

УДК 622.248.5

Огородников П.И., Світлицький В.М., Сухина І.І.

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЛІКВІДАЦІЇ ПРИХОПЛЕНЬ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ УДАРНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Одним із напрямків підвищення техніко-економічних показників буріння є зменшення витрат часу на ліквідацію аварій, який складає до 12 % від всього балансу часу будівництва свердловини.

Найбільш важким видом аварій в бурінні є прихоплення бурильного інструменту – процес, який характеризується втратою рухомості колони труб та не відновлюється, інколи, навіть при прикладанні значних статичних і динамічних навантажень.

Найбільш ефективний метод ліквідації прихоплення – це застосування ударних пристроїв.

І тут виникає питання, як підібрати режими роботи пристрою для ліквідації прихоплення (ПЛП), місце його установки в бурильній колоні і виконати підбір необхідного компоненту вище ПЛП.

Для вирішення цих задач необхідно розглянути розвиток динамічних процесів, що виникають при взаємодії бурильної колони – прихопленої і вільної (верхньої) її ділянок при ударній роботі ПЛП.

В процесі ударної дії пристрою для ліквідації прихоплення, у ділянках бурильної колони (прихопленої і вільної колони бурильних труб) розповсюджуються пружні хвилі, які взаємодіють поміж собою. Розповсюдження хвильового процесу при співударі ділянок бурильної колони кінцевих розмірів, являє собою складний процес, як у момент формування ударного імпульсу, так і під час його розповсюдження та інтерференції.

Для аналізу динамічного процесу, який виникає в компонентуваннях бурильної колони при ліквідації прихоплення ударними пристроями застосуємо схему представлену на рис. 1.

При натягуванні колони силою N понад її власної ваги відбувається роз'єднання вузла фіксації «молота» пристрою, що приводить до коливання її ділянок.

В момент контакту верхньої і нижньої ділянок колони згідно теорії співудару стрижнів [1], в них виникають пружні хвилі деформації, які розповсюджуються у різні сторони. Оскільки сила дії рівна силі протидії, а жорсткості верхньої і нижньої ділянок колони, у більшості випадків, різні, то різними будуть і їх деформації.

Якщо відбувається деформація колони, то частина кінетичної енергії ударної ділянки переходить у потенційну енергію деформації розтягу (стиску), а залишок її зберігається в кінетичній формі. Процес часткового перетворення кінетичної енергії у потенційну послідовно розповсюджується на прилеглі перетини ділянок колони і далі по колоні. Кожна наступна ділянка деформується і набуває швидкості в наслідок взаємодії з попередньою. Границі між деформованими і ненапруженими перетинами переміщуються в обидві сторони від місця співудару зі швидкістю розповсюдження пружної хвилі в металі.

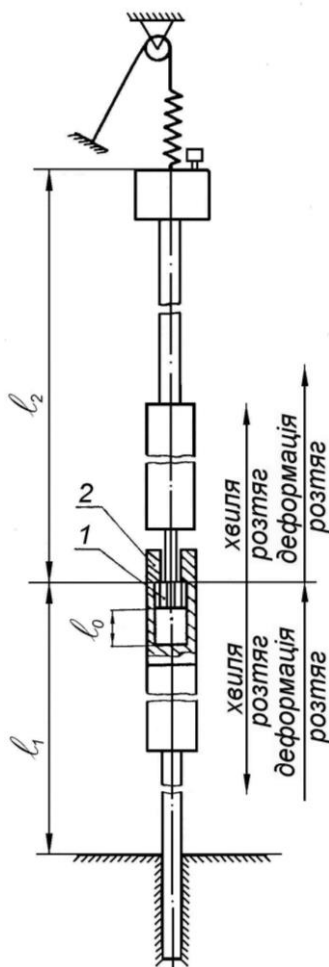


Рисунок 1 – Схема для аналізу динамічного процесу, який виникає в компонованнях бурильної колони при ліквідації прихоплень ударними пристроями

Яким чином це відбувається – розглянемо на кожній ділянці окремо.

