

Objects of study – drill strings in channels of vertical and inclined bore–holes.

Purpose – through the use of the theory of flexible curvilinear rods and the theory of geodesical curves to state the problem on elastic post–critical deforming of drill strings in cavities hyperdeep cylindrical bore–holes. To perform investigation of these effects for vertical and inclined bore–holes.

Method of study – the drill string is represented as a superlong tube rod. The mathematical model of quasistatic behavior of the drill strings at its contact interaction with the bore–hole wall is constructed in the form of singularly perturbed differential equations of the rotating rod motion. For analysis of the drill string geometry the method of the theory of the geodesical curves are used.

The results of the article can be inculcated in technologies of deep bore–hole drilling.

Forecast assumptions about the object of study – the search of optimal regimes of drilling.

KEYWORDS: DRILL STRINGS, CURVILINEAR BORE–HOLE, GEODESICAL CURVE, CHANNEL SURFACE, POST–CRITICAL DEFORMING.

РЕФЕРАТ

Андрусенко А.Н., Шлюнь Н.В. Геометрическое моделирование геодезических кривых на каналовой поверхности. / Елена Николаевна Андрусенко, Наталия Владимировна Шлюнь // Вестник НТУ – К.: НТУ – 2012. – Вып. 26.

В статье рассматривается задача об определении критических состояний бурильных колонн в криволинейных скважинах. Принято, что поверхность скважины является каналовой поверхностью с криволинейной осью и круговыми поперечными сечениями. Анализируется связь критических состояний колонны с приобретением и потерей ее осевой линией геометрии геодезической кривой.

Объект исследования – бурильные колонны в каналах вертикальных и наклонных скважин.

Цель работы – на основе общей теории гибких криволинейных стержней и методов теории геодезических кривых поставить задачу об упругом закритическом деформировании бурильной колонны в полостях сверхглубоких цилиндрических скважин. Провести исследование этих эффектов для вертикальных и наклонных бурильных колонн.

Методы исследования – бурильная колонна отождествлялась со сверхдлинным трубчатым стержнем. Математическая модель квазистатического поведения бурильной колонны при ее контактном взаимодействии со стенкой скважины строилась в виде сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений движения вращающегося сверхдлинного стержня в упругой постановке. Для анализа геометрии бурильной колонны используются методы теории геодезических кривых на поверхностях.

Результаты статьи могут быть внедрены в технологии бурения глубоких скважин.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – поиск оптимальных режимов бурения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА, КРИВОЛИНЕЙНАЯ СКВАЖИНА, ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ КРИВАЯ, КАНАЛОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ЗАКРИТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ.

УДК 539.3

НЕГОЛОНОМНЕ КОЧЕННЯ ЕЛІПСОЇДНОГО ТІЛА ПО ШОРСТКІЙ ПЛОЩИНІ

Борщ О.І., кандидат технічних наук,
Шевчук Л.В.

Постановка проблеми.

Однією з основних труднощів, що перешкоджає удосконаленню процесів буріння глибоких нафтових і газових свердловин є можливість появи нештатних ситуацій [1,2], які викликані критичними станами квазістатичної рівноваги і коливань бурильної колони (БК). Серед них найбільш складним механізмом володіють згині коливання низу БК, які обумовлені дією на долото змінних з часом нормальних і дотичних сил контактної і фрикційної взаємодії долота зі стінкою свердловини [3,4]. В цьому випадку геометричний центр долота починає рухатися навколо осевої лінії свердловини, обганяючи або відстаючи від обертового руху самої колони. У роботах [6,8,9]

відмічається, що описаний рух центра долота має складну природу і для його визначення використовують термін “whirling” – кружляння. В даній роботі обговорюється залежність характеру еволюції цих коливань від геометрії долота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як показують експерименти та спостереження, при деяких режимах коливань кружляння долото починає перекочуватися по криволінійній поверхні дна свердловини, а його центр рухається по досить складних траєкторіях, які нагадують багатопелюсткову квітку [5,6]. В залежності від величини осьової сили і коливання можуть супроводжуватися проковзуванням контактуючих тіл або реалізовані в режимі чистого кочення. Вивчення автоколивань другого типу може бути виконане лише методами неголономної механіки [7]. При цьому важливим являється врахування геометрії контактуючих тіл [8,9]. Нижче розглядається випадок кочення тіла в формі еліпсоїда.

Мета роботи полягає в розробці кінематичної і динамічної моделі кочення долота в формі еліпсоїда по поверхні дна свердловини.

