

І.В. Воєвідко
д-р техн. наук
ІФНТУНГ

Специфіка забурювання бічного стовбура в обсадній колоні свердловини

УДК 622.245.1

Проведено аналіз процесу фрезерування вікна в обсадній колоні свердловини. На основі аналітичних досліджень отримано математичні залежності, які дають можливість визначити величину відхиляючої сили на фрезерний інструмент та інтенсивність викривлення бічного стовбура свердловини. Дано рекомендації щодо зменшення кута викривлення стовбура свердловини в зоні його виходу із обсадної колонни.

Проведён анализ процесса фрезерования окна в обсадной колонне скважины. По результатам аналитических исследований получены математические зависимости, позволяющие определить величину отклоняющей силы на фрезерный инструмент и интенсивность искривления бокового ствола скважины. Даны рекомендации по уменьшению угла искривления ствола скважины в зоне его выхода из обсадной колонны.

The analysis of the window milling was carried out. According to analytical studies were received mathematical formulas that allow determining the deflection on milling tool and dogleg severity of sidetracks in well casing. Recommendations to reduce the hole deviation angle in casing area are given.

У покращенні паливно-енергетичного балансу України важливу роль відводять раціональному використанню фонду пробурених свердловин. Вагомим резервом для підвищення обсягів видобутку нафти і газу є фонд бездіючих, аварійних і ліквідованих свердловин, які становлять значну частку на багатьох родовищах України. Проаналізувавши стан розробки основних родовищ, можна зробити висновок, що велику кількість виведених із експлуатації свердловин можна та доцільно відновити і повторно ввести в промислову експлуатацію, що дасть змогу зекономити витрати на буріння нових свердловин.

На сьогодні найбільшого поширення набула технологія забурювання додаткових стовбурів крізь вирізане вікно в обсадній колоні. Перевагами такої технології є: менші затрати часу на виконання технологічної операції, менший об'єм винесення металевого шламу, значно нижча ймовірність виникнення аварійних ситуацій під час прорізання вікна в обсадній колоні завдяки використанню робочих інструментів без рухомих і розсувних елементів [1–4]. Окрім цього, можливе прорізання вікна в обсадних колонах діаметром до 168 мм на глибині понад 2000 м, а також у свердловинах, зенітний кут яких перевищує 5°, та крізь декілька обсадних колон [5]. Також вагомою перевагою цієї технології є можливість виконання усіх робіт із відновлення свердловини роторним способом, без застосування вибійних двигунів.

У процесі зарізання та буріння додаткового стовбура свердловини найбільш відповідальним моментом є про-

цес формування щілиноподібного вікна в обсадній колоні. У цьому випадку в бурильній колоні можуть виникати значні згинальні зусилля і, як результат, проходження цієї ділянки бурильною колоною буде досить проблематичним [6–8]. Деякі автори констатують факт поломки бурильної колонни за роторного способу буріння під час її знаходження в зоні вікна [9, 10]. Окрім цього, можливі ускладнення під час спуску обсадної колонни та кріплення додаткового стовбура. При цьому внаслідок деформацій труб у вікні виникають значні притискні зусилля, і обсадна колона або не зможе бути спущена в додатковий стовбур, або отримує значні деформації по діаметру [8, 11, 12]. Вищезазначені ускладнення та аварійні ситуації автори пояснюють, в основному, великим кутом клинового відхилювача і, як результат, незначною довжиною вікна в обсадній колоні, але їх докази не завжди обґрунтовані.

Отже, можна зробити висновок, що процес формування вікна в обсадній колоні під час буріння додаткових стовбурів є складним процесом, що може супроводжуватися виникненням аварійних ситуацій, однак детальних досліджень у цьому напрямку не проводили.

Метою статті є висвітлення результатів теоретичних досліджень процесу вирізання вікна в обсадній колоні під час буріння додаткового стовбура свердловини.