В основу подальшого розв’язання поставленої задачі про розповсюдження пружних хвиль в прихопленій колоні під дією удару використаємо результати робіт [1,2]. Подовжній удар двох пружних стрижнів з плоскими торцями однакового поперечного перетину і матеріалу, що в першому наближенні моделює бурильну колону можна досліджувати за допомогою одномірного хвильового рівняння.

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = c_0^2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \quad (0 < x < l), \quad (1)$$

де u_x – зміщення; $c_0^2 = E/\rho$; E – модуль пружності Юнга, ρ – густина; c_0 – швидкість розповсюдження пружної хвилі в трубах.

Удар викликає двоступінчасті хвилі деформації, котрі розповсюджуються в додатному і від’ємному напрямі осі X з c_0 , відносно ділянок колони, що рухаються.

Розглянемо випадок прихоплення частини колони під ударним пристроєм і подамо закріплення в точці $x = l_1 + l_2$, де l_1 – довжина колони до ударного пристрою, а l_2 – відстань від голови прихопленої частини бурильної колони до точки прихоплення.

Розв'язання рівняння (1) має вигляд

$$u_x = f(x - c_0 t) + g(x + c_0 t), \quad (2)$$

котре представляє собою дві хвилі які накладаються і переміщуються в протилежні сторони. В результаті послідовного диференцювання (2) отримаємо деформацію ξx , напруження σx , і швидкість ϑ .

Для випадку прихопленої частини колони після диференціювання рівняння запишеться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta = -f'(\bar{\xi}) + g'(\bar{\xi}) &= 0 \\ t = 0; \bar{\xi} = x, \text{ äëÿ } l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 \\ f'(\bar{\xi}) = g'(\bar{\xi}) &= 0 \\ t = 0; \bar{\xi} = x, \text{ äëÿ } l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 \\ \vartheta = -f'(\bar{\xi}) + g'(\bar{\xi}) &= 0 \\ x = l_1 + l_2 \text{ äëÿ } \hat{\text{â}}\hat{\text{ñ}}\hat{\text{õ}} t \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} f'(\bar{\xi}) = -g'(\bar{\xi}) \\ \text{ï ðè } x = 0 \\ f'(\bar{\xi}) = -g'(\bar{\xi}) \\ \text{ï ðè } x = l_1 + l_2 \text{ äëÿ } \hat{\text{â}}\hat{\text{ñ}}\hat{\text{õ}} t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Якщо хвилі розповсюджуються в одну сторону, то рівняння (3) дають

$$|\sigma| = \rho c_0 \vartheta. \quad (5)$$

Таким чином, при жорсткому прихопленні, коли можна рахувати його, як жорстке закріплення стрижня виникає хвиля відбиття тієї ж фази і рівної амплітуди. В реальних випадках частина енергії падаючої хвилі передається в навколишнє середовище – амплітуди падаючої і відбитої хвиль зменшуються. Очевидно, дія відбитої хвилі буде зменшувати напруження в точці контакту молота і ковадла до нуля. Ймовірно це настає після інтервалу часу рівного подвоєному часу проходження хвилі в прихваченій частині колони, якщо її рахувати, за більш коротку ділянку бурильної колони ніж верхню. У всіх випадках умови неперервності вимагають, щоб зміщення і швидкість частинок в перерізах або частин колони на кожній стороні поверхні контакту (молот-ковадло) повинні бути тотожні в момент роз'єднання після удару.

У цьому випадку молот і ковадло, деякий час залишаються в контакті при відсутності напружень стиску: більш прихоплена нижня частина бурильної колони набуває постійної кінцевої швидкості, у той час, як верхня частина бурильної колони, довжина якої набагато більша за нижню, знаходиться у стані коливного режиму.