Результати досліджень.

Умови кочення з вертінням можуть бути реалізовані і в системі долото-дно свердловини. Вони забезпечуються за рахунок наявності на поверхні долота діамантових вкраплень, які при коченні відіграють роль твердих інденторів, які вдавлюються в скельну породу на поверхні дна свердловини і перешкоджають ковзанню долота по ній.



Рисунок 1. – Геометричні форми доліт

Оскільки поверхня долота (рис. 1) і дна свердловини можуть мати різні геометричні форми, в процесі буріння можливі переходи руху долота від чистого вертіння (штатний процес буріння) до його додатковим коченням, відходу з вертикалі точки дотику долота з дном свердловини і викривлення осі бурильної колони. Для дослідження цих явищ необхідно поставити задачу про пружні поперечні коливання бурильної колони, в якій неголономні в'язі є граничними умовами для рівнянь руху долота.

Коливання кружляння долота, яке обертається з кутовою швидкістю ω , зазвичай супроводжується залученням до вібраційного процесу також і нижніх

ділянок колони, які розташовані між центруючими пристроями і відіграють роль додаткових опор. Тому при аналізі механізму збудження коливань кружляння долота будемо нехтувати впливом верхньої частини БК і виділимо її фрагмент завдовжки l .

Виділена трубчаста ділянка БК попередньо напружена прикладеним до долота крутним моментом M_z і подовжньою стискуючою силою T , рівній реакції опирається долота на дно свердловини. Динаміку цієї ділянки моделюватимемо на основі теорії стисло-закручених стрижнів, що обертаються. Для цього введемо нерухому систему координат $OXYZ$ і систему координат $Ox_1y_1z_1$, що обертається разом з БК, із загальним початком O на опорі A .

Для кількісного аналізу кінематично збуджуваних коливань кружляння необхідно скласти рівняння динаміки всієї виділеної для розгляду двопрогонної балки ABC , що обертається, попередньо напруженої крутним моментом $M_z = -M^{fr}$ і подовжньою стискуючою силою $T = -R$. Ці рівняння наведені в статті [4].

Для опису пружного повороту долота введемо також систему координат $O_1x_1y_1z_1$, що обертається, осі Ox_1 , Oy_1 якої паралельні осям Ox , Oy , відповідно, а початок O_1 лежить на осі Oz і у вихідному положенні співпадає з центром мас C долота. Зв'яжемо з долотом систему $Cx_2y_2z_2$, осі Cx_2 , Cy_2 якої у вихідному положенні паралельні осям Cx_1 , Cy_1 , а при пружній деформації колони повертаються на кути $-v'|_C$ і $u'|_C$ разом з долотом.

Приймемо, що долото має форму еліпсоїда обертання і він перекочується по поверхні свердловини, яка є площиною (рис.2).

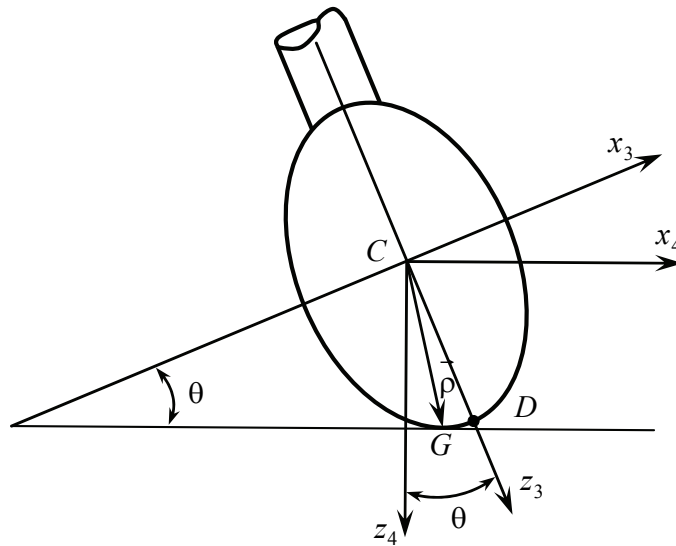


Рисунок 2. – Схема контактної взаємодії еліпсоїдального долота з шорсткою площиною

При виведенні неголономних співвідношень кінематики долота будемо вважати, що кути пружних поворотів системи $Cx_2y_2z_2$ відносно $Ox_1y_1z_1$ малі. Тоді можна ввести вектор повного кута повороту

$$\vec{\theta} = \theta_x \vec{i}_1 + \theta_y \vec{j}_1 = -v' \vec{i}_1 + u' \vec{j}_1. \quad (1)$$

