

УДК 622.243

ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЖОЛОБОУТВОРЕННЯ ПРИ БУРІННІ ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИН

Чудик І.І., Різничук А.І., Гриджук Я.С., Юрич А.Р.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

У даній статті описано попередження жолобоутворення при бурінні похило-скерованих свердловин. Авторами розроблено модель взаємодії бурильної колони із стінкою свердловини для прогнозування жолобоутворення та визначення чинників і механізму його локалізації. Встановлено залежність контактних напружень в гірській породі на поверхні стінки свердловини від часу їх взаємодії. Для оцінки зміни величини напружень з глибиною їх поширення в стінці свердловини розглянуто дію на півпростір зосередженої сили, прикладеної перпендикулярно до площини, яка його обмежує. Встановлено характер зміни напружень і фронту їх розповсюдження в масиві гірської породи стінки свердловини від дії на неї замка бурильної колони.

Ключові слова: буріння свердловин, бурильна колона, стінка свердловини, контактні напруження, жолобоутворення.

Постановка проблеми. Ерозійне руйнування стінки свердловини може утворюватися лише при наявності ряду факторів. Основні передумови його виникнення наступні [5]:

- локальні перегини (викривлення) ствола свердловини в яких бурильна колона притискається до гірської породи певній довжині;
- наявність (в зоні взаємодії бурильної колони і стінки свердловини за вищезгаданих умов) глин та глинистих сланців;

- часте виконання спуско-підймальних операцій (СПО).

Найбільш поширеним видом ерозійного руйнування гірської породи є жолобоутворення.

Аналіз досліджень і публікацій. Жолоб на стінці свердловини зазвичай формується поступово. Швидкість його утворення залежить від форми викривлення, міцності гірської породи на зсув, сили притискання бурильної колони до стінки свердловини в потенційному місці утво-

рення, властивостей бурового розчину, кількості і швидкості виконання СПО, ваги бурильної колони нижче місця утворення жолобів [1]. Повздовжні вібрації і обертання бурильної колони також призводять до жолобоутворення, проте у меншій мірі [2]. Розміри жолобів в поперечному перерізі, як відомо, визначаються розмірами бурильних труб нижче ділянки його утворення [2]. Багатофакторність задачі досліджень впливу бурильної колони на жолобоутворення доводить необхідність створення наукового підходу до зменшення імовірності і наслідків його виникнення.

Невирішені питання загальної проблеми.

Багато завдань, з якими доводиться зустрічатись дослідникам та інженерам, не піддаються аналітичному вирішенню, або потребують значних витрат на експерименти. Найчастіше єдиною можливістю прискореного аналізу інженерної проблеми є імітаційне моделювання. Прогрес у розробці числових методів дозволив істотно розширити спектр завдань, які доступні аналізу. Отримані на основі цих методів результати використовуються практично у всіх галузях науки й техніки.

Мета статті. Враховуючи вищесказане, актуальною проблемою яка потребує вирішення, є необхідність розроблення математичної моделі взаємодії бурильної колони із стінкою свердловини для прогнозування жолобоутворення та визначення чинників і механізму його локалізації.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження руху елемента бурильної колони вздовж стінки свердловини по криволінійній траєкторії характерною (в процесі жолобоутворення) є система диференціальних рівнянь руху твердого тіла в проекції на натуральні осі координат n, τ , рис. 1. При цьому рівняння руху ділянки бурильної колони у криволінійному стовбурі описується:

$$\sum F_{n_i} = m a_n = m \frac{V^2}{r}; \quad (1)$$

$$\begin{cases} m = const; \\ r = const; \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum F_{\tau_i} = m a_{\tau} = m \frac{dV}{dt}. \quad (2)$$

де F_{n_i} – сума проекцій сил на головну нормаль;

a_n – доцентрове (нормальне) прискорення;

m – приведена маса замка;

r – радіус викривлення свердловини;

V – швидкість руху замка бурильної колони;

F_{τ_i} – сума проекцій сил на дотичну вісь;

a_{τ} – тангенціальне (дотичне) прискорення;

t – час контакту замка бурильної колони з стінкою свердловини.

