

Я.С. Гриджук¹
І.І. Чудик¹
О.О. Слабий¹
Т.І. Кондур²
І.Ю. Мохній³

ПРО АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ЗОНИ КОНТАКТУВАННЯ ПРОГНУТОЇ ДІЛЯНКИ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ІЗ СТІНКОЮ СВЕРДЛОВИНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу¹
ТОВ “Шлюмберже Сервісес Україна”², Філія “УГВ-Сервіс” АТ “Укргазвидобування”³

Анотація

З урахуванням особливостей напружено-деформованого стану прогнутої ділянки бурильної колони, притиснутої до стінки свердловини, а також геометрії їх взаємного просторового розташування, обґрунтовано аналітичний спосіб визначення площі зони їх в'язко-пружного контактування.

Ключові слова: бурильна колона, свердловина, напружено-деформований стан, площа контакту, тор, циліндр.

Під час проектування осьового навантаження на долото на інтервалах похило-скерованих і горизонтальних ділянок свердловин необхідно враховувати сили опору руху бурильної колони, так як осьове навантаження, яке створюється компоновкою бурильної колони, повністю не передається породоруйнівному інструменту. Така особливість є однією з причин зниження темпів поглиблення свердловин. Суттєвий інтерес мають питання дослідження процесу подальшого (закритичного) деформування бурильної колони, коли остання в результаті втискання в стінки свердловини з геометричними недосконаlostями продовжує змінювати свою форму під дією осьового навантаження, розподілених контактних сил і крутного моменту. Крім того, важливо знати величину контактної тиску і площі зон в'язко-пружної взаємодії прогнутих ділянок бурильної колони із стінками свердловини, при яких відбувається усталений процес буріння.

У процесі буріння конфігурація стовбура свердловини немає постійної прямолінійної циліндричної форми. Однією з причин утворення виробок на стінках свердловини є механічна дія на неї бурильної колони, яка втратила стійкість [1, 2]. Сила притискання бурильних труб до стінок свердловини обумовлена власною вагою елементів бурильної колони, їх конструктивними параметрами, пружністю на згин, перепадом тиску і повною величиною гідростатичного тиску. Її збільшення сприяє покращенню прилипання бурильної колони до фільтраційної кірки [3, 4]. Тому відомості про фактичні величини сил, діючих в місцях взаємодії окремих ділянок бурильної колони із стінками свердловини, форму і площу зон контактування дозволять точніше проектувати розміри вибійних компонок, попередити жолобоутворення і визначити найбільш вразливі ділянки бурильної колони. Вирішенню цих питань присвячено багато наукових праць. Одні з авторів не враховують площу контактування, беручи до уваги лише лінійний контакт по всій довжині колони труб, інші приймають умовну величину, рівну певній долі від половини діаметра, коли бурильна колона притиснута до стінки свердловини [3, 4, 5]. Незважаючи на це, не враховується контакт різних елементів труби (замок, тіло труби) із стінками свердловини, покритої фільтраційною кіркою при можливому протиранні жолобів по стінці гірничої виробки.

Тому, при розгляді задач контактної взаємодії ділянок бурильної колони із стінками свердловини важливим питанням є визначення площ контактуючих поверхонь. Розміри площ контактуючих поверхонь суттєво впливатимуть на параметри напружено-деформованого стану бурильної колони і стінок свердловини та можуть стати причиною зміни розмірів проектного профілю [3, 4]. Через відсутність точних аналітичних формул для визначення площі зон

контактної взаємодії елементів бурильної колони із стінками свердловини в практиці буріння на даний час обмежуються емпіричними залежностями [6].

