вого тиску і об'ємів закачуваної води, заводнення необхідно вести таким чином, щоб пластовий тиск в покладі не перевищував 0,8 від геостатичного тиску.

Заводнення на різних ділянках покладу слід проводити при диференційованих тисках нагнітання залежно від ступеня прояву тріщинуватості пласта. Існує раціональна межа підвищення тиску нагнітання, яка значною мірою залежить від геологічних особливостей продуктивних пластів і в першу чергу від їх природної тріщинуватості. Підвищення цієї межі призводить до різкого підвищення тріщинуватості. При цьому в більшості випадків відбувається зменшення товщини, що приймає воду в нагнітальних свердловинах, і більш інтенсивне обводнення оточуючих товщ за рахунок руху води у тріщинах.

Література

1. Маєвський Б.Й., Бойко Г.Ю., Манюк М.І. Тектонічна тріщинуватість та продуктивність нафтоносних горизонтів родовищ Долинського нафтопромислового району // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2000. – №2. – С. 41-49.
2. Афанасьева А.В. и др. Заводнение нефтяных месторождений при высоких давлениях нагнетания. – М.: Недра, 1975.

УДК 551.242.1:622.248.56

РІВНЯННЯ РУХУ КОЛОНИ ТРУБ ПРИ СПУСКУ В СВЕРДЛОВИНУ

Б. Д. Малько, Я. І. Козак

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42171
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Рассматривается процесс спуска колонны труб в скважину на этапах разгона, свободного движения и торможения. Определены законы перемещения и скорости. Колонна труб и подъемный механизм представлены в виде двухмассовой упругой модели.

The process of landing of tubes in well at stages of boost, free motion and inhibition is esteemed. The laws of moving both speed are determined. A pipe string and jacking are submitted by the way of two mass elastic models.

Операція спуску колони труб в свердловину є однією з найбільш відповідальних при виконанні спуско-підіймальних робіт. В більшості відомих досліджень динаміки спуску колони труб основна увага звертається на процеси, які мають місце на кінцевому етапі руху, тобто в період гальмування [1, 2, 3]. При цьому залишаються поза увагою періоди розгону і усталеного руху колони.

Розглянемо рух колони на етапах розгону і усталеного руху на прикладі двомасової схеми (рис. 1). Тут враховано зменшення зведеної сили гальма, яке утримувало колону труб у підвішеному стані, за лінійним законом

$$F = F_0\left(1 - \frac{t}{t_1}\right). \qquad (1)$$

Якщо знехтувати силами тертя в рухомих з'єднаннях, то рух колони вниз почнеться тоді, коли значення сили F прирівняється до ваги колони труб Q. Таким чином, рівняння для сили F одержимо у вигляді

$$F = Q\left(1 - \frac{t}{t_1}\right), \qquad (2)$$

де t_1 – час завершення дії гальмівної сили.

Запишемо рівняння руху мас

$$\left.\begin{aligned} m_1\ddot{S}_1 &= C_{12}(S_2 - S_1) - F \\ m_2\ddot{S} &= Q - C_{12}(S_2 - S_1) \end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

де: m_1 – зведена до талевого блока маса рухомих частин лебідки і талевої системи;

m_2 – зведена маса колони труб;

C_{12} – зведена жорсткість канатів і колони труб.

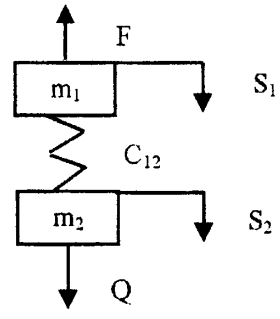


Рисунок 1 – Розрахункова схема

Розв'язок цієї системи рівнянь з врахуванням (2) має такий вигляд:

$$S_{12} = A\sin pt + B\cos pt - \frac{Qt}{m_1 p^2 t_1} + \frac{Q}{C_{12}}. \qquad (4)$$

Тут $p^2 = \dfrac{C_{12}(m_1 + m_2)}{m_2 m_2}$.

З початкових умов при $t = 0$, $S_{21}(0) = \dfrac{Q}{C_{12}}$, $\dot{S}_{21}(0) = 0$ знаходимо постійні інтегрування

$$A = \frac{Q}{m_1 p^3 t_1};\ B = 0$$

і підставляємо в (4)

$$S_{21} = \frac{Q}{m_1 p^2 t_1}\left(\frac{1}{p}\sin pt - t\right) + \frac{Q}{C_{12}}. \quad (5)$$

Максимальна деформація в момент припинення дії гальмівної сили F має значення

$$S_{21max} = \frac{Q}{C_{12}} - \frac{0.36Q}{m_1 p^2 t_1},$$

або після простих перетворень

$$S_{21max} = \frac{Q}{C_{12}}\left(1 - \frac{0{,}36\, m_2}{m_1 + m_2}\right). \quad (6)$$

Якщо знехтувати впливом коливань, тобто прийняти $\sin pt = 0$, то одержимо

$$S_{21} = \frac{Qm_1}{C_{12}(m_1 + m_2)}. \quad (7)$$

Швидкість деформації пружного елемента

$$\dot{S}_{21} = \frac{Qm_2}{C_{12}(m_1 + m_2)t_1}(\cos pt - 1). \quad (8)$$

Аналіз рівняння (8) показує, що швидкість відносного руху $\dot{S}_{21}$ мас m_1, m_2 має від'ємне значення, тобто має місце зменшення початкової деформації $S_{21}(0)$ колони труб.

