

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИХОПЛЕНІЙ КОЛОНІ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ПІД ЧАС ЇЇ ВИВІЛЬНЕННЯ ІМПУЛЬСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Люблінський технологічний університет, Польща

Анотація. Розглядається математична модель динамічних процесів у колоні бурильних труб під час її вивільненні від прихоплення у свердловині шляхом прикладання імпульсного навантаження. Хвильові процеси, які формуються в колоні труб, розглядаються у взаємодії колони з буровим розчином та стінками свердловини; бурильна колона моделюється рівнями позовжніх коливань пружного стрижня; буровий розчин розглядається як неньютонівська рідина Бінгама; взаємодія колони з буровим розчином та стінками свердловини моделюється законами в'язкого та сухого тертя з урахуванням зміни розподілу сил тертя по довжині стрижня та в часі.

Досліджується вплив параметрів тертя, характеристик бурового розчину, явищ відбиття і накладання хвиль деформацій на процеси динамічної взаємодії та зусилля у колоні бурильних труб.

Ключові слова: бурильна колона, прихоплення колони бурильних труб, пружний стрижень, хвилі позовжніх деформацій, імпульсне навантаження, в'язко-пластичний буровий розчин, в'язке та сухе тертя.

Дослідження динамічних явищ, що виникають під час буріння глибоких свердловин, становлять значний інтерес як з точки зору прикладного застосування так і з огляду на розв'язання достатньо складних задач динаміки багатокомпонентних систем, якими є бурові установки. Зокрема, у роботах [1–5] на основі уточнених моделей розглянуто динамічні процеси в механічних системах бурових установок, які включають взаємодію таких елементів як буровий інструмент, бурильна колона, свердловина, трансмісія, привід, підймальна система, конструкція бурової вежі та ін.

Сама можливість буріння глибоких свердловин і забезпечення його високих техніко-економічних показників істотно залежать від успішності подолання різноманітних ускладнень і аварійних ситуацій, що виникають безпосередньо у процесі буріння і є важко прогнозованими. Найпоширенішим і, водночас, найбільш трудомістким ускладненням є прихоплення колони бурильних труб, під яким розуміють повну втрату рухомості усієї колони бурильних труб або її певної ділянки, незважаючи на технологічні дії для приведення їх в рух. У найгіршому випадку неможливість ліквідації прихоплення призводить до повної втрати свердловини.

Один із методів усунення прихоплення полягає у прикладанні до бурильної колони ударного (імпульсного) навантаження, яке створюється спеціальним пристроєм надземного чи заглибленого розташування.

У доповіді розглядається нелінійна континуально-дискретна математична модель динамічних процесів у прихопленій колоні бурильних труб, які виникають під час вивільнення колони шляхом прикладання до її верхнього кінця ударного навантаження.

Бурильна колона моделюється пружним стрижнем, рух якого описується відповідним рівнянням позовжніх коливань з урахуванням змінних по довжині та у часі сил тертя. Зв'язаний з колоною буровий інструмент і розташований на ній імпульсно-хвильовий пристрій моделюються зосередженими масами.

Приймається що у початковий момент часу колона перебуває у стані статичної рівноваги під дією розподілених по довжині сил власної ваги, виштовхувальних сил та сил тертя об буровий розчин й об стінку свердловини, зосереджених сил ваги бурового інструменту, ударного

пристрою та реакції опорного вузла. Інтенсивність сил власної ваги і виштовхувальних сил, що діють на колону, визначається з урахуванням кута нахилу осі колони до вертикалі.

Під час ліквідації прихоплення імпульсно-хвильовий пристрій генерує короткі (імпульсні) навантаження у поздовжньому напрямку колони. Внаслідок цього у колоні виникають хвилі поздовжніх деформацій, пряма і відбиті від кінців хвилі поздовжніх деформацій взаємодіють між собою і можуть спричиняти явища інтерференції. Внаслідок взаємодії труби колони із буровим розчином та стінкою свердловини виникають сили тертя, змінні по довжині колони і в часі.