Розглянемо процес втискання прогнутої півхвилі бурильної колони у стінку свердловини. Вважатимемо, що основою стінки свердловини є речовина з пружно-анізотропними властивостями, а її поверхня вкрита суцільною фільтраційною кіркою. При локальному торканні до в'язкої поверхні стінки свердловини бурильна колона продовжує втискатися в неї з подальшим утворенням жолобоподібної поверхні до того часу, коли максимальна реакція стінки стане рівною максимальній силі пружного втискання. При остаточному впиранні прогнутої ділянки колони в стінку її реакція досягає максимального значення, а швидкість втискання при цьому стає рівною нулю. Результати аналізу напружено-деформованого стану деформованої ділянки бурильної колони [1, 2] та процесу її втискання у стінку свердловини дають можливість сформулювати необхідні дані для постановки та розв'язку геометричної задачі про визначення площі зони їх взаємного контактування. З достатньою точністю зовнішню поверхню ділянки бурильної колони, прогнутої у площині паралельній осі свердловини, можна ототожнити з поверхнею ділянки тора, а внутрішню поверхню стінки свердловини – із поверхнею кругового циліндра [7] (рис. 1). Рівняння тора з радіусом твірного кола r і відстанню від центра цього кола до осі (центру) тора R задається у наступному вигляді:

$$(x^2 + y^2 + z^2 + R^2 - r^2)^2 - 4R^2(x^2 + y^2) = 0, \quad (1)$$

а кругового циліндра з радіусом твірного кола ρ задається у такому:

$$x^2 + y^2 = \rho^2. \quad (2)$$

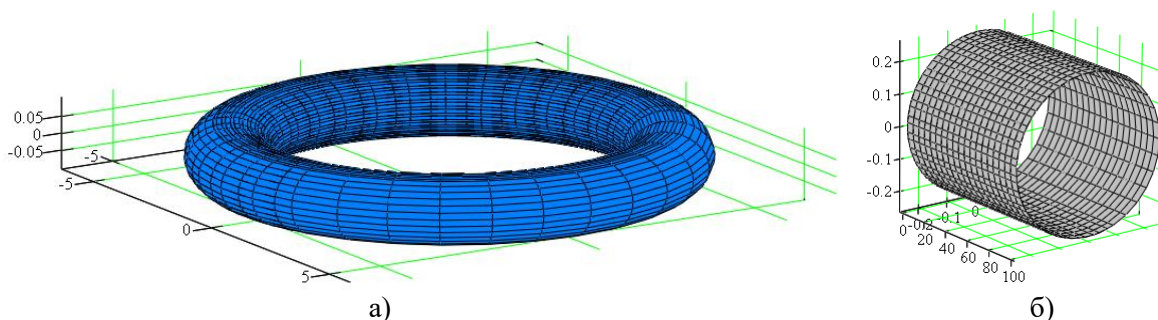


Рисунок 1 – Модельні поверхні тора а) та кругового циліндра б)

Зону локального контактування прогнутої ділянки бурильної колони із стінкою свердловини можна моделювати як частину поверхні тора, яка вирізається круговим циліндром. Тоді визначення площі зони контактування можна звести до визначення площі поверхні взаємного перетину поверхонь четвертого (1) та другого (2) порядку (рис. 2).

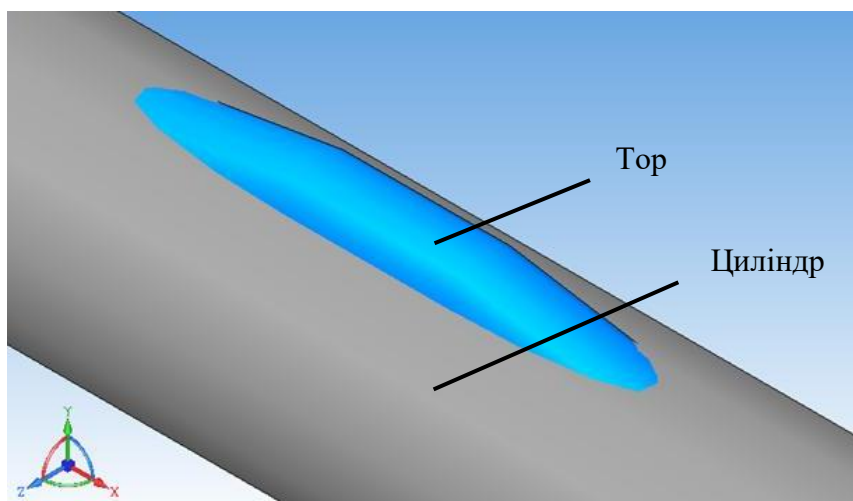


Рисунок 2 – Модельна поверхня зони контактування прогнутої ділянки бурильної колони, яка втиснута у стінку свердловини

