



Очевидно, що формоутворення долота способом литва дозволить суттєво знизити його вартість.

Літературні джерела

1 Пат. на корисну модель 72194 Україна, ПМК7 В 22 D 13/02. Машина для відцентрового литва і армування виливків / Шуляр І. О., Борушак Л. О., Борушак С. Л. – заявл. 31.01.12; опубл. 10.08.012, Бюл. № 15.

2 Шуляр І.О. Технологія і устаткування для отримання армованих виливків відцентровим литвом із змінним положенням осі обертання форми [Електронний ресурс] / І.О.Шуляр, Л.О.Борушак, В.Г.Панчук // Науковий Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ. – 2012. - №2 (10Е). – С. 154-163. Режим доступу до журн.: [www.dgma.donetsk.ua/science.../science\\_vesnik/...](http://www.dgma.donetsk.ua/science.../science_vesnik/...) 2012 /номер 2(10Е) 2012.html.

3 Юдин С. Б. Центробежное литье / С. Б. Юдин, М. М. Левин, С. Е. Розенфельд — М.: Машиностроение.— 1972. – 360 с.

УДК 622.245

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ ПРИХОПЛЕНЬ БУРИЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ У ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИНАХ

*К. Г. Левчук<sup>1</sup>, І. В. Цідило<sup>2</sup>*

*1 Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,  
03142, м. Київ, бул. Акад. Вернадського, 36;  
e-mail: [kgl.imp.nan@gmail.com](mailto:kgl.imp.nan@gmail.com)*

*2 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
e-mail: [math@iung.edu.ua](mailto:math@iung.edu.ua)*

Останнім часом інтенсивно розгортаються роботи з буріння рекреаційних зонах, морських акваторіях, зонах континентального шельфу, на родовищах скопчення покладів вугільного і сланцевого газу. При цьому основними процесами, які впливають на тривалість та вартість спорудження свердловин, залишаються можливість попередження, а у випадку виникнення ускладнень – ефективного вивільнення прихопленого бурильного інструменту. Основним шляхом оперативної ліквідації аварій є удосконалення технології у похило-скерованих і горизонтальних свердловинах.

Ускладнення при розробці таких технологій пов'язані з викривленням траскторії свердловини, можливістю передачі енергії в зону прихоплення бурильної колони, осипанням і обвалюванням



стінок свердловини, утворених нестійкими породами, накопиченням шламу.

Отже для вирішення проблеми успішної ліквідації прихоплень бурильного інструменту в похило-скерованих свердловинах необхідно [1]:

- дослідити вплив інтенсивності набору кривизни стовбура свердловини на силу тиску породи і ваги на її стінки;
- провести параметричні дослідження ударно-вібраційних механізмів на ефективність ліквідації прихоплення;
- визначити місце розміщення ударного пристрою або осцилятора для вивільнення бурильної колони для різних зон прихоплення.

Представлену доповідь присвячено теоретичним дослідженням впливу технологічних чинників на процес ліквідації прихоплень.

Для розрахунку осьових і поперечних навантажень було вибрано дискретно-континуальну схему компоновки бурильної колони, представлена на рисунку, яка складатиметься з талевої системи ( $m_0, k_0$ ), бурильних труб ( $m_1, k_1$ ), вільної ( $m_2, k_2$ ) та прихопленої ( $m_3, k_3$ ) частин обважнених бурильних труб.

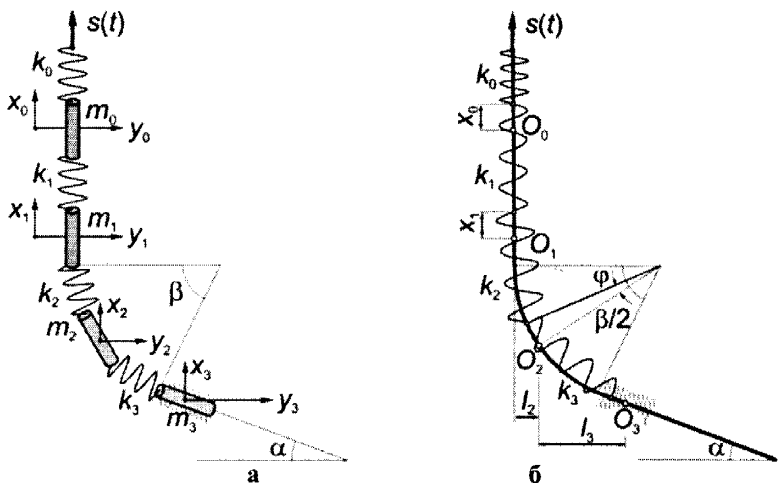


Рисунок 1 – Модель прихопленої бурильної колони у похило-скерованій свердловині

Поздовжні коливання секцій бурильної колони як частин підвищеного стрижня описували хвильовими рівняннями другого порядку:



$$\begin{aligned} m_0 \ddot{x}_0 &= k_0(x_0 - s + \Delta_0) + k_1(x_1 - x_0 + \Delta_1) - c\dot{x}_0 - m_0 g; \\ m_1 \ddot{x}_1 &= -k_1(x_1 - x_0 + \Delta_1) + k_2(x_2 - x_1 + \Delta_2) - c\dot{x}_1 - m_1 g; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{x}_2 &= -k_2 \cos \gamma_2 [(x_2 - x_1 + \Delta_{x2}) \cos \gamma_2 - y_2 \sin \gamma_2] - \\ & k_3 \cos \gamma_3 [(x_3 - x_2 + \Delta_{x3}) \cos \gamma_3 + (y_3 - y_2) \sin \gamma_3] - \\ & m_2 g - c\dot{x}_2 + N_2 \sin(\beta/2 - \phi) - \mu N_2 \cos(\beta/2 - \phi); \\ m_2 \ddot{y}_2 &= -k_2 \sin \gamma_2 [(x_2 - x_1 + \Delta_{x2}) \cos \gamma_2 - y_2 \sin \gamma_2] - \\ & k_3 \sin \gamma_3 [(x_3 - x_2 + \Delta_{x3}) \cos \gamma_3 + (y_3 - y_2) \sin \gamma_3] - \\ & c\dot{y}_2 + N_2 \cos(\beta/2 - \phi) + \mu N_2 \sin(\beta/2 - \phi); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} m_3 (\ddot{x}_3 \sin \alpha - \ddot{y}_3 \cos \alpha) &= k_3 \cos \gamma_3 [(x_3 - x_2 + \Delta_{x3}) \cos \gamma_3 \sin \alpha - \\ & - (y_3 - y_2) \sin \gamma_3 \cos \alpha] - m_3 g \sin \alpha - c(\dot{x}_3 \sin \alpha - \dot{y}_3 \cos \alpha) - F_{mp}; \\ 0 &= k_3 \sin \gamma_3 [(x_3 - x_2 + \Delta_{x3}) \cos \gamma_3 \cos \alpha + (y_3 - y_2) \sin \gamma_3 \sin \alpha] - \\ & - m_3 g \cos \alpha - c(\dot{x}_3 \cos \alpha + \dot{y}_3 \sin \alpha) + N_3, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $s=s(t)$  – закон збурень механізму, що вивільняє прихоплену бурильну колону;

$k_i = E_i F_i / l_i$  ( $E_i$  – модуль пружності матеріалу труб;  
 $F_i$  – площа поперечного перерізу бурильної труби;  
 $l_i$  – довжина секції бурильної колони);

$\Delta_i$  – статична деформація бурильних труб, що визначається з умов статичної рівноваги бурильної колони;

$c$  – коефіцієнт в'язкого опору промивальної рідини;

$N_i$  – нормальна складова тиску гірської породи на бурильну трубу;

$\mu$  – коефіцієнт тертя;

$F_{mp}$  – сила тертя труби об стінку свердловини.

Кут  $\phi$  визначає поточне положення центра мас прихопленої частини обважненої бурильної труби, а  $\gamma_2, \gamma_3$  визначають статичне положення центрів мас секцій бурильної колони:

$$\phi = 2 \arcsin \frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{R}; \quad \gamma_2 = \arcsin \frac{l_2}{O_1 O_2}; \quad \gamma_3 = \arcsin \frac{l_3}{O_2 O_3}, \quad (4)$$

де  $R$  – радіус кривини траєкторії свердловини.

