

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЯЮЧОГО ЗУСИЛЛЯ НА ДОЛОТІ В КОМПОНОВЦІ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З КЕРОВАНИМ ПЕРЕХІДНИКОМ

А. А. Козлов

ДАТ «Чорноморнафтогаз», Департамент бурових робіт і флоту,
95000, м. Сімферополь, пр. Кірова 52, тел. (0652) 523764, e-mail: Akozlov@gas.cri.me.ua

На основі диференціальних рівнянь розроблено метод визначення відхиляючого зусилля на долоті залежно від кута перегину керованого перехідника. Зроблено висновок про можливість керування напрямом та модулем відхиляючого сили за допомогою осьового навантаження на долото, а також з використанням відхилювача.

Ключові слова: параметри проектного профілю свердловини, осьове навантаження на долото, відхиляюча сила, диференціальні рівняння, керований перехідник.

На основании дифференциальных уравнений разработан метод определения отклоняющего усилия на долоте в зависимости от угла перегиба управляемого переходника. Сделан вывод о возможности управления направлением и модулем отклоняющей силы при помощи осевой нагрузки на долото, а также с использованием отклонителя.

Ключевые слова: параметры проектного профиля скважины, осевая нагрузка на долото, отклоняющая сила, дифференциальные уравнения, управляемый переводник.

On the basis of differential equation the method of determination of deflection force on the bit dependent on deflection angle of bent sub has been developed. Conclusions have been made as for possibility to control direction and modulus of deflection force using axial bit load as well as different deflectors.

Key words: parameters of designed well profile, axial bit load, deflection force, differential equation, bent sub.

На сьогоднішній день нафта та газ залишаються основними енергоносіями у світі. Видобування цих вуглеводнів здійснюється шляхом спорудження свердловин глибиною від кількох сотень до кількох тисяч метрів. Осі таких свердловин дуже часто мають значні відхилення від вертикалі у вигляді криволінійних ділянок з різною інтенсивністю та тенденцією зміни зенітного чи азимутального кута, прямолінійних нахилених та горизонтальних ділянок. Такі свердловини називають похило-скерованими. Варто зазначити, що їх частка у об'ємах буріння невпинно зростає.

Попри переваги будівництва похило-скерованих свердловин (наприклад, збільшення об'ємів видобутої вуглеводневої сировини із одночасним зменшенням її собівартості) існує низка недоліків, основними з яких є ускладнення умов роботи бурильної колони та проблеми, пов'язані із забезпеченням проектного профілю свердловини. Останнє розглянемо детальніше.

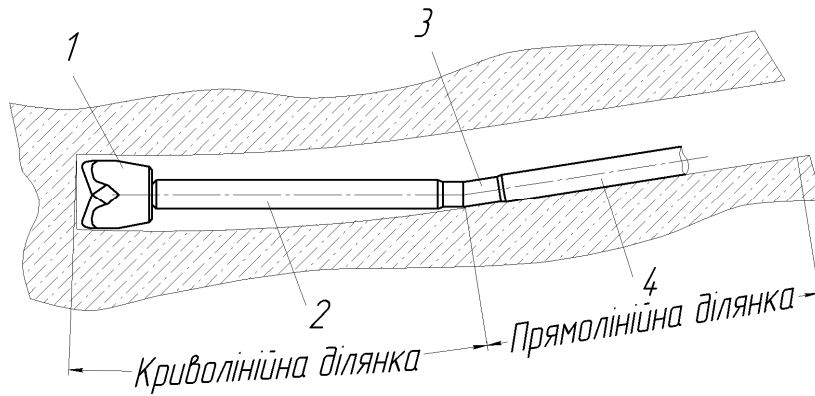
З теоретичної точки зору траєкторію свердловини обумовлює напрям та модуль вектора сили, точка прикладання якого знаходиться на долоті [1]. У двовимірній постановці задачі, що на даний час є найбільш поширеною, цю силу розкладають на дві складові. Першу складову спрямовану вздовж осі свердловини, називають осьовою силою, другу, перпендикулярну до осі свердловини - відхиляючою силою. Отже, для забезпечення проектного профілю свердловини необхідно контролювати та керувати величиною осьової та відхиляючої сил.

Контроль величини осьової сили може здійснювати бурильник безпосередньо на буро-

вій за допомогою гідравлічного вимірювача ваги бурильної колони. Він також може збільшувати чи зменшувати її величину в залежності від виробничих потреб. Що ж до відхиляючої сили, то на даний час не існує засобів, які б фіксували її величину в реальному часі. Засоби впливу на відхиляючу силу (серед яких найбільшого поширення набули відхилювачі) можуть забезпечувати її певну величину з деякою імовірністю. Адже напрямок та модуль відхиляючої сили залежать не тільки від кута перегину керованого перехідника, але й від форми пружної осі бурильної колони та стовбура свердловини.

Розглянемо напружено-деформований стан низу колони бурильних труб (рис. 1).