Коли верхня частина бурильної колони довжиною l_1 переміщується разом з молотом з початковою швидкістю ϑ_{01} стикається з ковадлом, яке з'єднане з закріпленою

(прихопленою) частиною колони довжиною l_2 , яка рухається з початковою швидкістю ϑ_{02} рівняння (3) і (4) описують процес розповсюдження хвиль для випадку коли $l_1 = \frac{1}{2}l_2$. При цьому необхідно враховувати початкові умови

$$\left. \begin{aligned} f'(x) &= \frac{\vartheta_{01}}{2c_0}; \quad g'(x) = \frac{\vartheta_{01}}{2c_0} \\ t &= 0; \quad 0 \leq x \leq l_1 \\ f'(x) &= -\frac{2\vartheta_{02}}{2c_0}; \quad g'(x) = \frac{\vartheta_{02}}{2c_0} \\ t &= 0; \quad l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В кінці співудару всі частини прихваченої ділянки вільні від напружень і знаходяться в відносному спокою, у той же час, як молот відскакує без коливання з його попередньою початковою швидкістю. Звідси і витікає можливість більш раціонального використання енергії коливних процесів верхньої частини бурильної колони для інтенсифікації впливу на прихоплену зону.

Процеси, які протікають в прихваченій зоні при ліквідації прихоплень складні і мало вивчені. Розглянемо вплив вібраційної дії, яка реалізується через бурильну колону за допомогою удару або віброзбурювача і описаний в роботі [3] з урахуванням конкретних геологічних умов.

Треба відмітити що віброзбурювач-вібратор може генерувати тільки збурення на одній частоті, тоді як при ударному збуренні спектр частоти коливань верхньої і нижньої частин бурильної колони дуже широкий (дивись рис. 2), що інтенсифікує процес звільнення прихопленої бурильної колони.

На ефективність ліквідації прихоплень бурильної колони, окрім вливу хвильового характеру розповсюдження деформації по бурильним трубам, має велике значення ефект зміни фізико-механічних властивостей середовища, яке обумовлює прихоплення, під дією вібраційних полів. Ці поля виникають за рахунок хвильових процесів, які виникають в результаті ударного збурювання прихопленої частини бурильної колони.

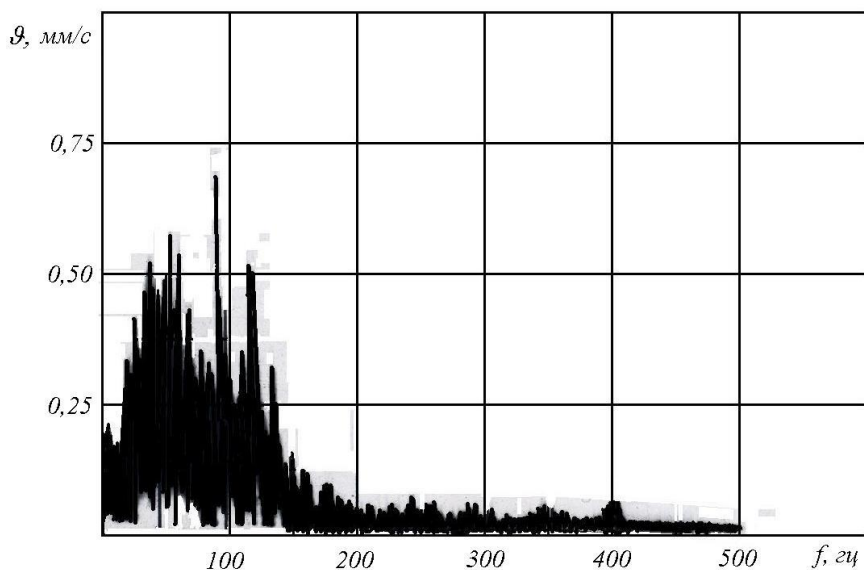


Рисунок 2

Так відомо, що під дією вібрацій змінюється (в меншу сторону) коефіцієнт тертя. У цьому випадку знижується розсіювання енергії і ще більше зменшується уявного коефіцієнт тертя.

Багато середовищ, які при малих швидкостях деформацій зсуву володіють тільки пластичними або пружними властивостями (або тими й іншими), при підвищених швидкостях зсуву починають проявляти в'язкі властивості – їх опір зсуву починає залежати від швидкості деформації (структурна в'язкість).

Структурною в'язкістю і навіть тиксотропією, володіють у тій чи іншій мірі численні гірські породи (особливо глинисті), а також тверда фаза бурового розчину в котрому частинки дисперговані до колоїдних розмірів. Ефекти структурної в'язкості і навіть текстурної ріднить їх з ефектом зниження уявного коефіцієнту тертя.

