

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ ПРИХОПЛЕНЬ БУРИЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА ГІДРОІМПУЛЬСНИМ СПОСОБОМ

К. Г. Левчук¹, М. В. Щербина²

¹Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України;

03142, м. Київ, вул. Вернадського, 36;

тел. +380 (44) 422-95-51; e-mail: kgl.imp.nan@gmail.com

²Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37;

тел. +380 (44) 236-79-89; e-mail: mickshch@gmail.com

Запропоновано технічне вирішення вивільнення прихопленого бурильного інструмента, що базується на застосуванні енергії внаслідок циркуляції бурового розчину. Обґрунтовано доцільність використання гідроімпульсного способу ліквідації прихоплень бурильного інструмента. Запропоновано математичну модель динамічного процесу прихопленої колони бурильних труб у випадку збурювання гідроімпульсних коливань у зоні продуктивного шару гірської породи. Одержано закон подовжніх переміщень, що виникають у прихопленій колоні, що дозволяє вибирати оптимальні геометричні параметри прохідних каналів та частоти обертань перекивача цих каналів. Систематизовано рекомендації із застосування описаного способу для випадку практичного використання.

Ключові слова: прихоплення бурильної колони, гідроімпульсний спосіб, хвильове рівняння, метод Фур'є, контактний тиск, рекомендації з ліквідації прихоплень бурильної колони.

Вступ

Надра України багаті запасами природного газу, що дозволяє збільшити обсяги власного видобутку природного газу для зменшення залежності України від імпорту енергоносіїв та забезпечення енергетичної безпеки держави. У концепції розвитку газовидобувної галузі України до 2020 року з урахуванням провідного досвіду іноземних держав передбачено збільшити обсяг власного видобутку природного газу з метою зменшення її залежності від імпорту енергоносіїв та стабільного забезпечення споживачів енергією [1].

З метою приросту обсягів природного газу необхідно підвищити ефективність видобутку на існуючих родовищах, збільшити обсяги буріння нових свердловин, застосовувати методи інтенсифікації видобут-

ку та удосконалювати системи розробки резервуарів покладу. Поставлене завдання потребує відкриття нових родовищ природного газу на основі проведення геологорозвідувальних робіт, наукових досліджень, сейсморозвідки, буріння пошукових і розвідувальних свердловин (як вертикальних, так і складної просторової конфігурації).

Буріння свердловин вимагає нових технічних і технологічних рішень, що дозволяють уникнути ускладнень та аварій, серед яких найпоширенішими є прихоплення бурильного інструмента. Проблема пошуку технологічних способів і технічних засобів ліквідації прихоплень є актуальною і потребує подальшого розвитку.

Механізм виникнення і характер прихоплень, а також процес руйнування неголономних, реономних в'язей, що виникають між прихопленою бурильною колоною і стінками свердловини, визначають вибір способів та засобів їх ліквідації [2]. За фізичними причинами і обставинами виникнення прихоплення поділяють на три види [3]: 1 – диференціальні (викликані перепадом тиску) прихоплення, 2 – прихоплення, викликані заклинюванням рухомого бурильного інструмента (затяжкою в жолобі, заклинюванням бурильної колони у звуженій частині стовбура свердловини або заклинювання стороннім предметом), 3 – прихоплення викликані осипанням, обвалом, плинністю пластичних порід, осіданням твердої фази або шламу, утворенням сальника.

Для ліквідації прихоплень бурильного інструмента, зумовлених перепадом тиску, заклинюванням колон у жолобах або осипанням гірської породи рекомендують застосовувати гідроімпульсний спосіб [4].

Мета дослідження

Метою роботи є створення математичної моделі для теоретичного дослідження динаміки прихопленої бурильної колони під дією гідроімпульсних коливань бурового розчину.

Гідроімпульсний спосіб ліквідації прихоплень бурильного інструмента

Зазначимо, що застосування гідроімпульсного способу (ГІС) для вивільнення прихопленого бурильного інструмента має обмеження: його не використовують, якщо густина бурового розчину менша 1350 кг/м^3 , бурильна колона або бурильні труби не герметичні (мають тріщини або дефекти), долото опирається на вибій або відсутня кругова циркуляція бурового розчину. Застосування ГІС у випадку відсутності циркуляції допускають, якщо припинення руху розчину викликане частковим заповненням нижньої колони бурильних труб осадам шламу [5].

