

Выводы

1. Выполнен сравнительный статистический анализ законов распределения времени безотказной работы долот ИСМ и показана подчиненность нормальному закону в однородных рассматриваемых условиях.
2. Предложен методический подход, позволяющий с помощью показателей надежности долот прогнозировать продолжительность их безотказной работы как в однородных, так и неоднородных по свойствам горных пород условиях.

Литература

1. Абрамсон М. Г., Позднякова Л. А. Исследование закона распределения показателей надежности шарошечных долот серии ГН. –М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, РНТС «Бурение», 1983, –вып. 1.–с. 5-7.
2. Эфендиев Г. М., Джафарова Н. М., Кулиев В. Т. Оценка надежности долот ИСМ по статистической информации. // НТС ВНИИОЭНГ, сер. «Нефтегазовая геология, геофизика и бурение».–М.,1985. –вып. 6. –с. 36-38.
3. Эфендиев Г. М. О характере изнашивания долот ИСМ и математической модели их надежности. // В кн.: Разрушение горных пород при бурении скважин. –Уфа, 1982. –т. II, –с. 55-58.
4. Технично-экономическая эффективность бурения скважин долотами, армированными сверхтвердым материалом на площадях Азербайджана. / Садыхов Ю. В., Дадашев Н. Г., Рыскин Е. П., Керимов Н. Г. // ОИ АЗИНТИ, сер. «Нефтедобывающая промышленность». –Баку, 1976.
5. Базовский И. Надежность. Теория и практика. –М.: Мир, 1965.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. –М., 1962..

Поступила 09.06.10

УДК 622.245.23

Р.В. Рачкевич¹, А.А. Козлов²; В.М. Сенчішак¹; Т.Ф. Тутко¹, кандидати технічних наук,
В.В. Гриців¹

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна
²ДАТ «Чорноморнафтогаз», м. Сімферополь, Україна

ВЗАЄМОДІЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ЗІ СТІНКАМИ СВЕРДЛОВИНИ В МІСЦЯХ УТВОРЕННЯ ЖОЛОБІВ ТА КАВЕРН

We consider stress-deformed state borehole of well on the walls wich is a gutter or cavity. Used model sufficient beams on the four pillars wich loaded both radial and axial efforts. The conclusions about the need this calculation in practice.

На практиці, форма стовбура свердловин значно відрізняється від циліндричної. У наслідок притискання бурильної колони до стінок свердловини, осипання та вимивання буровим розчином більш м'яких порід утворюються жолоби та каверни. Процес утворення останніх детально описано в [1 – 3].

Слід зазначити, що жолоби та каверни істотно ускладнюють умови роботи бурильної колони, яка під їх впливом зазнає поперечних деформацій навіть у прямолінійному стовбурі свердловини (рис. 1).

Місця виникнення найбільших нормальних напружень згину

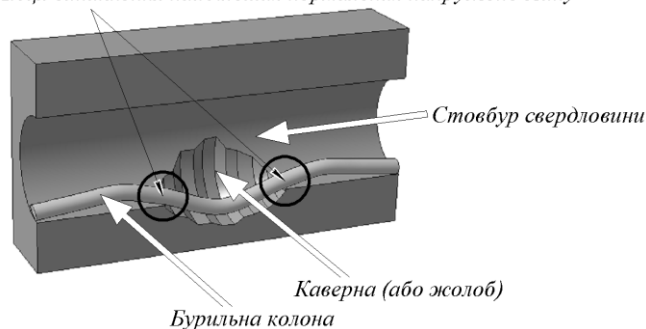


Рис. 1. Загальний вигляд бурильної колони у стовбурі свердловини з каверною або жолобом

Напружено-деформаційний стан колони в такому випадку розглянуто в [4], як розрахункову схему взято вагому балку, навантажену поперечними зосередженими силами. Недолік такої методики розрахунку полягає в неможливості її використання у випадку, коли на колону діють поздовжні сили розтягу (або стискання). у цій статті викладено удосконалення методики, наведеної в [4], шляхом уведення в розрахункову модель поздовжньої сили (рис. 1).