Процес фрезерування вікна в обсадній колоні починається з того, що райбер вступає в контакт із обсадною колоною, заглиблюється в стінку обсадної труби по лінії АВ до повного виходу за її межі (рис. 1). Надалі райбер формує

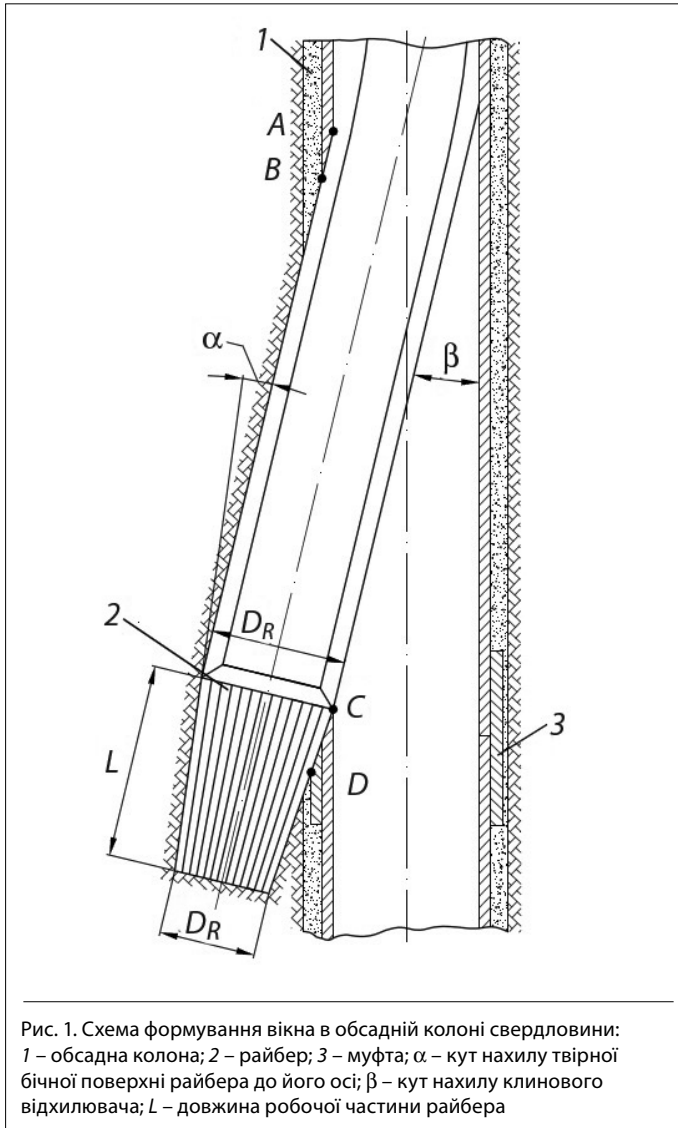


Рис. 1. Схема формування вікна в обсадній колоні свердловини: 1 – обсадна колона; 2 – райбер; 3 – муфта; α – кут нахилу твірної бочної поверхні райбера до його осі; β – кут нахилу клинового відхилювача; L – довжина робочої частини райбера

вікно певної конфігурації, яка залежить від геометричних параметрів обсадної колони, райбера і клинового відхилювача. Після закінчення процесу фрезерування вікна на завершальному етапі формується жолоб по лінії CD, який розташований із зовнішньої сторони колони. Згодом процес буріння продовжується ще на декілька метрів із метою входження стовбура свердловини в стійку зону пристовбурового масиву породи [13].

На рис. 1 схематично показано конструкцію райбера конічної форми, який широко застосовують у Російській Федерації та інших країнах СНД під час відновлення бездіючих свердловин вищезгаданим способом [7].