Зв'яжемо з долотом систему осей $Cx_3y_3z_3$, вісь Cz_3 якої є продовженням пружної осі колони, вісь Cy_3 колінеарна вектору $\vec{\theta}$, а вісь Cx_3 доповнює цю систему до правої трійки векторів (рис. 2). Ці осі співпадають з головними центральними осями інерції еліпсоїда. Для визначення точки контакту G долота з дном свердловини запишемо рівняння еліпса, отриманого перерізом поверхні долота площиною x_3Cz_3

$$\frac{x_3^2}{a^2} + \frac{z_3^2}{b^2} = 1. \quad (2)$$

В цій же площині введемо осі Cx_4 і Cz_4 (рис.2). Перехід від системи x_3Cz_3 до системи x_4Cz_4 здійснюється за допомогою формул

$$x_4 = x_3 \cos \theta + z_3 \sin \theta, \quad z_4 = -x_3 \sin \theta + z_3 \cos \theta. \quad (3)$$

В системі x_4Cz_4 рівняння (2) має вид

$$\frac{(x_4 \cos \theta - z_4 \sin \theta)^2}{a^2} + \frac{(x_4 \sin \theta + z_4 \cos \theta)^2}{b^2} = 1. \quad (4)$$

Для визначення точки G контакту еліпса (4) з горизонталлю (рис. 2) необхідно знайти похідну $\frac{dz_4}{dx_4}$ кривої (4) і прирівняти її до нуля. Виконавши ці обчислення, знайдемо

$$\vec{\rho} = \vec{CG} = \frac{(b^2 - a^2) \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}} \vec{i}_4 + \sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta} \vec{k}_4. \quad (5)$$

Тут \vec{i}_4, \vec{k}_4 – орти відповідних осей.

В системі координат $Ox_1y_1z_1$, що обертається, вектор $\vec{\rho}$ має компоненти

$$\rho_{x_1} = \frac{(b^2 - a^2) \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}} \sin \beta, \quad \rho_{y_1} = \frac{(b^2 - a^2) \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}} \cos \beta, \quad \rho_{z_1} = \sqrt{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}, \quad (6)$$

де β – кут між віссю O_1x_1 і вектором $\vec{\theta}$.

З врахуванням рівності нулю абсолютної швидкості \vec{v}_G^{abc} точки G контакту долота з дном свердловини запишемо

$$\vec{v}_G^{abc} = \vec{v}_C^{abc} + \vec{\Omega} \times \vec{\rho} = 0. \quad (7)$$

Тут \vec{v}_C^{abc} – абсолютна швидкість точки C ; $\vec{\Omega}$ – вектор кутової швидкості системи $Cx_2y_2z_2$.

Доданки, які входять в це співвідношення, підраховуються так

$$\vec{v}_C^{abc} = \dot{u} \vec{i}_1 + \dot{v} \vec{j}_1 + \vec{\omega} \times (u \vec{i}_1 + v \vec{j}_1) = (\dot{u} - \omega v) \vec{i}_1 + (\dot{v} + \omega u) \vec{j}_1, \quad (8)$$

$$\vec{\Omega} \times \vec{\rho} = \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{j}_1 & \vec{k}_1 \\ -\dot{v}' & \dot{u}' & \omega \\ \rho_{x_1} & \rho_{y_1} & \rho_{z_1} \end{vmatrix} = (\dot{u}' \rho_{z_1} - \omega \rho_{y_1}) \vec{i}_1 + (\dot{v}' \rho_{z_1} + \omega \rho_{x_1}) \vec{j}_1 + (-\dot{v}' \rho_{z_1} - \dot{u}' \rho_{x_1}) \vec{k}_1.$$

Підставляючи співвідношення (8) у рівність (7), отримаємо умови кочення без проковзування еліпсоїдального тіла по шорсткій поверхні

$$\dot{u} - \omega v + \dot{u}' \rho_{z_1} - \omega \rho_{y_1} = 0, \quad (9)$$

$$\dot{v} + \omega u + \dot{v}' \rho_{z_1} + \omega \rho_{x_1} = 0.$$

Вони зв'язують швидкості руху центра долота і його обертання з переміщеннями u, v , тому представляють собою неголономні крайові умови для стержня бурильної колони. До них додаються умови динаміки долота [10], які дозволяють задачу динаміки розглядати, як систему повністю визначеною. Для побудови цих рівнянь скористаємося теоремою про зміну моменту кількостей руху долота відносно точки G

$$\frac{d \vec{K}_G}{dt} + \vec{\Omega} \times \vec{K}_G = \vec{M}_G, \quad (10)$$

де \vec{K}_G – момент кількостей руху долота відносно точки G , \vec{M}_G – момент сил пружності, які діють на долото, також записаній в цій же системі.

