаючи і довжину відбивача можна записати рівняння, що описують її коливання, як однорідного стрижня з довільним динамічним навантаженням на кінці [3]:

$$F_н = F_к \operatorname{ch}\gamma\ell + \xi_к Z \operatorname{sh}\gamma\ell; \tag{1}$$

$$\xi_н = \xi_к Z_в \operatorname{ch}\gamma + \frac{Z_к}{Z_в}\operatorname{ch}\gamma\ell, \tag{2}$$

де $F_н$, $\xi_н$ – сила і віброшвидкість на долоті; $F_к$, $\xi_к$ – сила і віброшвидкість після відбивача; на віддалі ℓ; $Z_в$ і γ – хвильовий опір компонування і коефіцієнт розповсюдження.

Величину вхідного опору нижньої частини компонування можна визначити з рівнянь (1) і (2). Після відповідних перетворень і розділивши рівні (1) на (2) отримаємо:

$$Z_н = Z_в \frac{Z_в\ell + Z_к}{Z_к\ell + Z_в} + R_к, \tag{3}$$

де $Z_н$ – імпеданс нижньої частини компонування; $Z_к$ – імпеданс компонування вище відбивача; $R_к$ – активний опір на калібраторі.

Вираз (3) дає можливість вираховувати силу яка виникає на долоті, а також провести аналіз динамічних процесів.

У загальному випадку падаюча хвиля, в кінці нижньої частини компонування частково поглинається верхньою частиною, як навантаженням, а частково відбивається. Відповідно відношення амплітуд відбитої і падаючої хвиль, у точці відбиття, мають різну величину. Це співвідношення і визначить коефіцієнт відбиття без врахування $R_к$

$$K_F = \frac{F_{відб.}}{F_{пад.}} \tag{4}$$

або

$$K_\xi = \frac{\xi_{відб.}}{\xi_{пад.}} = -K_F. \tag{5}$$

З виразів (1) і (2) маємо:

$$K_F = \frac{F_к - \xi_к Z_в}{F_к + \xi_к Z_в} \tag{6}$$

і враховуючи, що

$$F_к = Z_к \xi_к \tag{7}$$

остаточно отримаємо

$$K_F = \frac{Z_к - Z_в}{Z_к + Z_в}. \tag{8}$$

Якщо в компоновані встановлений відбивач, конструкція якого дозволяє акустично розділити КНБК на дві частини тобто $Z_к$=0 і

$$K_F = \frac{0 - Z_в}{0 + Z_в} = -1 \tag{9}$$

то ми отримаємо ідеальні відбиття хвилі, що реально реалізувати неможливо. У випадку коли $Z_в$ чисто активне, а верхню частину компонування (навантаження) рахувати як реактивне навантаження то коефіцієнт відбиття носить комплексний характер. Це показує що між відбитою і падаючою хвилею існує здвиг фаз (відмінний у загальному випадку від $\pi/2$). Модуль коефіцієнту відбиття, буде:

$$\left| K_F \right| = \sqrt{\frac{X_к^2 - K_в^2}{X_к^2 + K_в^2}}, \tag{10}$$

де $X_к$ – реактивна складова $Z_к$.

Таким чином амплітуда відбитої хвилі в точці встановлення хвильового відбивача дорівнює амплітуді падаючої хвилі у тій же точці незалежно від величини реактивного навантаження.

У попередніх випадках модуль коефіцієнту відбиття дорівнює одиниці. При цьому, якщо втрати відсутні, енергія передається від початку нижньої частини компонування і назад до долота без витрат.

Якщо кінцеве навантаження є активним або комплексним, у разі встановлення високодемпфованого амортизатора, то енергія падаючої хвилі може розсіюватись в кінці нижньої частини компонування.

Повне поглинання енергії падаючої хвилі можливо у тому випадку (по-

двійний вітрозахист), коли на кінці першої ланки встановлене велике активне навантаження, а глибина свердловини більше 3000 метрів і в КНБК вмонтовано декілька опорних елементів. Для такого КНБК має бути можливим збереження того ж співвідношення між силою і віброшвидкістю для пружної хвилі, що розповсюджується по ОБТ.

Цій умові відповідає співвідношення:

$$Z_в = \frac{F_к}{\xi_к} = \frac{F_н}{\xi_н}, \qquad (11)$$

що відповідає $Z_к=Z_н$. У цьому випадку енергія повністю переходить в колону бурильних труб і розсіюється.

Реалізація такого випадку практично не можлива у першу чергу зі змінної довжини бурильної колони.

У реальних випадках $Z_к \neq Z_н$ і з відношення:

$$\frac{F_к}{\xi_к} \neq Z_в \qquad (12)$$

виходить, що повне поглинання енергії бурильною колоною неможливе.

Проведений аналіз хвильових процесів, які проходять в бурильній колоні в процесі буріння з застосування різних пристроїв для зміни динамічного стану останньої дали можливість розробити ряд ефективних пристроїв регулювання вібростану КНБК і раціонального використання хвильової енергії для інтенсифікації взаємодії долота з породою і зниження динамічних навантажень на елементи колони.

Список літератури: **1.** *Малярчук Б.М., Огороднiков П.І., Світлицький В.М., Стефурак Р.І.* Теоретичні і експериментальні дослідження спеціальних задач управління динамікою бурильної колони. – Харків: Вісник НТУ «ХПІ». – №27. – 2005. – с. 12–18. **2.** *Огородников П.І.* Управление углублением забоя скважины на базе изучения динамических процессов в бурильной колонне. – М.: Дис. док. техн. наук 1991– 421 с. **3.** *Теумин И.И.* Ультразвуковые колебательные системы. – М.: Машгиз, 1959. – 31 с.

Надійшла до редколегії 05.04.07