Таким чином фізико-механічні властивості порід, (середовища прихопленої зони) при ліквідації прихоплень ударним способом, який супроводжується передачею вібраційної енергії від колони до середовища зони прихоплення, характеризуються коефіцієнтом вібров'язкості. Передача коливань від прихваченої бурильної колони в прихоплену зону супроводжується руйнуванням її структури. Навколо труб в зоні прихоплення виникають розріджені зони дуже малої товщини, які нагадують суспензію або колоїдний розчин.

Осьове зусилля (попередній натяг) необхідне для підйому аварійної колони із такої зони лише на 20–30 % перевищує вагу інструменту за рахунок переходу сухого тертя в гідродинамічне. Застосування нафтових ванн, дає результат, який пояснюється також переходом сухого тертя в гідродинамічне.

При перехопленні бурильної колони за рахунок обвалів стінок свердловини кусками твердих порід, в процесі його ліквідації шляхом застосування ударних методів виникають вібрації інструменту, що приводить до зміни коефіцієнту тертя і сил зчеплення. В цьому випадку динамічний коефіцієнт тертя буде в декілька раз менший за коефіцієнт тертя спокою. Окрім того проходить втомне регулювання гострих виступів і зерен породи, а також попадання в тріщини і зазори рідини.

Зусилля підйому інструменту, який визначається, в основному, попереднім натягом, в даному випадку буде значно більший ніж у попередньому випадку. Виходячи з цього, необхідно більш раціонально використовувати хвильову енергію верхньої частини колони яка виникає при роботі ударного механізму.

Зміщення нижньої частини (прихопленої) як стрижня викликане ударним (імпульсним) навантаженням може бути також виражене в формі, яка представляє біжучі хвилі [1]. Якщо довжина l_2 , представляє частину колони до ударного пристрою з площею поперечного перетину A і моментом інерції I миттєво піддана дії напруження стиску – σ_0 в точці $x = l_2$, причому кінець $x = 0$ закріплений, то рішення рівня (1) яке задовольняє початкові і граничні умови буде

$$\left. \begin{aligned} u = \frac{\partial u}{\partial t} = 0; \quad t = 0; \quad 0 \leq x \leq l_2; \\ \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \quad x = 0; \quad t \geq 0; \\ \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\sigma_0}{E}; \quad x = l_2; \quad t > 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

може бути отримане за допомогою інтегрального перетворення Лапласа [1]

$$u = \frac{\sigma_0 t^2}{2\rho\ell_2} - \frac{2\sigma_0\ell_2}{\pi^2 E} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i}{i^2} \left(1 - \cos \frac{i\pi c_0 t}{\ell_2} \right) \cos \frac{i\pi x}{\ell_2}; \quad (8)$$

$i = 1, 2, 3 \dots$,

де ρ – густина матеріалу труб; E – модуль пружності Юнга.

Рівняння (8) показує, що змінну зміщення перетинів прихваченої частини можна регулювати не тільки за рахунок зміни величини імпульсного навантаження σ_0 , але й підбором раціональної довжини ℓ_2 – компоновки колони нижче ударного пристрою. За рахунок зміни параметрів компоновання під ударним пристроєм можна змінювати спектр коливань останнього, залежно від фізико-механічних властивостей умов прихопленя.

Для детального аналізу передачі вібраційної енергії в прихвачену зону необхідно розглянути трьохмірні рівняння теорії пружності.

Література

1. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел.. – М.: Издат. лит. по строительству, 1965. – 447 с.
2. Кильчевский Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел.. –К.: Наукова думка, 1976. – 314 с.
3. Ветров А.К., Коломоец А.В. Аварии в разведочном бурении и способы борьбы с ними. М.: Недра, 1969. – 181 с.

УДК 622.248.5

Огородников П.И., Светлицкий В.М., Сухина И.И.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЛИКВИДАЦИИ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ УДАРНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Проанализирована динамика процесса, возникающая в составляющих бурильной колонны при ликвидации прихватов ударными устройствами. Доказано, что за счет смены параметров составляющих под ударным устройством можно изменять спектр колебаний последних в зависимости от физико-механических свойств условий прихватов.