В якості «жолобоутворюючого» елемента бурильної колони пропонується розглянути бурильний замок, який у відповідності до [3], є основною причиною утворення ерозійної поздовжньої виробки на стінці свердловини.

В результаті, з рівняння (2) отримуємо:

$$\sum F_{\tau_i} dt = m dV; \quad (3)$$

$$\frac{\sum F_{\tau_i} dt}{m} = V. \quad (4)$$

При $\sum F_{\tau_i} \neq const$:

$$\sum F_{\tau_i} = F_{\tau_0} \cos(At), \quad (5)$$

де A – амплітуда (глибина проникнення бурильного замка в стінку свердловини);

F_{τ_0} – постійна складова дотичної сили.

$$\frac{F_{\tau_0}}{m} \int \cos(At) dt = \int dV; \quad (6)$$

$$V = \frac{F_{\tau_0}}{Am} \sin(At) + C; \quad (7)$$

$$F_{\tau_0} = V Am \sin(At). \quad (8)$$

де C – константа інтегрування; при $t_0 = 0; V_0 = 0 \rightarrow C = 0$.

При $\sum F_{\tau_i} = const$:

$$\frac{\sum F_{\tau_i}}{m} t + C = V; \quad (9)$$

$$\sum F_{\tau_i} = m \frac{V}{t}. \quad (10)$$

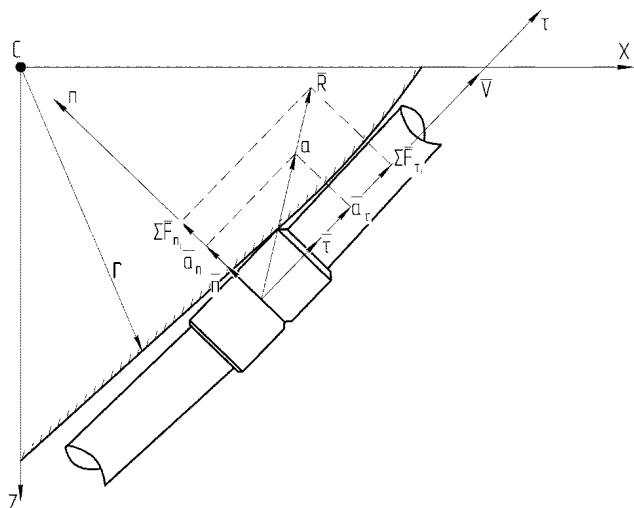


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії бурильного замка зі стінкою свердловини

Рівнодійна сила, що діє на бурильний замок визначається:

$$R = \sqrt{\sum F_{n_i}^2 + \sum F_{\tau_i}^2}. \quad (11)$$

Після підстановки рівняння руху ділянки бурильної колони у рівняння рівнодійної отримаємо:

$$R = \sqrt{m^2 \frac{V^4}{r^2} + m^2 \left(\frac{V}{t}\right)^2} = mV \sqrt{\left(\frac{V}{r}\right)^2 + t^2}. \quad (12)$$

Швидкість руху ділянки та напруження руйнування стінки свердловини:

$$\sigma_p = A^* V_{БЗ} \sqrt{\rho_{ГП} E}, \quad (13)$$

де $\rho_{ГП}$ – густина гірської породи;

E – модуль пружності гірської породи;

A^* – коефіцієнт пропорційності, для кільцевого перерізу стінки свердловини $A^* = 1,0$ [4].

З іншої умови, напруження руйнування стінки свердловини можна визначити з умови:

$$\sigma_p = \frac{R}{F}, \quad (14)$$

де F – площа взаємодії замка з стінкою свердловини.

Піднісши до квадрату рівняння (12) отримаємо:

$$R^2 = m^2 \frac{V^4}{r^2} + m^2 \left(\frac{V}{t}\right)^2. \quad (15)$$

де r – радіус викривлення свердловини.