На завершальній стадії формування вікна в обсадній колоні (лінія CD) райбер працює в неоднорідному за фізико-механічними властивостями середовищі. З одного боку, він контактує з обсадною трубою і муфтою, механічні властивості яких значно вищі, ніж відповідні показники гірської породи і цементного каменю. Очевидно, що в такій ситуації на райбер буде діяти відхиляюча сила з боку

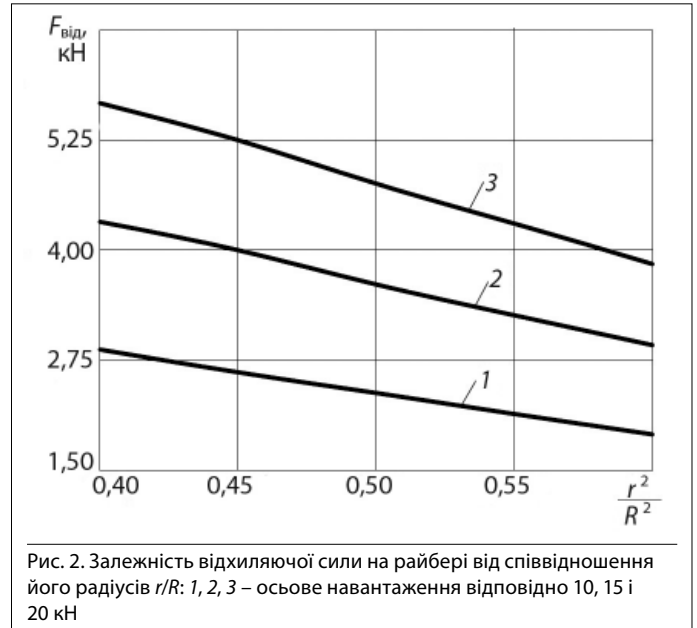


Рис. 2. Залежність відхиляючої сили на райбері від співвідношення його радіусів r/R : 1, 2, 3 – осьове навантаження відповідно 10, 15 і 20 кН

обсадної труби (муфти), яка буде спричиняти його відхилення від прямолінійної траєкторії в сторону гірської породи. Довжина контакту райбера з обсадною колоною залежить від кута нахилу клинового відхилювача, товщини стінки обсадної труби та муфти (у разі фрезерування обсадної колони в місці розташування муфти). При цьому довжина жолоба в обсадній трубі (лінія CD) може досягати 600–650 мм.

Виходячи з класичних положень механіки гірських порід та роботи породоруйнівних інструментів, було отримано таку формулу для розрахунку величини відхиляючої сили, яка діє з боку обсадної колони:

$$F_{\text{відх}} = \frac{F_{\text{ос}} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{E_{\text{П}}}{E_{\text{М}}}\right) \cdot \frac{S_{\text{М}}}{S_{\text{П}}}}{\text{tg} \alpha \cdot \left(\frac{S_{\text{М}}}{S_{\text{П}}} + \frac{E_{\text{П}}}{E_{\text{М}}}\right)}, \quad (1)$$

де $F_{\text{ос}}$ – осьове навантаження на райбер; r, R – відповідно мінімальний та максимальний радіус конусної робочої поверхні райбера; $E_{\text{П}}, E_{\text{М}}$ – відповідно модулі пружності гірської породи та матеріалу обсадних труб; $S_{\text{М}}, S_{\text{П}}$ – площі частин бокової поверхні вибою, складені відповідно з металу та гірської породи; α – кут нахилу твірної конусної поверхні райбера до його осі.

Із рівняння (1) можемо побачити, що величина відхиляючої сили $F_{\text{відх}}$ залежить як від конструктивних елементів райбера (r, R, α), так і від ступеня неоднорідності середовища, що розбурюється ($E_{\text{П}}, E_{\text{М}}, S_{\text{П}}, S_{\text{М}}$).

У нашому випадку (див. рис. 1) райбер руйнує одночасно метал обсадної труби і муфти, цементний камінь та гірську породу. Однак модулі пружності цементного каменю та порід середньої твердості приблизно однакові, і цілком закономірно можна вважати, що райбер працює в середовищі гірська порода–метал.

