

ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ З ПОТОКОМ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Розглядається математична модель динамічних явищ взаємодії колони бурильних труб з потоком промивальної рідини (бурового розчину). Бурильна колона моделюється прямим стрижнем, рух якого описується хвильовим рівнянням, пульсуючий потік бурового розчину описується рівнянням руху неньютонівської рідини. Внутрішньою поверхнею колона взаємодіє з рідиною силами тертя. Систему нелінійних диференціальних рівнянь з частинними похідними розв'язуємо методом скінченних різниць. Для цього виконуємо дискретизацією диференціальних рівнянь і граничних умов за часом та за просторовою координатою із застосуванням явного методу другого порядку.

На розрахункових прикладах ілюструється вплив пульсації потоку промивальної рідини на поздовжні коливання бурильної колони та даються практичні рекомендації щодо уникнення резонансних явищ в колоні під час поглиблення свердловини.

Ключові слова: бурильна колона, пружний стрижень, потік промивальної рідини, взаємодія потоку рідини з пружним тілом, метод скінченних різниць.

Дослідження динамічних явищ, які виникають під час буріння свердловин, становлять значний інтерес як з точки зору прикладного застосування так і з огляду розв'язання достатньо складних задач динаміки багатокомпонентних систем, якими є бурові установки. Зокрема, у роботах [1-4] на основі уточнених моделей розглянуто динамічні явища, які включають взаємодію таких елементів як буровий інструмент, бурова колона, свердловина, трансмісія, привід, підймальна система, конструкція бурової вежі тощо.

Буріння глибоких свердловин технологічно здійснюється із застосуванням бурового розчину, який виносить на поверхню розбурену породу, а також виконує інші важливі функції. Буровий розчин під тиском нагнітається в бурову колону, всередині якої рухається вниз, і, досягаючи бурового інструменту, закріпленого на нижньому кінці колони, піднімається разом з частинками подрібненої породи по простору між буровою та обсадною колонами на поверхню. За реологічними властивостями буровий розчин є в'язко-пластичною (із нелінійною залежністю в'язкості від швидкості деформацій зсуву) неньютонівською рідиною. Найбільш популярними реологічними моделями, які застосовуються для опису бурових розчинів є: степеневий закон псевдо пластичної рідини Оствальда-де-Валя, пластична модель Бінгама [5], моделі Гершеля-Балклі та Робертсона-Стіфа.

Питання динаміки та чисельних методів розрахунку неусталеного потоку рідини розглянуто, зокрема, у роботах [6-9]. До важливих задач, що знаходять широке застосування, слід віднести дослідження взаємодії пульсуючого потоку рідини з деформівним пружним тілом [3]. Зв'язані задачі такого типу, в силу істотних труднощів знаходження розв'язків системи нелінійних диференціальних рівнянь, розв'язують чисельно із застосуванням методу сіток, методу скінченних об'ємів, методу скінченних елементів та інших методів. Огляд задач та числових методів динаміки взаємодії потоку рідини з пружним тілом у різних постановках розглянуто у роботах [10, 11]. Численні дослідження показують, що за певних параметрів механічної системи і параметрів руху рідини проявляється істотний взаємовплив поведінки рідини й динамічних явищ у деформівному твердому тілі.

У даній доповіді розглядається математична модель динамічних явищ взаємодії колони бурильних труб з потоком промивальної рідини. Бурильна колона моделюється прямим стрижнем, рух якого описується хвильовим рівнянням, пульсуючий потік бурового розчину описується рівняннями руху неньютонівської рідини. Внутрішньою поверхнею колона взаємодіє з рідиною силами тертя. Нелінійну систему диференціальних рівнянь з частинними

похідними, яка дає можливість досліджувати нестационарні процеси та хвильові явища у механічній системі, розв'язуємо методом скінченних різниць. Для цього дискретизуємо диференціальні рівняння і граничні умови за часом та за просторовою координатою.

Для отримання розв'язків задачі застосовуємо явний метод Мак-Кормака другого порядку [12]. На розрахункових прикладах ілюструється вплив пульсацій потоку промивальної рідини на поздовжні коливання бурильної колони та даються практичні рекомендації щодо уникнення резонансних явищ у колоні під час поглиблення свердловини.

Числові експерименти показують, що запропонований підхід дає можливість ефективно досліджувати динамічну взаємодію потоку промивальної рідини і колони бурильних труб, перехідні процеси та хвильові явища у механічній системі.

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. Моделирование нештатных ситуаций при бурении глубоких скважин: монография / [В. И. Гуляев, С. Н. Глазун, О. В. Глушакова и др.]—Киев: Издательство «Юстон». – 2017. – 544 с.
3. Харченко Е.В. Динамические процессы буровых установок. Львів, Світ, - 1991. – 175 с.
4. 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.
5. Bingham E.C. *Fluidity and plasticity*. McGraw-Hill, NY, 1922, 440p.
6. Огибалов П. М., Мирзаджанзаде А. Х. Нестационарные движения вязкопластичных сред - М., МГУ, 1977. – 372с.
7. Чарний И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах.- Недра, - 1975. – 296 с.
8. MacCormack R. W. *Numerical Computation of Compressible and Viscous Flow*. AIAA, 2014, 521 p.
9. *Fluent 12.0. Theory Guide, Vol. 5*, Ansys Inc., USA, 2009
10. Ferras D., Manso P.A., Anton J., Schleiss A.J., Covas D.I. One-Dimensional Fluid–Structure Interaction Models in Pressurized Fluid-Filled Pipes: A Review. *MDPI, Applied Sciences, Acoustics and Vibrations* 8(10):1844, 2018
11. Hou G., Wang J., Layton A. Numerical methods for fluid structure interaction: a review. *Communications in Computational Physics*, vol. 12, no. 2, pp. 337–377, 2012.
12. MacCormack R. W. The Effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering. *Frontiers of Computational Fluid Dynamics*, 2002, pp.27-43.

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 Ігоревич, аспірант, Інститут механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: dmytro.butrynskyv@gmail.com;

Бутринський Ігор Зіновійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра «Опір матеріалів та будівельна механіка», Національний університет «Львівська політехніка», Львів, e-mail: ihor11@ukr.net.

DYNAMIC INTERACTION OF THE DRILL STRING AND THE DRILLING FLUID FLOW

Abstract. *The model and phenomena of the interaction of the drill string pipe with the flow of the drilling fluid are considered. The drill string is modeled by the equations of longitudinal oscillations of the elastic rod, the drilling fluid by the equations of motion of a non-Newtonian fluid. The surface of the rod interacts with the fluid through frictional forces. A system of coupled nonlinear differential equations of the hyperbolic type was formulated, which describe the longitudinal oscillations of the rod-fluid flow system taking into account their interaction and wave phenomena. The system of coupled equations is solved numerically on the basis of the finite difference method with the discretization in time and one spatial coordinate and the application of the explicit second order method.*

Keywords: *drill string, elastic rod, drilling fluid flow, fluid-structure interaction, finite difference*

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 Butrynskyv, postgraduate, Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: dmytro.butrynskyv@gmail.com;

Ihor Butrynskyi, Ph.D., Associate Professor, Strength of Materials and Structural Mechanics Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, e-mail: ihor11@ukr.net.