Однак, підкреслимо, що питання про використання рівняння (10) зв'язане з специфікою інтегральних властивостей низу бурильної колони. Як правило в реальних конструкціях БК маса долота не перевищує, а інколи навіть нижче маси відповідних підконструкцій системи. Тому у

співвідношенні (10) можна знехтувати величиною \vec{K}_G і використати рівність

$$\vec{M}_G = 0,$$

яка зазвичай використовується для шарнірно опертих балок.

Як показано раніше, характер руху долота в основному визначається положення точок G і D по відношенню до осі обертання Oz всієї системи. В залежності від того, яка із них розташована ближче до осі обертання, долото може кружлятися в прямому або зворотному напрямках.

Висновки. На основі методів неголономної механіки, поставлена задача про коливання кружляння долота бурильної колони, яка попередньо напружена поздовжньою силою і обертається під дією прикладеного до долота моменту сил різання. Розглянуто випадок, коли долото має форму еліпсоїда. Виконано аналіз механізму самозбудження коливань. Обговорюються динамічні ефекти, викликані змодельованою контактною взаємодією долота з дном свердловини, аналізуються умови прямого і оберненого кочення долота по поверхні дна свердловини.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0112U000137 «Математичне моделювання процесів безаварійного буріння в сланцевих породах і в шельфових зонах морських акваторій»

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gulyayev V.I. The buckling of elongated rotating drill strings / Gulyayev V.I., Gaidaichuk V.V., Solovjov I.L., Gorbunovich I.V. – Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009. – 67, P.140–148.
2. Gulyayev V.I. Simulation of torsion relaxation auto-oscillations of drill string bit with viscous and Coulombic friction moment models / Gulyayev V.I., Hudoliy S.N., Glushakova O.V. – Journal of Multi-body Dynamics, 2011 Ī V. 225, P. 139 – 152.
3. Борщ Е.И. Спиральные бегущие волны в упругих стержнях / Борщ Е.И., Ващилина Е.В., Гуляев В.И. – Известия Российской академии наук. Механика твердого тела, 2009. – №2, С. 143 – 149.
4. Gulyayev V.I. Free vibrations of drill strings in hyper deep vertical bore-wells / Gulyayev V.I., Borshch O.I. – Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011 Ī V. 78, P. 759 – 764.
5. Christoforou A.P. Dynamic modelling of rotating drillstrings with borehole interactions / Christoforou A.P., Yigit A.S. – Journal of Sound and Vibration, 1997. – 206(2), P.243 – 260.
6. Jansen J.D. Wirl and chaotic motion of stabilized drill collars / Jansen J.D. – SPE Drilling Engineering, 1992. – 7(2), P.107 – 114.
7. Неймарк Ю.И. Динамика неголономных систем / Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. – М.: Наука, 1967. – 519 с.
8. Рашевский П.К. Курс дифференциальной геометрии / Рашевский П.К. – М.: Наука, 1967. – 664 с.
9. Гуляев В.И. Элементы теории поверхностей / Гуляев В.И., Горбунович И.В., Гловач Л.В. – К.: НТУ, 2011. – 239 с.
10. Гуляев В. И. Неголономна динаміка долота бурильної колони в глибокій свердловині / Гуляев В. И., Борщ О.И., Шевчук Л. В. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 24, С. 297 – 301.

РЕФЕРАТ

Борщ О.И., Шевчук Л. В. Неголономне кочення еліпсоїдного тіла по шорсткій площині / Олена Іванівна Борщ, Людмила Володимирівна Шевчук // Вісник НТУ – К.:НТУ – 2012. – Вип. 26.

В статті ставиться задача про згинні коливання низу бурильної колони в умовах контактної взаємодії долота з дном свердловини.

Об'єктом дослідження є долото бурильної колони в процесі його вертіння, а також прямого і зворотного неголономного кочення.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності функціонування колон глибокого буріння шляхом моделювання процесу неголономного кочення долота по дну свердловини.

Методи дослідження включають аналітичні підходи, що використовуються в динаміці неголономних систем, а також алгоритми чисельного інтегрування нелінійних рівнянь.