За реологічними властивостями буровий розчин є неньютонівською в'язко-пластичною рідиною (із нелінійною залежністю в'язкості від швидкості деформацій зсуву). Приймається, що поведінка бурового розчину описується в'язко-пластичною моделлю Бінгама [6]. Сили в'язкого тертя моделюються за законом Кельвіна-Фойгта, сили сухого тертя – згідно з законом Кулона із обмеженням максимальної інтенсивності сили тертя колони об буровий розчин.

Під час розв'язання крайової задачі рівняння динамічної рівноваги дискретизуємо за просторовою координатою, внаслідок чого ця задача зводиться до нелінійної системи звичайних диференціальних рівнянь. До отриманої системи звичайних диференціальних рівнянь застосовується чисельне інтегрування по часовій змінній із початковими умовами щодо заданих переміщень (знайдених із умов статичної рівноваги системи у стані спокою) та нульових початкових швидкостей поперечних перерізів колони.

Досліджується вплив характеристик бурового розчину, параметрів сухого тертя колони об стінку свердловини, ефектів відбиття хвиль від кінців колони бурильних труб та інших чинників на коливальні процеси, напруження в бурильних трубах, а також взаємодію елементів системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tucker R. W., Wang C. An integrated model for drill-string dynamics. Journal of Sound and Vibration, 224 (1), (1999), pp. 123–165.
2. Kharchenko Ye., Hutyi A., Haiduk V. The influence of friction forces on longitudinal waves propagation in a drill string under release of a stuck borehole, Tribologia, 2018, Volume 282, Nr 6, pp. 79-87.
3. Zamanian M., Khadem S. E., Ghazavi M. R. Stick-slip oscillations of drag bits by considering damping of drilling mud and active damping system. Journal of Petroleum Science and Engineering, 59 (3–4), (2007), pp. 289–299.
4. Savula S., Kharchenko Y. Tłumienie drgań kolumny rur pompowo-sprężarkowych w odwiercie podziemnego zbiornika gazu. Wiertnictwo Nafta Gaz, 23(1), Kraków: AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2006, S. 377–384.
5. Wada Ryota, Kaneko Tatsuya, Ozaki Masahiko, Inoue Tomoya, Senga Hidetaka. Longitudinal natural vibration of ultra-long drill string during offshore drilling. Ocean Engineering, 156, (2018), pp 1–13.
6. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. McGraw-Hill, NY, 1922, 440p.

Харченко Євген Валентинович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Бутринський Дмитро Ігорович, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: dmytro.butrynskyi@gmail.com.

Комада Павел, доктор наук, професор, професор факультету електротехніки та комп'ютерних наук Люблінського технологічного університету, Люблін, p.komada@pollub.pl

MODELLING OF DYNAMIC PROCESSES DURING IMPACT-IMPULSE RELEASE OF A DRILL PIPE STRING FROM STICKING IN THE WELL

Abstract. *The model and phenomena of the dynamic processes in a drill string when it is released from the borehole sticking by applying the force impact impulse are considered. The wave processes in the drill string are considered in interaction with the drilling mud and borehole walls; the drill string is modeled by the equations of longitudinal oscillations of the elastic rod; the drilling mud is considered as a non-Newtonian Bingham fluid; the interaction with the drilling mud flow and the borehole walls is modelled by the forces of viscous and dry friction along the length of the rod. A system of nonlinear differential equations is solved numerically on the basis with the discretization one spatial coordinate and in time.*

The influence of friction parameters, characteristics of drilling mud, phenomena of reflection and superposition of strain waves on dynamic processes and forces in a drill pipe string is studied.

Keywords: *drill string sticking, elastic rod, longitudinal deformation waves, impact force, drilling mud, dry and viscous friction.*

Kharchenko Yevhen, Doctor of Technical Sciences, Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: yevhen.v.kharchenko@lpnu.ua;

Dmytro Butrynskyy, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: dmytro.butrynskyy@gmail.com.

Paweł Komada, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology, Lublin, p.komada@pollub.pl