Спосіб полягає у створенні ефекту розвантаження колони бурильних труб за рахунок різкого зниження попередньо створеного напруження розтягу в матеріалі труб. У бурильні труби через нагнітальну головку при відкритому засуві закачують рідину (воду, нафту або буровий розчин), що має значно меншу густина ρ_2 порівняно з буровим ро-

зчином ρ_1 . За рахунок різниці густини розчину в трубах ρ_2 і в затрубному просторі ρ_1 створюється тиск, під дією якого розтягується бурильна колона:

$$\Delta p = (\rho_1 - \rho_2)gH, \quad (1)$$

де H – глибина занурення рівня розділу рідин у колоні.

У результаті зростання тиску до спеціально підбраного прогнозованого значення діафрагма розривається, а тиск миттєво знижується – виникає хвиля розвантаження. Перетікання рідини сприяє вивільненню бурильного інструмента [6].

Під час зняття тиску колона стискається, а буровий розчин з підвищеною швидкістю переміщається із затрубного простору в труби, що дозволяє розчинити фільтраційну кірку або сальник. Тиск у зоні прихоплення при цьому знижується внаслідок зниження рівня рідини у затрубному просторі, а бурильну колону вивільнюють.

Засув використовують для перекриття колони труб, щоб уникнути чималого зниження рівня розчину в затрубному просторі.

Математична модель динамічного процесу вивільнення прихопленого бурильного інструмента гідроімпульсним способом

Динаміку гідроімпульсних коливань бурового розчину [7] опишемо рівнянням, одержаним у результаті перетворення рівняння руху і нерозривності крапельної рідини:

$$\frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial x^2} = 0, \quad (2)$$

де $p(x, t)$ – швидкість руху бурового розчину у перерізі x бурильної колони у поточний момент часу t , $c = (E_{\text{бр}}/\rho_{\text{бр}})^{1/2}$ – швидкість звуку у розчині.

До диференціального рівняння (2) необхідно додати дві крайові умови: на верхній межі прихоплення ($x=0$) – об'ємні витрати розчину Q не змінюються, а на нижній ($x=l$) – швидкість руху бурового розчину регулюється зміною площі $s(t)$ прохідних каналів ГІС:

$$\left. \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad p(l, t) = \frac{Q}{s(t)}. \quad (3)$$

Закон зміни площі прохідних каналів ГІС описуємо формулою:

$$s(x, t) = s_1 + (s_2 - s_1) |\sin \omega t|. \quad (4)$$

Тут s_2, s_1 – площі більшого і меншого прохідних каналів гідроімпульсного пристрою відповідно, ω – колова частота перекивача цих каналів.

Диференціальне рівняння (2) однорідне з нестационарними крайовими умовами (3) [8]. Для знаходження розв'язку введемо додаткову функцію $p_2(x, t)$, яка дозволяє позбутися неоднорідності у крайових умовах:

$$p_2(x, t) = \frac{Q}{l^2} \cdot \frac{x^2}{s(t)}. \quad (5)$$

Тоді швидкість руху бурового розчину:

$$p(x, t) = p_1(x, t) + \frac{Q}{l^2} \cdot \frac{x^2}{s(t)}, \quad (6)$$

Для знаходження $p_1(x, t)$ необхідно розв'язати наступне динамічне рівняння:

$$\frac{\partial^2 p_1(x, t)}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p_1(x, t)}{\partial x^2} = \frac{Q}{l^2 s(t)} [a(t)x^2 - 2c^2], \quad (7)$$

$$a(t) = \omega^2 (s_2 - s_1) \left((s_2 - s_1) \cos^2 \omega t - s(t) \sin \omega t \right) s^{-2}(t)$$

з однорідними крайовими умовами:

$$\left. \frac{\partial p_1(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad p_1(l, t) = 0. \quad (8)$$

Скориставшись методом Фур'є, знаходимо загальний розв'язок $p_{11}(x, t)$ рівняння (7) з урахуванням крайових умов (8) у вигляді:

$$p_{11}(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} (A1_n \sin \lambda_n t + B1_n \cos \lambda_n t) \cos \lambda_n x / c, \quad (9)$$

де $\lambda_n = \pi c(1+2n)/(2l)$ – колова частота власних коливань бурового розчину.