При умові, що $V^4 = B^2$; $V^2 = B$:

$$R^2 = \frac{m^2}{r^2} B^2 + \frac{m^2}{t^2} B; \quad (16)$$

$$\frac{m^2}{r^2} B^2 + \frac{m^2}{t^2} B - R^2 = 0; \quad (17)$$

$$\frac{m^2}{r^2} B^2 \rightarrow a; \frac{m^2}{t^2} B \rightarrow b; R^2 \rightarrow c; \tag{18}$$

$$B = \frac{-\frac{m^2}{t^2} \pm \sqrt{\left(\frac{m^2}{t^2}\right)^2 + 4\frac{m^2}{r^2} R^2}}{2\frac{m^2}{r^2}}; \tag{19}$$

$$V = \sqrt{\frac{-\frac{m^2}{t^2} \pm \sqrt{\left(\frac{m^2}{t^2}\right)^2 + 4\frac{m^2}{r^2} R^2}}{2\frac{m^2}{r^2}}}. \tag{20}$$

При, $V = V_{БЗ}$ отримуємо:

$$\sigma_p = A^* \sqrt{\rho_{ГП} E} \sqrt{\frac{-\frac{m^2}{t^2} \pm \sqrt{\left(\frac{m^2}{t^2}\right)^2 + 4\frac{m^2}{r^2} R^2}}{2\frac{m^2}{r^2}}}. \tag{21}$$

При одновісному напруженому стані бурильного замка потенціальна та кінетична енергії бурильного замка визначаються:

$$E_n = \frac{V_{ГП} \sigma_{cp}}{2 E}; \tag{22}$$

$$E_k = \frac{m V^2}{2} = \frac{\rho_M V_{ГП} V^2}{2}. \tag{23}$$

де ρ_M – густина металу бурильного замка; $V_{ГП}$ – об'єм породи (об'єм частинки бурильного замка);

σ_{cp} – середні робочі напруження.

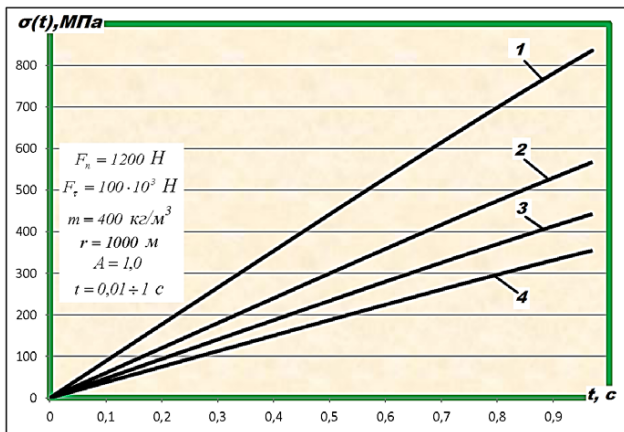
Для руйнування стінки свердловини бурильним замком і утворення на ній жолобної виробки необхідною умовою є:

$$E_k \geq E_n \tag{24}$$

$$\frac{\rho_M V_{ГП} V^2}{2} \geq \frac{V_{ГП} \sigma_{cp}}{2 E}. \tag{25}$$

Середні робочі напруження:

$$\sigma_{cp} \geq \sqrt{\rho_M E V}. \tag{26}$$



1 – пісковик ($E=0,5 \cdot 10^{10}$ Па); 2 – глинистий сланець ($E=0,23 \cdot 10^{10}$ Па); 3 – глина ($E=0,14 \cdot 10^{10}$ Па); 4 – аргіліти ($E=0,09 \cdot 10^{10}$ Па).

Рис. 2. Залежність контактних напружень в гірській породі на поверхні стінки свердловини від часу взаємодії з нею замка бурильної колони

З рисунку 2 видно, що критичні напруження, при яких відбувається руйнування гірської породи, настають коли час контакту замка з породою становить 0,1 с і вище, а це в свою чергу говорить що критична швидкість підйому бурильної колони становить 0,12 м/с і вище. Тобто для за-

побігання утворенню жолобів необхідно виконувати СПО із швидкістю не більше 0,12 м/с.