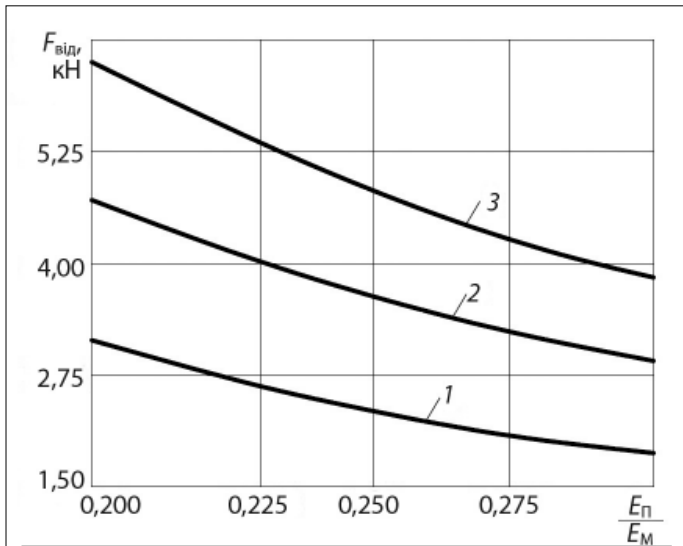


Рис. 3. Залежність відхиляючої сили на райбері від співвідношення модулів пружності гірської породи і металу обсадної труби $E_{п}/E_{м}$: 1, 2, 3 – осьове навантаження відповідно 10, 15 і 20 кН

За допомогою рівняння (1) проведено дослідження з метою виявлення ступеня залежності величини $F_{від}$ від деяких конструктивних параметрів райбера та показників неоднорідності середовища у разі зміни їх реальних величин у конкретних діапазонах і побудовано відповідні залежності. Дослідження залежності величини $F_{від}$ від конкретного параметра (показника) проводили за середніх значень інших.

На рис. 2 зображено залежність відхиляючої сили на райбері від його співвідношення радіусів r/R . Із рисунка видно, що за різних значень осьового навантаження отримано ряд прямих із приблизно однаковим кутом нахилу до осі абсцис. Залежно від величини осьового навантаження та значень r/R величини відхиляючої сили можуть змінюватися у діапазоні 1,9–5,7 кН.

На рис. 3 наведено залежність відхиляючої сили на райбері від співвідношення модулів пружності $E_{п}/E_{м}$. Графічні залежності мають вигляд монотонних кривих, які відображають зменшення відхиляючої сили на райбері із збільшенням вказаного вище співвідношення, оскільки в цьому випадку різниця між модулями пружності гірської породи і металу зменшується. Виходячи з наведених графічних залежностей, відхиляюча сила на райбері може змінюватися в інтервалі 1,9–6,2 кН.

На рис. 4 зображено залежність відхиляючої сили на райбері від співвідношення площ металу та гірської породи $S_{м}/S_{п}$. Графічні залежності мають вигляд кривих, які показують зростання $F_{від}$ зі збільшенням співвідношення $S_{м}/S_{п}$. Таке зростання цілком логічне, оскільки зі збільшенням площі металу обсадної колони зростає її відхиляюча здатність. Залежно від величини осьового навантаження та значень $S_{м}/S_{п}$ величини відхиляючої сили можуть знаходитися в діапазоні 1,5–6,6 кН.

Знаючи величину відхиляючої сили на райбері, можна визначити інтенсивність викривлення стовбура свердловини за відомою формулою [14]:

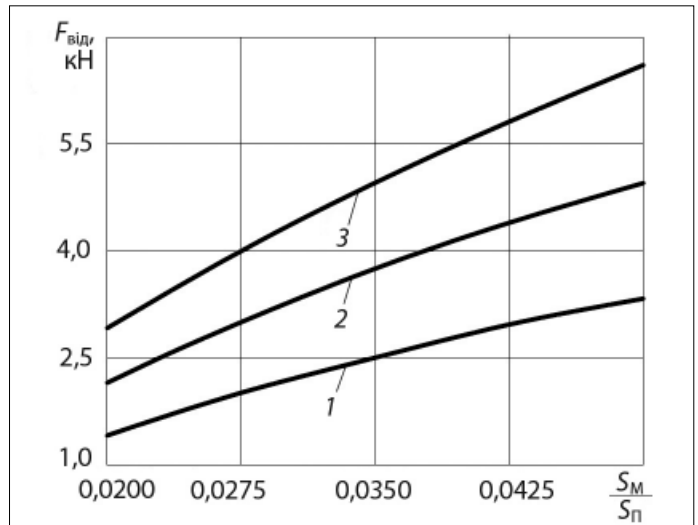


Рис. 4. Залежність відхиляючої сили на райбері від співвідношення площ металу обсадної колони та гірської породи $S_{м}/S_{п}$: 1, 2, 3 – осьове навантаження відповідно 10, 15 і 20 кН

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{2}{L} \left(\beta_0 + \Theta + K \frac{F_{від}}{F_{ос}} \right), \quad (2)$$

де L – довжина спрямовуючої секції від райбера до точки контакту обважнених бурильних труб зі стінкою свердловини; β_0 – кут неспіввідності низу бурильної колони; Θ – поворот осі райбера під дією прикладеного до нього осьового навантаження; K – коефіцієнт фрезерувальної здатності породоруйнівного інструменту.

Оскільки руйнівна здатність райбера в осьовому і поперечному напрямках однакова, то $K = 1$. Із урахуванням (1) формула (2) набуде такого вигляду:

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{2}{L} \left(\beta_0 + \Theta + \frac{\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{E_{п}}{E_{м}}\right) \cdot \frac{S_{м}}{S_{п}}}{\text{tg}\alpha \cdot \left(\frac{S_{м}}{S_{п}} + \frac{E_{п}}{E_{м}}\right)} \right). \quad (3)$$

Складові формули L і Θ можна знайти шляхом розв'язання диференціального рівняння вигнутої осі низу бурильної колони в похилій свердловині.

Результати розрахунку інтенсивності викривлення стовбура свердловини під час роботи райбера в неоднорідному середовищі показали, що за різних співвідношень параметрів райбера і показників середовища її величини можуть знаходитися в діапазоні 5,7–18,1 град/м. Виходячи з кута нахилу клинового відхилювача, товщини стінки обсадної колони, а також можливості попадання райбера на муфту, загальний кут викривлення додаткового стовбура свердловини може становити від 1,7 до 8,2 град. Отже, в районі виходу райбера з обсадної колони можуть виникнути значні локальні викривлення, які, ймовірно, негативно впливають на роботу низу бурильної колони.

Такі значні локальні викривлення можуть негативно відобразитися на роботі низу бурильної колони. Розробле-

на методика розрахунку інтенсивності викривлення стовбура свердловини дає змогу адекватно оцінити її величини, а також визначити шляхи зниження. Для зменшення кута викривлення стовбура свердловини в процесі фрезерування вікна в обсадній колоні необхідно збільшити кут нахилу клинового відхилювача до прийнятної величини, використовувати райбери сферичної або циліндричної форми, а також проводити фрезерувальні роботи між муфтами обсадних колон.

У подальшому планується проводити теоретичні дослідження на предмет оцінки деформаційного стану низу бурильної колоні в процесі формування щілиноподібного вікна в обсадній колоні свердловини.