Початкові умови враховують постійну швидкість бурового розчину по всій довжині колони, а саме:

$$p(x, 0) = \frac{Q}{s_1}, \quad \left. \frac{\partial p(x, t)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \quad (10)$$

Відповідно до (6) з рівностей (10) записуємо початкові умови для функції $p_1(x, t)$:

$$p_1(x, 0) = \frac{Q}{s_1} (1 - x^2/l^2), \quad \left. \frac{\partial p_1(x, t)}{\partial t} \right|_{t=0} = \frac{\omega Q}{s_1^2} (s_2 - s_1) \frac{x^2}{l^2}. \quad (11)$$

Задача визначення сталих інтегрування A_n і B_n і знаходження закону зміни швидкості руху бурового розчину зводиться до розкладання початкових умов (11) і правої частини рівняння (7) у тригонометричні ряди Фур'є за власними функціями:

$$\begin{aligned} p_1(x, 0) &= \frac{2Q}{s_1} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{3} - \frac{2c^2}{\lambda_n^2 l^2} \left(\cos \frac{\lambda_n l}{c} - \frac{c}{\lambda_n l} \sin \frac{\lambda_n l}{c} \right) \right] \cos \frac{\lambda_n x}{c}, \\ \left. \frac{\partial p_1(x, t)}{\partial t} \right|_{t=0} &= \frac{2\omega Q}{s_1^2} (s_2 - s_1) \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{6} + \frac{c}{\lambda_n l^3} \times \right. \\ &\times \left. \left(\left(l^2 - \frac{2c^2}{\lambda_n^2} \right) \sin \frac{\lambda_n l}{c} + 2l \frac{c}{\lambda_n} \cos \frac{\lambda_n l}{c} \right) \right] \cos \frac{\lambda_n x}{c}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\frac{Q}{l^2 s(t)} [a(t)x^2 - 2c^2] = \frac{Q}{l^3 s(t)} \sum_{n=1}^{\infty} \left[a(t) \frac{l^3}{3} - 2c^2 + \right. \\ \left. + 2 \frac{c}{\lambda_n} a(t) \left(\left(l^2 - \frac{2c^2}{\lambda_n^2} \right) \sin \frac{\lambda_n l}{c} + 2 \frac{cl}{\lambda_n} \cos \frac{\lambda_n l}{c} \right) - 4 \frac{c^3}{\lambda_n} \sin \frac{\lambda_n l}{c} \right] \cos \frac{\lambda_n x}{c}.$$

На основі неоднорідного рівняння (7) одержано систему із нескінченної кількості ($n = 0, 1, \dots, \infty$) рівнянь часових функцій, тобто класичну задачу Коші:

$$\frac{\partial^2 T_{1n}(t)}{\partial t^2} + \lambda_n^2 T_{1n}(t) = \frac{Q}{l^3 s(t)} [b_n a(t) - 4c^2 l_n \sin l/l_n], \\ T_{1n}(0) = \frac{2Q}{s_1 l^2} [2l^2/3 - 2l_n^2 (\cos l/l_n - l_n l \sin l/l_n)], \quad (13)$$

$$\left. \frac{\partial T_{1n}(t)}{\partial t} \right|_{t=0} = \frac{2\omega Q}{s_1^2 l^3} (s_2 - s_1) \{ l^3/3 + l_n [(l^2 - 2l_n^2) \sin l/l_n + 2l_n l \cos l/l_n] \},$$

$$b_n = [l^3/3 + 2l_n(l^2 - 2l_n^2) \sin l/l_n + 4l_n^2 l \cos l/l_n], \quad l_n = c/\lambda_n.$$

Розв'язок неоднорідних диференціальних рівнянь (13) є сумою загального і частинного рішень. Попередньо знайденим власним частотам λ_n відповідають наступні часові функції:

$$T_{1n}(t) = A_{1n} \sin \lambda_n t + B_{1n} \cos \lambda_n t + D_{1n}(t), \quad (14)$$

де сталі інтегрування $A_{1n} = [\dot{T}_{1n}(0) - \dot{D}_{1n}(0)]/\lambda_n$, $B_{1n} = T_{1n}(0) - D_{1n}(0)$.

Отже, швидкість руху бурового розчину у перерізі x бурильної колони змінюється за законом:

$$p(x, t) = \frac{Q}{l^2} \frac{x^2}{s(t)} + \sum_{n=0}^{\infty} [A_{1n} \sin \lambda_n t + B_{1n} \cos \lambda_n t + D_{1n}(t)] \cos \lambda_n x/c, \quad (15)$$