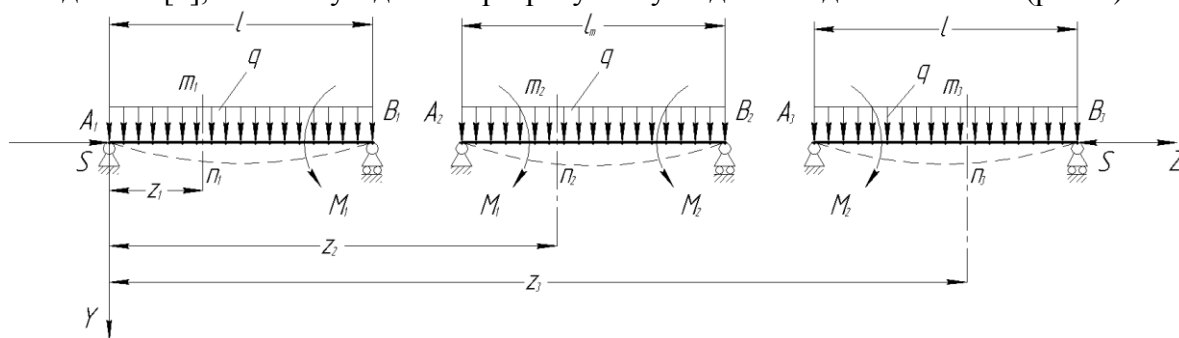


Рис. 2. Схема розрахункової моделі

У такій постановці балка двічі статично невизначена, тому для її аналізу застосуємо метод, викладений у [5]. Згідно з цим методом, балку розбивають на частини, так, як це показано на рисунку 2. У результаті отримуємо три статично визначені балки: A_1B_1 , A_2B_2 та A_3B_3 . З метою врахування взаємодії цих балок (адже насправді балка суцільна) уведемо згинальні моменти M_1 та M_2 .

Запишемо диференціальні рівняння пружної осі для кожної із балок:

$$EI \frac{d y_1(z_1)}{d z_1^2} = - \left(\frac{0,5 q_n l^2 + M_1}{l} \right) z_1 + q_n \frac{z_1^2}{2} - S y_1(z_1); \quad (1)$$

$$EI \frac{d y_2(z_2)}{d z_2^2} = - \left(\frac{0,5 q_n l_m^2 - M_1 + M_2}{l_m} \right) (z_2 - l) + q_n \frac{(z_2 - l)^2}{2} - M_1 - S y_2(z_2); \quad (2)$$

$$EI \frac{d y_3(z_3)}{d z_3^2} = - \left(\frac{0,5 q_n l^2 - M_2}{l} \right) (z_3 - l - l_m) + q_n \frac{(z_3 - l - l_m)^2}{2} - M_2 - S y_3(z_3); \quad (3)$$

де E – модуль пружності першого роду для матеріалу бурильних труб; q_n – перпендикулярна до осі свердловини складова ваги одиниці довжини бурильної колони $q_n = a \sin(\alpha_3)$; $y_1(z_1)$, $y_2(z_2)$, $y_3(z_3)$ – прогин балки відповідно A_1B_1 , A_2B_2 та A_3B_3 ; S – осьова сила; I – момент інерції поперечного перерізу бурильних труб; α_3 – зенітний кут свердловини у місці жолоба чи каверни; l , l_m – довжини відповідних прогонів згідно із рис. 2.

Розв'язки рівнянь (1 – 3) мають такий вигляд:

$$y_1(z_1) = \sin\left(\sqrt{\frac{S}{EI}} z_1\right) C_2 + \cos\left(\sqrt{\frac{S}{EI}} z_1\right) C_1 - \frac{z_1(q_n l^2 + 2M_1 - q_n z_1 l)S - 2EI q_n l}{2 l S^2}; \quad (4)$$

$$y_2(z_2) = \sin\left(\sqrt{\frac{S}{EI}} z_2\right) C_4 + \cos\left(\sqrt{\frac{S}{EI}} z_2\right) C_3 - \frac{S(q_n(l - z_2)l_m^2 + (q_n(l - z_2)^2 - M_1)l_m - 2(M_1 - M_2)(l - z_2)) - 2EI l_m q_n}{2 l_m S^2}; \quad (5)$$

$$y_3(z_3) = \sin\left(\sqrt{\frac{S}{EI}} z_3\right) C_6 + \cos\left(\sqrt{\frac{S}{EI}} z_3\right) C_5 + \frac{2S(q_n l^2 + q_n l(l_m - z_3) - 2M_2)(l + 0,5l_m - 0,5z_3) - 2EI l q_n}{2 l S^2}. \quad (6)$$

Силу, розтягу бурильної колони, розміщеної безпосередньо над жолобом або каверною, розраховуємо за формулою

$$S = -q \cos(\alpha_3)(l_{III} - l),$$

де l_{III} – відстань від нейтрального перерізу бурильної колони до початку жолоба чи каверни (у напрямку від вибою до устя).