Змоделюємо дану конструкцію вагомою балкою, що розміщена на трьох опорах (рис. 2). Використано такі позначення: T – осьова сила; R_A, R_B, R_C, R_D – реакції у відповідних точках; q, q_1 – вага одиниці довжини гвинтового вибійного двигуна та ОБТ відповідно (дані величини необхідно визначати за формулами $q = q_{ВД} \cos \alpha_3, q_1 = q_{ОБТ} \cos \alpha_3$, де α_3 – зенітний кут свердловини); l, l_1 – довжини вибійного двигуна та ОБТ. Середню опору, для зручності, позначимо двома літерами, адже в такій постановці балка статично невизначена. Для її аналізу скористаємося методом умовних моментів, для чого вводимо згинальний момент $M_{3Г}$ та умовно розділяємо балку на дві частини: AB та CD [2].



1 – долото, 2 – гвинтовий вибійний двигун, 3 – керований перехідник, 4 – обважені бурильні труби (ОБТ)

Рисунок 1 – Компонівка низу бурильної колони

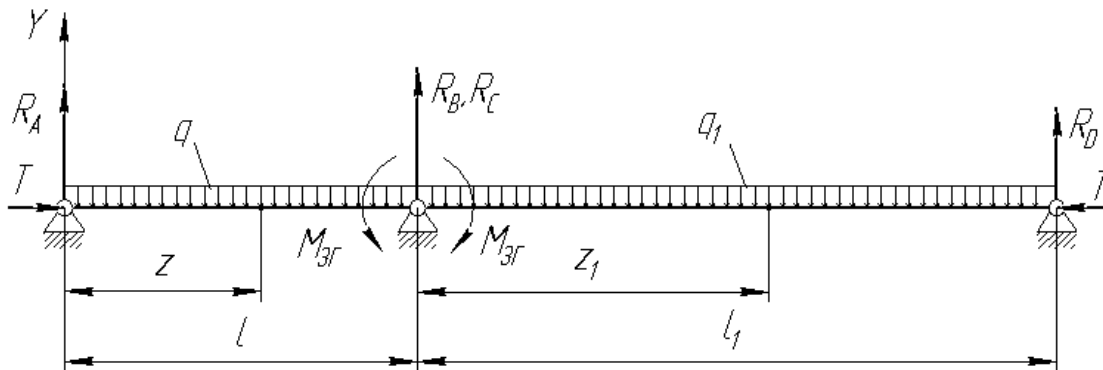


Рисунок 2 – Розрахункова схема

Запишемо диференціальні рівняння пружної осі та їх розв’язки для відповідних ділянок

$$EI \frac{d^2 y(z)}{dz^2} = R_A z - \frac{qz^2}{2}; \quad (1)$$

$$y(z) = -\frac{0,0417 q z^4}{EI} + \frac{0,17 R_A z^3}{EI} + C_1 z + C_2; \quad (2)$$

(у диференціальному рівнянні (1) та його розв’язку (2) не враховано осьову силу T , оскільки її вплив на деформацію вибійного двигуна незначний)

$$EI \frac{d^2 y_1(z_1)}{dz_1^2} = -T y_1(z_1) + T h_1 + R_C z_1 + M_{3Г} - \frac{q_1 z_1^2}{2}; \quad (3)$$

$$y_1(z_1) = \sin\left(\sqrt{\frac{T}{EI}} z_1\right) C_4 + \cos\left(\sqrt{\frac{T}{EI}} z_1\right) C_3 + \frac{2T^2 h_1 + T(2M_{3Г} + 2R_C z_1 - q_1 z_1^2) + 2EI q_1}{2T^2}; \quad (4)$$

де: $h_1 = d_{ПЕР} - d_{БК}$; $d_{ПЕР}$ – діаметр керованого перехідника; $d_{БК}$ – діаметр ОБТ; EI – жорсткість на згин гвинтового вибійного двигуна; EI_1 – жорсткість на згин обважнених бурильних труб; C_1, C_2, C_3, C_4 – сталі інтегрування.

Для однозначного визначення функцій (2) та (4) необхідно розрахувати невідомі реакції у опорах, сталі інтегрування, згинальний момент у середній опорі та довжину ділянки CD . Для цього запишемо систему рівнянь, що базується на крайових умовах:

$$\begin{cases} R_A + R_B - ql = 0; \\ R_A l - 0,5 q l^2 - M_{3Г} = 0; \\ C_2 = 0,5 d_{ДОЛ} + R_{КД} - R_{КД} \cos \alpha_1; \\ \frac{0,0417 q l^4}{EI} + \frac{0,17 R_A l^3}{EI} + C_1 l + C_2 = 0,5 d_{ПЕР}; \\ R_C + R_D - q_1 l_1 = 0; \\ R_C l_1 + M_{3Г} + T(0,5 d_{ПЕР} - 0,5 d_{БК}) - 0,5 q_1 l_1^2 = 0; \\ C_3 + \frac{0,5(2T^2 h_1 + 2T M_{3Г} + 2EI q_1)}{T^2} = 0,5 d_{ПЕР}; \\ \sin\left(\sqrt{\frac{T}{EI_1}} l_1\right) C_4 + \cos\left(\sqrt{\frac{T}{EI_1}} l_1\right) C_3 + \frac{2T^2 h_1 + T(2M_{3Г} + 2R_C l_1 - q_1 l_1^2) + 2EI_1 q_1}{2T^2} = 0,5 d_{БК}; \\ -\frac{0,17 q l^3}{EI} + \frac{0,5 R_A l^2}{EI} + C_1 = \sqrt{\frac{T}{EI_1}} C_4 + \frac{R_C}{T} + \text{tg} \alpha_{ПЕР} \end{cases}$$

Таблиця 1 – Значення реакції на долоті

Осьова сила, кН	Кут керованого перехідника $\alpha_{\text{ПЕР}}$, град	Інтенсивність викривлення свердловини i , град/10 м		
		1	2	3
		Реакція на долоті, Н		
10	1	-177	+1197	+2563
	2	-4867	-3694	-2361
	3	-9300	-8050	-6899
150	1	+315	+1731	+2972
	2	-4014	-2909	-1759
	3	-8149	-7089	-5991
300	1	+787	+1907	+3067
	2	-3523	-2418	-1304
	3	-6897	-5804	-4743
700	1	+1177	+2135	+3645
	2	-1297	-973	+566
	3	-1739	-1648	-1547

Примітка: 1) знак «+» вказує на те, що напрям реакції збігається із напрямком, зазначеним на рис. 2, а «-» напрямом протилежний; 2) вектор відхиляючої сили, що лежить на лінії дії вектора реакції на долоті, має такий же модуль що і спрямований у протилежний бік.

Використовуючи рівняння (2) та (4) і систему крайових умов нами проаналізовано компоновку низу бурильної колони, схема якої зображена на рисунку 1: 1 – долото діаметром 269,9 мм; 2 – гвинтовий вибійний двигун ДГ-172 ($q_{\text{ВД}} = 1300 \text{ Н/м}$, $EI = 3996,6 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $l = 5,3 \text{ м}$); 3 – керований перехідник діаметром 203 мм ($\alpha_{\text{ПЕР}} = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$); 4 – обважені бурильні труби діаметром 178 мм.

Результати розрахунку зведено до таблиці 1.

Результати аналізу умов буріння для КНБК (рис. 1), свідчить, що тут відбувається перехід від нахиленого прямолінійного стовбура до криволінійного із подальшим збільшенням зенітного кута.

Розглянемо роботу керованого перехідника із кутом $\alpha_{\text{ПЕР}} = 1^\circ$ у свердловині із інтенсивністю набору зенітного кута $i = 1^\circ / 10 \text{ м}$. При осьовому навантаженні у 10 кН значення реакції є від'ємним. Це означає, що дана компоновка «намагатиметься» збільшити інтенсивність набору зенітного кута. При подальшому збільшенні осьової сили (150, 300, 700 кН) відбувається зміна знака реакції стінок свердловини та збільшення її модуля. Отже, за даних умов вказана компоновка буде вирівнювати свердловину. Під час роботи даної компоновки у свердловинах із більшою інтенсивністю набору зенітного кута, картина якісно не буде змінюватися. Чим більша i та осьова сила, тим більшою буде реакція стінки свердловини, і тим інтенсивніше відбуватиметься вирівнювання свердловини. *Наведене свідчить про можливість керування напрямком та модулем відхиляючої сили за допомогою осьового навантаження на долото.*

Розглянемо роботу керованих перехідників із $\alpha_{\text{ПЕР}} = 2^\circ, 3^\circ$ в тих самих умовах. Судячи із отриманих результатів, у всіх випадках така наведена вище компоновка буде призводити до зростання зенітного кута. Причому, чим початкове його значення менше, тим інтенсивніше він буде зростати. Цікаво, що при збільшенні осьового навантаження на долото модуль реакції стовбура зменшується, що свідчить про зменшення відхиляючої сили. *Отже, впливає такий висновок: керування напрямком та модулем відхиляючої сили можна здійснювати за допомогою використання того чи іншого відхилювача.*

Слід зауважити, що кожен конкретний випадок буріння вимагає математичного моделювання напружено-деформованого стану компоновки низу бурильної колони з подальшим прийняттям заходів щодо збереження або зміни величини зенітного кута.

Література

1 Кучерявий Ф.И. Разрушение горных пород / Ф.И. Кучерявий, Ю.М. Кожушко. – М.: Недра, 1972. – 240 с.

2 Тимошенко С.П. Механика материалов [Перевод с английского Л.Г. Корнейчука] / С.П. Тимошенко, Дж. Гере. – М.: Мир, 1976. – 669 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

11.02.10

Рекомендована до друку професором Івасієм В.М.