Оскільки між свердловини і бурильними трубами циркулює промивальна рідина, то сила тертя  $F_{mp}$  неконсервативна, і тому



необхідно враховувати ефект Стрібека. Наявність мастила призводить до зміни сили тертя при контактї труб з кіркою свердловини в залежності від швидкості, з якою контактують обидві поверхні. Залежність сили  $F_{mp}$  від швидкості описують моделлю [2]:

$$F_{mp} = \frac{2\mu N_3 \arctg \varepsilon (\dot{x}_3 \sin \alpha - \dot{y}_3 \cos \alpha)}{\pi (1 + \delta |\dot{x}_3 \sin \alpha - \dot{y}_3 \cos \alpha|)}, \quad (5)$$

де  $\varepsilon=10^6$  – параметр точності, який контролює форму гладкого наближення від статичного тертя до динамічного тертя. Константа  $\delta$  враховує змащувальний ефект у коефіцієнті динамічного тертя. Зрозуміло, що для сухого тертя  $\delta=0$ . Якщо бурильні труби прихоплені, то  $F_{mp}=0$ . У разі прилипання сила тертя  $F_{mp}$  знаходиться в інтервалі статичного тертя:  $-F_{cm} \leq F_{mp} \leq F_{cm}$ . Якщо сила тертя перевищує порогове значення  $F_{cm}$ , то труби починають ковзати.

Оскільки система диференціальних рівнянь (1)–(3), кути (4) та сила тертя (5) містять нелінійності, то розв'язати задачу аналітичного неможливо. Для розв'язання такої системи динамічних рівнянь було розроблено комп'ютерну програму [3], за допомогою якої отримано чисельні залежності законів руху секцій бурильної колони, їхньої швидкості, а також тиску породи на прихоплену частину бурильної колони.

Проведені дослідження показали, що для забезпечення безаварійного прокладання похило-скерованих і горизонтальних свердловин необхідно:

– при проектуванні свердловин необхідно уникати інтенсивного викривлення її стовбура, особливо в зонах залягання нестійких гірських порід, які зі збільшенням кутів нахилу інтенсивно осипаються та обвалюються; рекомендується здійснювати набір кривини поза інтервалами залягання нестійких гірських порід;

– у випадку розрахунку прихоплювальної сили на труби необхідно враховувати не лише силу тиску породи, але і вагу вільної частини бурильної колони.

#### Літературні джерела

1 Кунцяк Я. В. Особливості буріння горизонтальних свердловин у зонах залягання нестійких гірських порід / Я. В. Кунцяк, Р. Я. Кунцяк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – №1 (23). – С. 38-46.

2 Van de Vrande B. L. Some aspects of the analysis of stick-slip vibrations with an application to drill strings / B. L. Van de Vrande, D.H. Van Campen, D. Kraker // ASME Design Engineering Technical Conference. – 1997. – P. 14-17.

3 Tang M.A. new model for computing surge/swab pressure in horizontal wells and analysis of influencing factors / M. Tang, J. Xiong,



S. He // Journal of Natural GasScience Engineering. – Vol. 19. –2014. – P. 337–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2014.05.026>.

УДК 621.95.01

## СТІЙКІСТЬ МАХОВИКА В СФЕРИЧНОМУ ПІДВІСІ НА ВІБРУЮЧІЙ ОСНОВІ

*І. В. Цідило<sup>1</sup>, А. О. Молчанов<sup>1</sup>, В. М. Палащук<sup>2</sup>*

*1 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76015 м. Івано-Франківськ вул. Карпатська 15*

*2 Бурштинський енергетичний коледж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 77111 Івано-Франківська обл., Галицький р-н, м.Бурштин, вул.Калуська 4*

Дане дослідження присвячене механічним системам з екологічно чистими джерелами енергії. До такого виду механічних систем відноситься маховичний двигун – прилад який має високу питому потужність, виділяє енергію безпосередньо у виді механічного обертання, швидко заряджається і надійний в роботі. Такі двигуни знаходять широке застосування в техніці, на транспортних засобах, які працюють в вибухонебезпечних кар'єрах, шахтах, нафтогазових промислах і т. д.

Ведуться розробки транспортних засобів з гібридним двигуном (двигун внутрішнього згорання – маховик). Застосування таких двигунів в різних областях машинобудування присвячені роботи Н. В. Гулія [2], Г. Ю. Дзюби [4], М. А. Павловського, А. В. Збруцького [3] та ін.

Актуальним є оцінка їх придатності. Питання вібростійкості при дослідженні динамічних властивостей таких роторних віброуючих гіроскопів є одним із основних.

Опис досліджуваної механічної системи та рівняння її руху.

Нами досліджується стійкість механічної системи показаної на рис. 1, яка являє собою швидкообертальний маховик 2 в амортизованому чотирма амортизаторами корпусі 1. Наявність чотирьох сферичних опор 3 дає можливість корпусу повертатися в сферичному підвісі і не дозволяє мати поступальні поздовжні і поперечні переміщення. Система займає як би проміжне місце між гіроскопом в сферичному підвісі і маховиком, що обертається в жорстко закріплених опорах.