Для визначення змінних інтегрування $C_1 - C_6$, невідомих моментів M_1 і M_2 та довжини l використаємо систему крайових умов

$$\begin{cases} y_1(0) = 0; \\ y_1(l) = 0; \\ y_2(l) = 0; \\ y_2(l + l_m) = 0; \\ y_3(l + l_m) = 0; \\ y_3(2l + l_m) = 0; \\ y_1'(l) = y_2'(l); \\ y_2'(l + l_m) = y_3'(l + l_m); \\ y_1'(0) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язавши (7) перевіримо виконання наступної умови

$$y_2(l + 0,5l_m) < h_{жк} + 0,5d, \quad (8)$$

де $h_{жк}$ – максимальна глибина жолоба чи каверни; d – зовнішній діаметр бурильної колони.

Виконання умови (8) означає, що бурильна колона не торкається дна жолоба чи каверни, відтак нормальні напруження згину в її поперечному перерізі:

$$\sigma_{ам1} = \frac{EI y_1''(l)_{ам1} d}{2I}, \quad (9)$$

де $y_1''(l)_{ам1}$ – функція $y_1(z_1)$ отримана з використанням формул (1 – 7).

Якщо умова (8) не виконується, це означає, що бурильна колона доторкається до дна жолобу чи каверни, де й виникає додаткова реакція. Для її врахування у розрахункову модель, що зображена на рис. 2, додамо опору по середині прогону $A_2 B_2$. Отримуємо тричі статично невизначену балку. Проте, відносно реакції в зазначеній опорі балка симетричною. Відтак розглянемо тільки її половину (рис. 3).

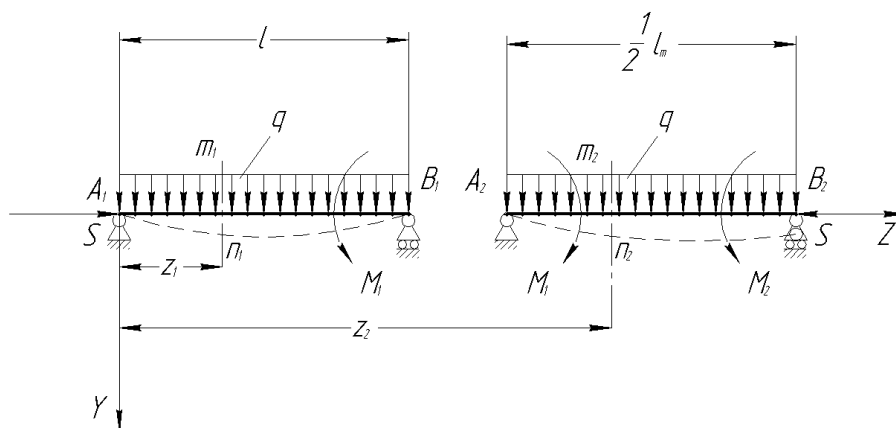


Рис. 3. Схема розрахункової моделі

Для розглядуваного навантаження диференціальні рівняння пружної осі та їх розв'язки матимуть такий вигляд:

для першого прогону рівняння та розв'язок аналогічні відповідно (1) та (4);

для другого – відповідно

$$EI \frac{d^2 y_2(z_2)}{d z_2^2} = - \left(\frac{q_n l_m^2 - 8M_1 + 8M_2}{8l_m} \right) (z_2 - l) + q_n \frac{(z_2 - l)^2}{2} - M_1 - S y_2(z_2); \quad (10)$$

та

$$- \frac{S(q_n(l - z_2)l_m^2 + (8q_n(l - z_2)^2 - 16M_1)l_m - 16(M_1 - M_2)(l - z_2)) - 16EI l_m q}{16 l_m S^2}; \quad (11)$$