Для оцінки зміни величини напружень з глибиною їх поширення в стінці свердловини розглянемо дію на півпростір зосередженої сили [6], прикладеної перпендикулярно до площини, яка його обмежує, рис. 3.

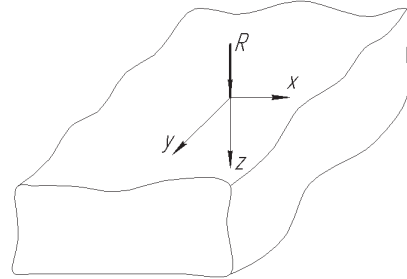


Рис. 3. Дія зосередженої сили на півпростір обмежений площиною

В системі координат з початком в точці прикладання сили, а в напрямку її дії направимо вісь z. Дві інші осі координат розміщуються довільно відносно осі z в площині яка обмежує півпростір. Напруження, які виникають в півпросторі, мають задовільняти наступні граничні умови: на безкінечності всі компоненти тензора напружень перетворюються в нуль; в точках площини, яка обмежує півпростір, дотичні напруження τ_{zx}, τ_{zy} рівні нулю, а нормальні напруження σ_z рівні нулю у всіх точках крім точки прикладання зосередженої сили R.

Кінцеве вираження напружень в точці з координатами x, y, z.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \frac{3 \cdot R \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot r^3} \\ \sigma_x &= -\frac{3 \cdot R}{2 \cdot \pi} \left(\frac{x^2 \cdot z}{r^5} + \frac{1-2 \cdot \mu}{3} \left(\frac{1}{r \cdot (r+z)} - \frac{(2 \cdot r+z) \cdot x^2}{(r+z)^2 \cdot r^3} + \frac{z}{r^3} \right) \right) \\ \sigma_y &= -\frac{3 \cdot R}{2 \cdot \pi} \left(\frac{x^2 \cdot z}{r^5} + \frac{1-2 \cdot \mu}{3} \left(\frac{1}{r \cdot (r+z)} - \frac{(2 \cdot r+z) \cdot y^2}{(r+z)^2 \cdot r^3} + \frac{z}{r^3} \right) \right) \\ \tau_x &= -\frac{3 \cdot R}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{x \cdot z^2}{r^5} \\ \tau_y &= -\frac{3 \cdot R}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{y \cdot z^2}{r^5} \\ \tau_z &= -\frac{3 \cdot R}{2 \cdot \pi} \left(\frac{x \cdot y \cdot z}{r^5} - \frac{1-2 \cdot \mu}{3} \cdot \frac{(2 \cdot r+z) \cdot x \cdot y}{(r+z)^2 \cdot r^3} \right) \end{aligned} \right\} \tag{27}$$

де $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

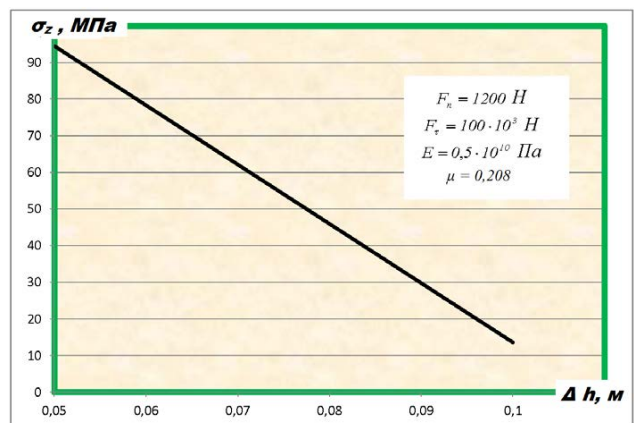


Рис. 4. Характер зміни напружень і фронту їх розповсюдження в масиві гірської породи стінки свердловини від дії на неї замка бурильної колони

Для оцінки поведінки компонент σ_x , σ_y , τ_{xy} будуємо графіки цих функцій від z , при фіксованих x і y та однакових значеннях діючих сил та характеристик E та μ гірської породи. Розподіл цих напружень подано на рисунку 4.