Результати статті можуть бути упроваджені в практиці теоретичного і експериментального дослідження динаміки колон глибокого буріння в нафтових і газових свердловинах.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної геометричної форми долота, що виключає самозбудження коливань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БУРИЛЬНА КОЛОНА, БУРІННЯ, ДОЛОТО, НЕГОЛОНОМНА В'ЯЗЬ

ABSTRACT

Borshch O.I., Shevchuk L. V. Nonholonomic rolling of ellipsoidal body on uneven surface / Olena Borshch, Lyudmila Shevchuk // Visnyk NTU – K.: NTU. – 2012. –Vol. 26.

The paper concerns the problem on bending vibrations of a bottom hole assembly under conditions of contact interaction of the drill bit with the well bottom.

Object of study is the drill column bit during its whirling and nonholonomic rolling.

Purpose of the paper consists in enhancement of the drilling efficiency through simulation of the process of the nonholonomic rolling.

Methods of the study include analytical approaches, as well as algorithms of numerical integration of non-linear equations.

The results can be inculcated into the practice of theoretical and experimental analysis of deep drill string dynamics.

Prognosis of the development of the object of the study – it can be used for choice of optimal shapes of drilling bits.

KEYWORDS: DRILL STRING, DRILLING, BIT, NONHOLONOMIC CONSTRAINT

РЕФЕРАТ

Борщ Е.И., Шевчук Л. В. Неголономное качение эллипсоидального тела по шероховатой поверхности. / Елена Ивановна Борщ, Людмила Владимировна Шевчук // Весник НТУ – К.:НТУ – 2013. – Вып. 26.

В статье ставится задача об изгибных колебаниях низа бурильной колонны в условиях контактного взаимодействия долота с дном скважины.

Объектом исследования является долото бурильной колонны в процессе его верчения, а также прямого и обратного неголономного качения.

Цель работы заключается в повышении эффективности функционирования колонн глубокого бурения путем моделирования процесса неголономного качения долота по дну скважины.

Методы исследования включают аналитические подходы, используемые в динамике неголономных систем, а также алгоритмы численного интегрирования нелинейных уравнений.

Результаты статьи могут быть внедрены в практике теоретического и экспериментального исследования динамики колонн глубокого бурения в нефтяных и газовых скважинах.

Прогнозные предположения относительно развития объекта исследования – поиск оптимальной геометрической формы долота, исключающей возможность самовозбуждения колебаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА, БУРЕНИЕ, ДОЛОТО, НЕГОЛОНОМНАЯ СВЯЗЬ.

УДК 539.3

ЕКРАНУВАННЯ РОЗРИВНИХ ХВИЛЬ ШАРОМ ЗНИЖЕНОЇ ЩІЛЬНОСТІ

Ващіліна О.В., кандидат фізико-математичних наук

Заєць Ю.О.

Постановка проблеми.

В період стрімкого розвитку використання високошвидкісних поїздів особливо актуально постає питання захисту об'єктів від динамічного впливу на них хвиль деформацій, ініційованих сучасним транспортом. Також гостро постають проблеми захисту об'єктів, які піддаються сейсмічному впливу ударних хвиль під час різноманітних вибухів, землетрусів, а також в результаті різних технологічних процесів. Головна проблема полягає в тому, що рухоме поле деформацій та напружень спричинене високошвидкісними залізничними потягами та вибухами в оточуючому ґрунтовому середовищі, призводить до швидкоплинних знакозмінних процесів деформацій з високими градієнтами. Особливу небезпеку для оточуючих споруд становлять такі поля у місцях зустрічного руху двох поїздів, коли внаслідок їх накладання градієнти деформацій різко зростають, збурені ними хвилі можуть фокусуватися, а коливання резонувати. Оскільки в майбутньому високошвидкісні поїзди набуватимуть все більшого поширення, а їх швидкості збільшуватимуться, особливої актуальності набувають проблеми захисту оточуючих об'єктів від динамічного впливу на них хвиль деформацій шляхом їх відбиття. В даній роботі поставлена задача про поширення хвиль деформацій в пружних середовищах і розробки засобів їх екранування. Для розв'язку поставленої задачі зручно застосовувати нульове наближення променевого методу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботах [2, 3, 4] вивчені окремі питання аналізу процесів поширення ударних хвиль на різних площинах розділу пружних середовищ. Розглянуті роботи використовують основну особливість променевого методу – можливість простежувати динамічний процес не на всій