Як і в попередньому випадку, застосуємо систему крайових умов для знаходження змінних інтегрування $C_1 - C_4$, згинальних моментів M_1 та M_2 і довжини l

$$\begin{cases} y_1(0) = 0; \\ y_1(l) = 0; \\ y_2(l) = 0; \\ y_2(l + 0,5 l_m) = h_{жк} + 0,5d; \\ y_1'(l) = y_2'(l); \\ y_2'(l + 0,5 l_m) = 0; \\ y_1'(0) = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Далі визначаємо нормальні напруження згину у поперечному перерізі бурильної колони

$$\sigma_{вин 2} = \frac{EI y_1''(l)_{вин 2} d}{2I}, \quad (13)$$

де $y_1''(l)_{вин 2}$ – функція $y_1(z_1)$ отримана з використанням формул (10 – 12).

Залежностями (1) – (13) проаналізуємо напружено-деформівний стан колони бурильних труб ТБПК 127 із товщиною стінки 9 мм, розміщені над жолобом чи каверною глибиною 10 см. Результати розрахунку за відсутності та наявності сили розтягу, наведені в таблиці.

Згідно з розрахунком найбільші нормальні напруження згину в поперечному перерізі бурильної колони виникають над початком та закінченням жолоба або каверни (див. рис. 1). Як і очікували, напруження зростає зі збільшенням довжини жолоба (каверни) та зенітного кута свердловини. Зі збільшенням сили розтягу напруження згину знижується.

Нормальні напруження згину в поперечному перерізі бурильної колони

| Зенітний кут свердловини, ° | Сила розтягу, кН | Нормальні напруження згину, МПа / каверни, м | | | |
|-----------------------------|------------------|--|------|------|-------|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 |
| 30 | 0 | 3,9 | 15,6 | 34,5 | 71,0* |
| 60 | 0 | 6,8 | 27,1 | 60,3 | 84,5* |
| 90 | 0 | 7,8 | 31,5 | 70,5 | 90,0* |
| 30 | 125 | 3,5 | 11,4 | 20,2 | 29,0 |
| 60 | 72 | 6,4 | 22,0 | 41,7 | 61,9 |
| 90 | 5 | 7,8 | 31,0 | 68,0 | 90,0 |

Примітка: знаком * позначено напруження, що визначені за формулою (13), всі інші – за формулою (9)

Припустимо, що бурильні труби ТБПК 127 виготовлені зі сталі групи міцності «Д». Згідно з [6] межа текучості матеріалу $\sigma_u = 380 \text{ МПа}$, межа втомної міцності при віднульовому циклі навантаження $\sigma_0 = 90 \dots 100 \text{ МПа}$. Як випливає з даних таблиці, навіть у прямолінійному стовбурі свердловини з жолобом (каверною) можливі умови, за яких тільки напруження згину у поперечному перерізі бурильних труб досягає границі втомної міцності.

З огляду на викладене доходимо висновку про необхідність проведення аналізу напружено-деформівного стану колони бурильних труб у прямолінійних ділянках свердловин з великими зенітними кутами та порушенням цілісності стінок свердловини.

Література

1. Жестовский А. Д. Определение аналитическим путем ориентации в пространстве желобных выработок в скважине // Нефтяное хозяйство, 1972. – № 2. – С. 13 – 17.
2. Пейсиков Ю. В. Кавернообразование при бурении скважин // Геология нефти и газа, 1992. – №6. – С. 6 – 11.
3. Фролов Е. П., Кошелев Н. Н., Алишанян Р. Р. Механизм желобообразования и некоторые основные факторы, определяющие его развитие // РНТС, ВНИИОЭНГ, сер. Бурение, 1970. – №7. – С. 3 – 5.
4. В. М. Івасів, Р. В. Рачкевич, М. М. Яворський, А. В. Козлов Напружено-деформований стан бурильної колони у свердловинах ускладнених виробками // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2004. – №4 (13). – С. 113 – 116.
5. Тимошенко С. П., Дж. Гере Механика материалов. – М.: Мир, 1975. – 670 с.
6. Иогансен К.В. Спутник буровика. – М.: Недра, 1981. – 200 с.

Надійшла 04.06.10