Підставляємо значення S_{21} в рівняння системи (3) та, двічі інтегруючи, знаходимо швидкість і переміщення мас m_1, m_2

$$S_1 = Q\cdot\left[\frac{m_2}{m_1(m_1 + m_2)t_1}\times\right.$$
$$\left.\times\left(\frac{t}{p^2} - \frac{1}{p^3}\sin t - \frac{t^3}{6}\right) + \frac{t^3}{6m_1 t_1}\right]; \quad (9)$$

$$\dot{S}_1 = Q\cdot\left[\frac{m_2}{m_1(m_1 + m_2)t_1}\times\right.$$
$$\left.\times\left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p^2}\cos pt - \frac{t^3}{2}\right) + \frac{t^2}{2m_1 t_1}\right]; \quad (10)$$

$$S_2 = \frac{Q}{(m_1 + m_2)t_1}\times$$
$$\times\left(\frac{t^3}{6} + \frac{1}{p^3}\sin pt - \frac{t}{p^2}\right) + \frac{Q}{C_{12}}; \quad (11)$$

$$\dot{S}_2 = \frac{Q}{(m_1 + m_2)t_1}\left(\frac{t^2}{2} + \frac{1}{p^2}\cos pt - \frac{t}{p^2}\right). \quad (12)$$

По завершенні дії гальмівної сили F рівняння руху мас матиме вигляд

$$\left.\begin{aligned} m_1\ddot{S}_1 &= C_{12}(S_2 - S_1) \\ m_2\ddot{S}_2 &= Q - C_{12}(S_2 - S_1) \end{aligned}\right\}. \quad (13)$$

Розв'язок для відносного руху маємо

$$S_{21} = A\sin pt + B\cos pt + \frac{Q}{p^2 m_2}. \quad (14)$$

Початкові умови $S_{21}(t_1)$, $V_{21}(t_1)$ знаходимо з (5) і (8), підставляючи значення $t = t_1$. Остаточно запишемо рівняння для відносного руху і швидкості

$$S_{21} = \frac{V_{21}(t_1)}{p}\sin pt +$$
$$+\left(S_{21}(t_1) - \frac{Q}{p^2 m_2}\right)\cos pt + \frac{Q}{p^2 m_2}; \quad (15)$$

$$\dot{S}_{21} = V_{21}(t_1)\cos pt -$$
$$-\left(p\cdot S_{21}(t_1) - \frac{Q}{pm_2}\right)\sin pt. \quad (16)$$

З (15) знаходимо, що при вільному русі колони труб в свердловині деформація талевого каната і самої колони коливається біля середнього значення (7), яке необхідно приймати як початкове для дослідження режиму гальмування руху колони.

Підставляємо значення S_{21} з рівняння (15) в систему (13) і визначимо закони руху мас m_1, m_2

$$S_1 = S_1(t_1) + K_1\frac{t^2}{2} + \left(V_1(t_1) + \frac{a_1}{p}\right)t +$$
$$+\frac{b_1}{p^2}(1 - \cos pt) - \frac{a_1}{p^2}\sin pt; \quad (17)$$

$$\dot{S}_1 = V_1(t_1) + K_1 t + \frac{b_1}{p}\sin pt + \frac{a_1}{p}(1 - \cos pt); \quad (18)$$

$$S_2 = S_2(t_1) + K_2\frac{t^2}{2} + \left(V_2(t_1) - \frac{a_2}{p}\right)t +$$
$$+\frac{b}{p^2}(1 - \cos pt) + \frac{a_2}{p^2}\sin pt; \quad (19)$$

$$\dot{S}_2 = V_2(t_1) + K_2 t + \frac{b_2}{p}\sin pt + \frac{a_2}{p}(1 - \cos pt). \quad (20)$$

Тут:

$$a_1 = \frac{C_{12}V_{21}(t)}{m_1 p};\ b_1 = \frac{C_{12}}{m_1}\left(S_{21}(t_1) - \frac{Q}{p^2 m_2}\right);$$

$$K_1 = \frac{Q}{m_1 + m_2};\ K_2 = \frac{Q}{m_2}\left(1 - \frac{C_{12}}{p^2 m_2}\right);$$

$$a_2 = \frac{C_{12}V_{21}(t_1)}{m_2 p};\ b_2 = \frac{C_{12}}{m_2}\left(S_{21}(t_1) - \frac{Q}{p^2 m_2}\right).$$

Рух мас m_1, m_2 на етапі гальмування описується системою рівнянь (3), в якій сила гальмування F наростає. Характеристика $F(t)$ може бути різною [3]. Розглянемо варіант лінійного наростання сили

$$F = q\,t,$$

де: $q = \frac{F_{max}}{t_m}$ – інтенсивність наростання гальмівної сили від 0 до максимального значення F_{max};

t_m – час наростання сили.