Для опису динаміки бурильного інструмента у прихопленій частині під дією гідроімпульсних коливань бурового розчину, збурених за допомогою ГІС, скористаємось хвильовими рівняннями гіперболічного типу. Переміщення перерізів бурильних колони у зоні прихоплення довжиною l визначимо з рівнянь другого порядку у часткових похідних:

$$\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = g_1, \quad (16)$$

де $u(x, t)$ – поздовжнє переміщення x -перерізу бурильної колони у поточний момент часу t , $a = (E_{\text{тр}}/\rho_{\text{тр}})^{1/2}$ – швидкість розповсюдження звуку у матеріалі, з якого виготовлено труби. Прискорення g_1 визначається силою ваги бурильної колони та ефектом Стрібека [9] на ділянці її прихоплення:

$$g_1 = g - \frac{2\mu p_{\text{пор}}}{\pi \rho_{\text{тр}} l} \frac{\arctg \left(\varepsilon \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} \right)}{1 + \delta \left| \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} \right|}, \quad (17)$$

де $p_{\text{пор}}$ – тиск породи на стінки бурильних труб, ε – коефіцієнт кореляції, що відповідає виду тертя (від статичного до динамічного), δ – коефіцієнт, що враховує змащувальні властивості розчину [10].

До диференціального рівняння (16) необхідно додати дві крайові умови: на верхній межі прихоплення ($x=0$) – переміщення зупинено, а на нижній ($x=l$) – змінним є тиск бурового розчину, який збурюють гідроімпульсним способом:

$$u(0,t) = 0, \quad \left. \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right|_{x=l} = \frac{c^2}{E} \rho_{\text{ор}} \int_0^t \left. \frac{\partial p(x,\tau)}{\partial x} \right|_{x=l} d\tau = U(l,t). \quad (18)$$

Диференціальне рівняння (16) неоднорідне з нестационарними крайовими умовами (18). Стаціонарний розв’язок знаходимо шляхом його підстановки у рівняння (16) і (18):

$$u_0(x) = \left(\frac{2Q}{s_1 l} + (l - 0,5x) \frac{g_1}{a^2} \right) x. \quad (19)$$

Далі маємо однорідне динамічне рівняння, що відповідає (16):

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = 0, \quad (20)$$

але крайові умови (18) нестационарні. Тому вводимо додаткову функцію $u_2(x, t)$, яка дозволяє позбутися неоднорідності крайових умов:

$$u_2(x,t) = U(l,t)x. \quad (21)$$

Тоді позовжні коливання перерізів бурильної колони у зоні прихоплення:

$$u(x,t) = u_1(x,t) + U(l,t)x. \quad (22)$$

Для знаходження $u_1(x, t)$ необхідно розв’язати наступне динамічне рівняння:

$$\frac{\partial^2 u_1(x,t)}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u_1(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 U(l,t)}{\partial t^2} \quad (23)$$

з однорідними крайовими умовами:

$$u(0,t) = 0, \quad \left. \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right|_{x=l} = 0. \quad (24)$$

Знову скориставшись методом Фур’є, знаходимо загальний розв’язок $u_{11}(x, t)$ рівняння (23) з урахуванням крайових умов (24) у вигляді:

$$u_{11}(x,t) = \sum_{n=0}^{\infty} (A2_n \sin v_n t + B2_n \cos v_n t) \cos v_n x/a, \quad (25)$$

де $v_n = \pi a(1+2n)/(2l)$ – колова частота власних коливань бурильної колони.

Початкові умови у положенні статичної рівноваги та початкова швидкість перерізів колони бурильних труб:

$$u(x,0) = 0, \quad \left. \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \quad (26)$$

Відповідно до (22) з рівностей (26) запишемо початкові умови для функції $u_1(x, t)$:

$$u_1(x, 0) = -U(l, 0)x, \quad \left. \frac{\partial u_1(x, t)}{\partial t} \right|_{t=0} = - \left. \frac{\partial U(x, 0)}{\partial t} \right|_{x=l} x. \quad (27)$$

Задача визначення сталих інтегрування $U1_n$ і $U2_n$ і знаходження закону вимушених коливань бурильної колони зводиться до розкладання початкових умов (27) і правої частини рівняння (23) у тригонометричні ряди Фур'є за власними функціями:

$$u_1(x, 0) = -U(l, 0) \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{l}{2} + 2 \frac{a}{v_n} \left(\sin \frac{v_n l}{a} + \frac{a}{v_n l} \left(\cos \frac{v_n l}{a} - 1 \right) \right) \right] \cos \frac{v_n x}{a},$$

$$\left. \frac{\partial u_1(x, t)}{\partial t} \right|_{t=0} = -\dot{U}(l, 0) \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{l}{2} + 2 \frac{a}{v_n} \left(\sin \frac{v_n l}{a} + \frac{a}{v_n l} \left(\cos \frac{v_n l}{a} - 1 \right) \right) \right] \cos \frac{v_n x}{a}, \quad (28)$$

$$\frac{\partial^2 U(l, t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U(l, t)}{\partial t^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left(1 + 2 \frac{a}{v_n l} \sin \frac{v_n l}{a} \right) \cos \frac{v_n x}{a},$$