Список літератури

1. **Гасанов А.П.** Восстановление аварийных скважин: Справочник / А.П. Гасанов. – М.: Недра, 1983. – 128 с.
2. **Гусейнов Ф.А.** Повышение эффективности зарезки и бурения второго ствола в добывающих скважинах / Ф.А. Гусейнов, А.М. Расулов, Т.М. Гасанов [и др.]. // Обзорная информация. Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985. – Вып. 12. – 47 с.
3. **Федорычев В.А.** Техника и технология забуривания дополнительных стволов из обсаженных скважин / В.А. Федорычев // Обзорная информация. Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985. – Вып. 5. – 51 с.
4. **Федорычев В.А.** Вырезающие и отклоняющие устройства для забуривания стволов в обсаженных скважинах / В.А. Федорычев, О.С. Иванов, А.Д. Кашина // РНТС Бурение. – 1973. – № 1. – С. 11–15.
5. **Мирсалаев С.Б.** Техника и технология зарезки второго ствола скважин / С.Б. Мирсалаев. – М.: Недра, 1967. – 63 с.
6. **Шенбергер В.М.** Техника и технология строительства боковых стволов в нефтяных и газовых скважинах / В.М. Шенбергер, Г.П. Зозуля, М.Г. Гейхман. – Тюмень: ТюмГНТУ, 2006. – 573 с.
7. **Крылов В.Н.** Проектирование дополнительного наклонно-направленного и горизонтального ствола из эксплуатационной

колонны бездействующей скважины / В.Н. Крылов, А.С. Оганов. – М.: Нефть и газ, 2002. – 102 с.

8. **Амиров А.Д.** Капитальный ремонт скважин / А.Д. Амиров, С.Т. Овматов, А.С. Яшин. – М.: Недра, 1975. – 326 с.
9. **Бурение** наклонных и горизонтальных скважин / А.Г. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодкий, Б.З. Султанов. – М.: Недра, 1997. – 650 с.
10. **Вороненко В.П.** О резервах повышения эффективности работ по зарезке и бурению второго ствола / В.П. Вороненко // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1978. – № 7. – С. 60–64.
11. **Лігоцький М.В.** Вибір критеріїв для проектування конструкцій свердловин з додатковим стволом / М.В. Лігоцький // Нафт. і газова пром-сть. – 1997. – № 5. – С. 18–19.
12. **Гасанов А.П.** Восстановление скважин / А.П. Гасанов. – М.: Недра, 1983. – 168 с.
13. **Алиев Ш.Н.** Вскрытие «окна» для зарезки бурения второго ствола в глубоких скважинах / Ш.Н. Алиев, Н.А. Мананов, В.М. Осипов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1974. – № 2. – С. 32–34.
14. **Гулизаде М.П.** Закономерности искривления наклонных скважин и критерий стабилизации угла наклона / М.П. Гулизаде, Л.Я. Сушон // Нефт. хоз-во. – 1972. – № 3. – С. 1–4.

Автор статті



Вов'єдко Ігор Володимирович

Професор кафедри безпеки життєдіяльності Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, доктор технічних наук. Закінчив Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Коло наукових інтересів – буріння нафтових і газових свердловин, розробка теоретичних основ і технічних засобів для підвищення точності проведення скерованих свердловин.

НОВИНИ



Міжнародна наукова газова конференція

Міжнародний газовий союз планує провести 17–19 вересня 2014 р. у Копенгагені (Данія) наукову конференцію з актуальних питань розвитку газової промисловості (IGURC 2014).

На конференції, що проходить під девізом «Gas Innovations Inspiring Clean Energy», передбачається заслухати понад триста доповідей, представлених як на пленарних засіданнях, так і на секційних сесіях. На пленарні засідання планується винести обговорення таких проблем:

- вплив інновацій на газовий ринок;
- бізнесові умови для науково-дослідних робіт і розвитку галузі;
- найважливіші фактори для зміни технологій;
- актуальні новини зі світу газових технологій.

Програма охоплює питання використання газу, його транспортування і розподілу, видобування газу, охорони навколишнього середовища, безпеки, комунікацій, ринків, постачання, стратегії тощо. Анотації доповідей повинні бути подані до 6 січня 2014 р., реєстрація учасників конференції починається з 1 листопада 2013 р.

Детальну інформацію щодо участі у конференції та подання доповідей можна знайти на сайті www.igrc2014.com