Підставляємо значення F в рівняння (3) і знаходимо розв'язок

$$S_{21} = A\sin pt + B\cos pt + \frac{qt}{m_1 p^2} + \frac{Q}{C_{12}}. \quad (21)$$

Постійні інтегрування мають значення

$$B = S_{21}(t_2) - \frac{Q}{C_{12}};\ A = \frac{1}{p}\left(V_{21}(t_2) - \frac{q}{m_1 p^2}\right),$$

де $V_{21}(t_2)$, $S_{21}(t_2)$ – швидкість і деформація пружного елемента в кінці другого етапу руху.

Підставляємо одержане значення S_{21} в рівняння системи (3) і після інтегрування одержимо переміщення і швидкості мас m_1, m_2

$$S_1 = S_1(t_2) + \frac{m_2}{m_1+m_2}\left[S_{21}(t_2) - \frac{Q}{C_{12}}\right] + V_1(t_1)t + \frac{m_2}{m_1+m_2}\left[V_{21}(t_2) - \frac{q}{m_1 p^2}\right]t + \frac{q}{6m_1}\left(\frac{m_2}{m_1+m_2} - 1\right)t^3 + \frac{q}{2m_1}t^2 - \frac{C_{12}}{m_1}\left(\frac{A}{p^2}\sin pt + \frac{B}{p^2}\cos pt\right); \quad (22)$$

$$\dot{S}_1 = V_1(t_2) + \frac{m_2}{m_1+m_2}\left[V_{21}(t_2) - \frac{q}{m_1 p^2}\right] + \frac{q}{2m_1}\left(\frac{m_2}{m_1+m_2} - 1\right)t^2 + \frac{q}{m_1}t - \frac{C_{12}}{m_1}\left(\frac{A}{p^2}\cos pt - \frac{B}{p^2}\sin pt\right); \quad (23)$$

$$S_2 = S_2(t_2) - \frac{m_2}{m_1+m_2}\left[S_{21}(t_2) - \frac{Q}{C_{12}}\right] + \left[V_2(t_2) - \frac{m_2}{m_1+m_2}\left(V_{21}(t_2) - \frac{q}{m_1 p^2}\right)\right]t - \frac{q}{6(m_1+m_2)}t^3 + \frac{m_2}{m_1+m_2}\times \left(\frac{A}{p^2}\sin pt + \frac{B}{p^2}\cos pt\right); \quad (24)$$

$$\dot{S}_2 = V_2(t_2) - \frac{m_2}{m_1+m_2}\left[V_{21}(t_2) - \frac{q}{m_1 p^2}\right] - \frac{q}{2m_1+m_2}t^2 + \frac{m_2 p}{m_1+m_2}(A\cos pt - B\sin pt). \quad (25)$$

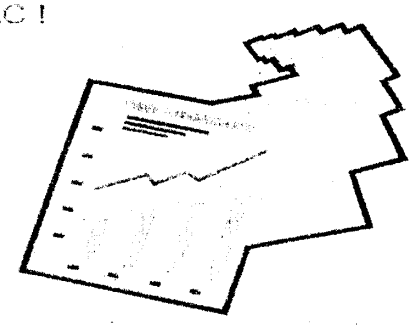
Одержані рівняння дають змогу розрахувати переміщення і швидкість руху талевого блока S_1, $\dot{S}_1$ і нижнього кінця колони труб S_2, $\dot{S}_2$ на всіх етапах спуску в свердловину. Аналіз одержаних рівнянь показує, що на процес руху впливають пружні характеристики талевих канатів і колони труб.

Література

1. Керимов З.Г. Динамические расчеты бурильной колоны. – М.: Недра, 1970. – 160 с.
2. Юртаев В.Г. Динамика буровых установок. – М.: Недра, 1987. – 155 с.
3. Харченко Є.В. Динамічні процеси бурових установок. – Львів: Світ, 1991. – 176 с.

МИ ЧЕКАЄМО НА ВАС !

МІСЦЕ ВАШОЇ РЕКЛАМИ



З питань виготовлення і розміщення реклами звертатися: м. Івано-Франківськ, 76019, вул. Карпатська 15, ІФНТУНГ. Редакція журналу "Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ", тел.: (03422) 42002, тел./факс: (03422) 42139, ел. пошта: rozvidka@ifdtung.if.ua