У результаті на основі неоднорідного рівняння (23) одержано систему із нескінченної кількості ($n = 1, \dots, \infty$) рівнянь часових функцій, що являють собою класичну задачу Коші:

$$\frac{\partial^2 T_{2n}(t)}{\partial t^2} + v_n^2 T_{2n}(t) = \frac{\partial^2 U(l, t)}{\partial t^2} \left(1 + 2 \frac{L_n}{l} \sin l/L_n \right),$$

$$T_{2n}(0) = -U(l, 0) \frac{l}{2} \left[1 + 4 \frac{L_n}{l} \left(\sin l/L_n + \frac{L_n}{l} (\cos l/L_n - 1) \right) \right], \quad (29)$$

$$\left. \frac{\partial T_{1n}(t)}{\partial t} \right|_{t=0} = \frac{\partial^2 U(l, t)}{\partial t^2} \left(1 + 2 \frac{L_n}{l} \sin l/L_n \right), \quad L_n = a/v_n.$$

Розв'язок неоднорідних диференціальних рівнянь (23) є сумою стаціонарного, загального і частинного рішень. Попередньо знайденим власним частотам v_n відповідають наступні часові функції:

$$T_{2n}(t) = A2_n \sin v_n t + B2_n \cos v_n t + D2_n(t), \quad (30)$$

де сталі інтегрування $A2_n = [\dot{T}_{2n}(0) - \dot{D}2_n(0)]/v_n$, $B2_n = T_{2n}(0) - D2_n(0)$.

Отже, поздовжні коливання перерізів бурильної колони змінюється за законом:

$$u(x, t) = \left(U(l, t) + \frac{2Q}{s_1 l} + (l - 0,5x) \frac{g_1}{a^2} \right) x +$$

$$+ \sum_{n=0}^{\infty} [A2_n \sin v_n t + B2_n \cos v_n t + D2_n(t)] \cos v_n x/a. \quad (31)$$

Рекомендації щодо ліквідації прихоплень гідроімпульсним способом

Для вивільнення прихопленого бурильного інструмента гідроімпульсним способом полягають у наступному:

1. Визначають верхню межу прихоплення бурильного інструмента.
2. Компоновку вільної частини колони бурильних труб підбирають таким чином, щоб над ротором виступала труба на 40–50 см.
3. Відновлюють циркуляцію, інтенсивно промивають свердловину, а фізичні параметри бурового розчину приводять у відповідність до нормованих значень.
4. До бурильної колони приєднують наголовник (нагнітальну головку з корковими кранами високого тиску на відвідних патрубках, засув високого тиску, діафрагмову камеру) з діафрагмами, підібрану за розрахунками. Попередньо нагнітальна головка, засув та наголовник необхідно опресовані на тиск, що перевищує на 25% максимальний перепад тиску при гідроімпульсному збурюванні. Схема обв'язування обладнання для проведення робіт з ліквідації прихоплень гідроімпульсним способом.
5. Цементувальні агрегати приєднують до відвідних патрубків нагнітальної головки і до приймальних ємностей з водою.
6. Повністю натягують бурильну колону так, щоб у зоні прихоплення діяла сила близько 1000 кН. Залишають бурильну колону у підвішеному стані на телях. Встановлювати колону у роторі заборонено.
7. Закачують у бурильні труби воду або іншу рідину, густина якої значно менша густини бурового розчину, що знаходиться у свердловині, в об'ємі, необхідному для розриву діафрагм.
8. Після розриву діафрагм засув високого тиску в наголовнику закривають і розпочинають розходжувати бурильну колону до тих пір, поки її вивільнять.
9. Якщо 25–30 імпульсів при заданому тиску (5–10 МПа на 1000 м колони труб) не дали результатів, то ГІС суміщають зі встановленням ванни. Серію імпульсів повторюють, але встановлюють нові діафрагмові камери. Для зменшення тривалості ліквідації прихоплення колони бурильних труб необхідно збільшити кількість рідини, яка відбирається з труб при зворотному перетіканні, на 0,5–3 м³. При цьому необхідно безперервно доливати в кільцевий простір буровий розчин такої самої густини. Це дозволить неможливити неконтрольовані прояви або ускладнення.