У результаті взаємного вирізання частини тору (1) круговим циліндром (2) отримаємо поверхню, яка описуватиметься функцією:

$$F = f(x; y). \quad (3)$$

Згідно [7] площу зони контактування деформованої ділянки бурильної колони із стінкою свердловини можна визначити із застосуванням наступного інтегралу:

$$S = \iint_D \sqrt{1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2} dx dy; \quad (4)$$

де D – проекція поверхні перетину на площину, перпендикулярну осі свердловини.

Таким чином, враховуючи геометричні розміри поперечних перерізів бурильної колони і свердловини, за допомогою залежностей (1-4) можна аналітично визначити площу зони їх контактування. Реалізація даного способу дасть можливість точніше оцінювати сили опору руху бурильної колони та її контактного тиску на стінки скерованих і горизонтальних ділянок свердловин при проектуванні осьового навантаження на долото. Також даний спосіб буде корисним при дослідженні процесу закритичного деформування бурильної колони при усталеному процесі буріння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисканич М.В., Попадюк І.Й., Гриджук Я.С. Оцінка впливу згинальних навантажень та вібрацій на напружений стан бурильної колони. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. №4 С. 56-61.
2. Гриджук Я.С., Андрусак А.В., Кичма М.В. Дослідження залежності між напруженнями в елементах бурильного інструменту та характеристиками його коливального руху. Нафтогазова енергетика. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. №1(21) С. 7-15.
3. Чудик І. І., Юрич А. Р., Козлов А. А. Врахування каверно- і жолобоутворення при проектуванні неорієнтованих КНБК. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. №2(23) 2007. С. 45-50.
4. Чудик І. І. Узагальнена методика розрахунку енергетичних витрат при роботі неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для роторного способу буріння. Науковий вісник ІФНТУНГ. 2013. № 2(35). С.121-128.
5. Ja . Grydzhuk, I. Chudyk, A. Velychkovych, A. Andrusyak. Analytical evaluation of inertial properties of the range of the drill string in its rotation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. №1/7 (97). P. 6-14.
6. Кондур Т.І. Планування робіт з MWD/LWD (каротаж та вимірювання під час буріння). Стандартні операційні процедури. 22с.
7. Дубовик В.П., Юрик І.І. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ: Ігнатекс-Україна., 2013. 648с.

Гриджук Ярослав Степанович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технічної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, jaroslav.gridzhuk@gmail.com

Чудик Ігор Іванович, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, chudoman@ukr.net

Слабий Орест Олегович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, burewisnyk@gmail.com

Кондур Тарас Ігорович, керівник виробничого підрозділу з буріння та вимірювання параметрів буріння, ТОВ "Шлюмберже Сервісез Україна", м. Полтава, tkondur@gmail.com

Мохній Ігор Юрійович, директор, Філія "УГВ-Сервіс" АТ "Укргазвидобування", м. Полтава. office@ugv.com.ua

ANALYTICAL DETERMINATION OF THE CONTACT AREA OF BENT DRILL STRING SECTION WITH BOREHOLE WALL

Abstract

Taking into account the features of the stress-strain state of the bent part of the drill string pressed against the well wall, as well as the geometry of their mutual spatial arrangement, the analytical method of determining the area of their visco-elastic contact is substantiated.

Keywords: drill string, well, stress-strain state, contact area, torus, cylinder.

Jroslaw Grydzhuk, Dr-Ing., Assoc. Prof., chair technical mechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, jaroslav.gridzhuk@gmail.com

Igor Chudyk, Dr-Ing., Prof., vice-rector for scientific work, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, chudoman@ukr.net

Orest Slabyi, Candidate of Science PhD, chair technical mechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, burewisnyk@gmail.com

Taras Kondur, Product and Service Delivery Manager, “Schlumberger Services Ukraine LLC”, Poltava, tkondur@gmail.com

Igor Mokhniy, director, Branch “UGV-Service” JSC “Ukrgezvydobuvannya”, Poltava, office@ugv.com.ua