З рисунку 4 бачимо, що критичні напруження в масиві гірської породи згасають на глибині яка рівна 7-8 см, а відповідно і глибина жолобної виробки буде рівною в даному випадку 7-8 см.

Висновки. 1. На основі проведеного аналізу впливу бурильної колони на жолобоутворення встановлено, що актуальною проблемою яка потребує вирішення є необхідність розроблення моделі взаємодії елемента бурильної колони із

стілкою свердловини для прогнозування жолобоутворення.

2. Визначено, що шляхом вирішення вказаної проблеми є дослідження руху елемента бурильної колони вздовж стінки свердловини по криволінійній траєкторії.

3. Встановлено залежність контактних напружень в гірській породі на поверхні стінки свердловини від часу взаємодії з нею замка бурильної колони.

4. Встановлено характер зміни напружень і фронту їх розповсюдження в масиві гірської породи стінки свердловини від дії на неї замка бурильної колони.

Список літератури:

1. Книга інженера по растворам ЗАО «ССК» [Текст] / В.Н. Губанов, Д.В. Лопатин, В.С. Сычев, А.А. Толстоухов. – М.: Гарусс, 2006. – 549 с.
2. Ясов В.Г. Образование желобов в скважине и определение силы прихвата инструмента в них [Текст] / В.Г. Ясов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 8. – С.17-19.
3. Махмудов З.Н. Зависимость износа боковой поверхности бурильных замков от времени механического бурения [Текст] / З.Н. Махмудов, О.Н. Злобина, А.П. Горбунов, Д.И. Писарев, Ю.В. Ситников // Повышения работоспособности бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб: Сборник научных трудов. – Куйбышев: Гипростокнефть – 1982. – С. 67-70.
4. Балюк Б.К. Вибрационная прочность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Б.К. Балюк. – К.: Наукова думка, 1983. – 104 с. : ил., табл. – 102.
5. Осипов П.Ф. Формирование желобов в наклонно направленных скважинах [Текст] / П.Ф. Осипов, Г.П. Злотников // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006. – № 3. – С. 9-12.
6. Победря Б.Е. Лекции по теории упругости [Текст] / Б.Е. Победря, Д.В. Георгиевский. – М.: Эдиториал, УРСС, 1999. – 208 с.

Чудик И.И., Ризнычук А.И., Грыджук Я.С., Юрыч А.Р.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЖЕЛОБООБРАЗОВАНИЯ ПРИ БУРЕНИИ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН

Аннотация

В данной статье описано предупреждение жолобоутворення при бурении наклонно-направленных скважин. Авторами разработана модель взаимодействия бурильной колонны со стенкой скважины для прогнозирования желобообразования и определения факторов и механизма его локализации. Установлена зависимость контактных напряжений в горной породе на поверхности стенки скважины от времени их взаимодействия. Для оценки изменения величины напряжений с глубиной их распространения в горной породе стенки скважины рассмотрено действие на полупространство сосредоточенной силы, приложенной перпендикулярно к плоскости, которая его ограничивает. Установлен характер изменения напряжений и фронта их распространения в массиве горной породы стенки скважины от воздействия на нее замка бурильной колонны.

Ключевые слова: бурение скважин, бурильная колонна, стенка скважины, контактные напряжения, желобообразования.

Chudyk I.I., Riznychuk A.I., Grydzhuk J.S., Yurych A.R.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

PREVENTION OF GROOVE FORMATION DURING DIRECTIONAL DRILLING

Summary

This article describes prevention of groove formation during directional drilling. The authors developed a model of the interaction of the drill string with the borehole wall to predict the groove formation and to identify the factors and mechanism of its localization. The dependence of the contact stresses in the rock on the surface of the borehole wall vs the time of their interaction was determined. The effect on the half-space of the concentrated force which is applied normally to the plane, which limits it is considered for the evaluation of changes in the value of the stress distribution in the depth of the borehole wall. The nature of changes of stresses and the front of their distribution in the array of well walls' rock from the action of the drill string lock was determined.

Keywords: drilling, the drill string, well wall, contact stresses, groove.