Висновки та підсумки

Одними з найскладніших аварій, що зустрічаються під час буріння свердловин, або з'єднання труб секцій бурильної колони, спускопідіймальних операціях та розвідки, є прихоплення бурильного інструмента. Роботи у нафтогазовій промисловості довготривалі та вимагають значних витрат, тому досить актуальними залишаються теоретичний аналіз і обчислювальні дослідження динамічних процесів, що виникають під час ускладнень та їх ліквідації.

Методичний підхід щодо ефективного застосування гідроімпульсного способу ліквідації прихоплень потребує належного наукового об-

грунтування. Відомі існуючі моделі недостатньо розроблені, а методологія доведення їх до аналітичних розв'язків не розвинена. На практиці динамічні залежності зазвичай замінюють апроксимацією накопичених експериментальних даних, які мають невисоку точність і тому їх застосування обмежене.

Авторами представлено результати теоретичних досліджень, одержаних на основі методик і моделей динамічних процесів вивільнення прихопленого бурильного інструмента гідроімпульсним способом. Перевага створених моделей полягає у тому, що вони дозволяють вибирати оптимальні геометричні параметри прохідних каналів та частоти збурювача гідроімпульсних коливань бурового розчину.

Систематизовано рекомендації із практичного застосування описаного способу ліквідації прихоплень бурильного інструмента.

Література

1. Про схвалення Концепції розвитку газовидобувної галузі України: розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 р. № 1079-р (редакція від 24.10.2018, підстава – 842-2018-р.).
2. Инструкция по борьбе с прихватами колонны труб при бурении скважин. – М.: Недра, 1976. – 67 с.
3. Пустовойтенко И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. – М.: Недра, 1988. – 279 с.
4. Самоной А.К. Прихваты колонн при бурении скважин. – М.: Недра, 1984. – 204 с.
5. Булатов А.И. Справочник инженера по бурению. Т. 1 / ред. В.И. Мищевич, Н.А. Сидоров. – М.: Недра, 1973. – 520 с.
6. Пустовойтенко И.П., Сельващук А.П. Справочник мастера по сложным буровым работам. – М.: Недра, 1983. – 248 с.
7. Галимов М.А., Самоной А.К. Гидродинамические способы ликвидации прихватов бурильных колонн. – М.: ВНИИОЭНГ, 1981. – 67 с.
8. Левчук К.Г. Дискретно-континуальна модель вивільнення прихопленої бурильної колони вібраційним методом // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2018. – №1 (66). – С. 53-59.
9. Armstrong-Helouvry B., Dupont P., Canudas de Wit C. A Survey of Models, Analysis Tools and Compensation Methods for Control of Machines with Friction. *Automatika*. 1994. Vol. 30. Iss. 7. P. 1083-1138.
10. Outmans H.D. Mechanics of Differential Pressure Sticking of Drill Collars. *Petroleum Transactions. AIME*. Vol. 213. 1958. P. 265-274.

Стаття надійшла до редакційної колегії 30.08.2019 р.

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором **Мойсишиним В.М.**,
д.т.н., професором **Світлицьким В.М.** (м. Київ)*

**MODELING OF THE DYNAMIC PROCESS RELEASE
OF STUCK DRILLING TOOLS BY HYDRO-PULSE METHOD****K. H. Levchyk¹, M. V. Shcherbyna²**

¹*G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, National Academy of Sciences of Ukraine; 36 Academician Vernadsky Blvd., UA-03142 Kyiv; ph. +380 (44) 422-95-51; e-mail: kgl.imp.nan@gmail.com*

²*National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute', 37 Peremohy Ave., UA-03056 Kyiv; ph. +380 (44) 236-79-89; e-mail: mickshch@gmail.com*

A technical solution is proposed for the elimination the grabbing of drilling tool, based on the use of energy due to the circulation of the drilling fluid. The expediency eliminating the grabbing drilling tool using the hydro-impulse method is substantiated. A method of drawing up a mathematical model for the dynamic process of a grabbing string of drill pipes in the case of perturbation of hydro-impulse oscillations in the area of the productive rock layer is developed. The law of longitudinal displacements arising in the trapped string is obtained, which allows choosing the optimal geometrical parameters of the passage channels and the frequency rotational of shutter for these channels. Recommendations for using this method for practical use have been systematized.

Key words: *grabbing drill string, hydro-impulse method, wave equation, Fourier method, contact pressure, recommendations for elimination grabbing of drill string.*