

7. Орлов Р.А. Опыт использования микросейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. Геология. — 2011. — № 1. — С. 184–192.
8. Романов В.В., Мальский К.С. Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень — 2015. — № 6. — С. 74–78.
9. Романов В.В., Мальский К.С., Боровой Е.А. Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7. — С. 77–81.
10. Романов В.В. Интерпретация сейсмической томографии на примере изучения геологического строения оползневого склона // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 3. — С. 34–37.
11. Романов В.В. Из опыта комплексного применения сейсморазведки и георадиолокации при инженерно-геологических изысканиях на территории Москвы // Инженерные изыскания. — 2015. — № 5–6. — С. 44–49.
12. Романов В.В., Гапонов Д.А. Применение инженерной сейсморазведки при изучении грунтовых вод в глинистых грунтах // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. — 2014. — № 6 (184). — С. 52–59.
13. Соловьев Н.В. Состояние и перспективы развития техники и технологии бурения геологоразведочных скважин // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 7. — С. 41–48.
14. Соловьев Н.В., Осецкий А.И. Состояние и пути повышения эффективности применения геологоразведочной техники при изучении твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 5. — С. 75–81.

© Соловьев Н.В., Романов В.В., Мальский К.С., 2016

Соловьев Николай Владимирович // nvs@mgi-rggru.ru

Романов Виктор Валерьевич // roman_off@mail.ru

Мальский Кирилл Сергеевич // sabbat@mail.ru

УДК 622.2

Букреев С.В. (МГРИ-РГГРУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ В КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ И СИМУЛЯЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Решается задача разработки компьютерной симуляционной модели бурильной колонны, вращающейся в среде с сопротивлением, пропорциональным первой степени скорости движения колонны, в программном комплексе *MATLAB (Simulink)*, используя метод электромеханических аналогий. **Ключевые слова:** бурение, бурильная колонна, симуляционное моделирование, крутильные автоколебания.

Bukreev S.V. (MGRI-RGGRU)

RESEARCH OF TORSIONAL SELF-OSCILLATIONS IN A COLUMN OF BORING PIPES BY METHODS OF ELECTROMECHANICAL ANALOGIES AND SIMULATION MODELING

Solves the problem of the development of a computer simulation model of the drill string rotating in an environment with resistance proportional to the velocity of movement of the column, in the software package *MATLAB (Simulink)* using the method of electromechanical analogies. **Key words:** drilling, the drill string, simulation modeling, torsional oscillations.

В процессе бурения скважины колонна бурильных труб (КБТ), оснащенная породоразрушающим инструментом (ПРИ), подвергается воздействию ряда сило-

вых факторов, которые уменьшают подводимую механическую мощность от станка к ПРИ, тем самым снижая механическую скорость бурения и увеличивая время и материальные затраты на строительство скважин [1, 4]. Чтобы избежать данных явлений необходимо создание и внедрение автоматизированных комплексов контроля и управления процессом бурения [1]. Поскольку объектом регулирования является КБТ, представляющая собой сложную систему с распределенными по длине параметрами, при разработке таких комплексов требуется точная математическая модель. Для ее создания предлагается использовать программный комплекс *MATLAB (Simulink)* и метод электромеханических аналогий, позволяющих применять средства расчета и анализа электрических колебательных контуров при изучении кинематических и динамических свойств механических систем, поскольку дифференциальные уравнения, описывающие состояние этих систем сходны.

КБТ представляет собой механическую систему с распределенными по длине параметрами: массой, упругостью и потерями, характеристики которой зависят не только от времени, но также являются функциями ее длины и граничных условий. Механическая модель КБТ, показанная на рис. 1, эквивалентна длинному прямолинейному полуму стержню, вращающемуся с постоянной угловой скоростью, испытывающему постоянное сопротивление со стороны условного забоя и нагруженного осевой силой [1, 4].

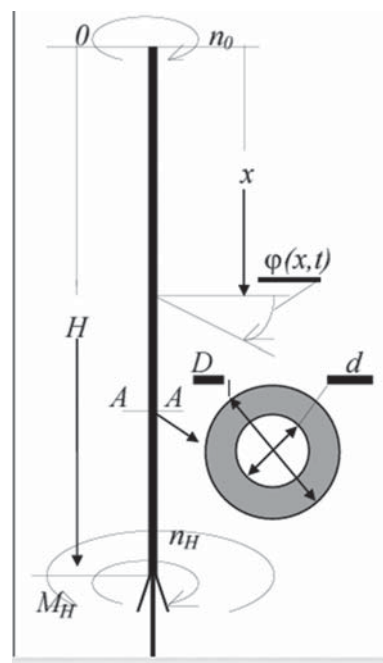


Рис. 1. Механическая модель КБТ: А — площадь поперечного сечения бурильной колонны; $\varphi(x)$ — угол поворота текущего поперечного сечения колонны с координатой x ; J_p — полярный момент инерции поперечного сечения колонны (круговое сечение с внешним диаметром D и внутренним диаметром d); G — модуль сдвига материала колонны, n — скорость вращения колонны ($n = \text{const}$); $M_H(P, n)$ — момент сопротивления вращению долота со стороны забоя; P — осевая нагрузка на долото; H — текущая глубина скважины (длина бурильной колонны)

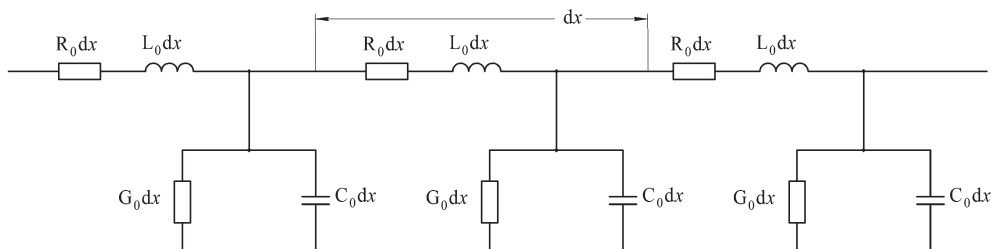


Рис. 2. Электрическая модель КБТ

При этом, дифференциальное уравнение вращательного движения для механической модели КБТ имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - 2h \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (1)$$

где φ — угол закручивания произвольного сечения колонны; $a^2 = 3200$ м/с — скорость распространения крутильных колебаний в стали; h — коэффициент сопротивления.

С помощью метода электромеханических аналогий была составлена электрическая модель КБТ в виде однородной электрической линии с распределенными по длине параметрами: емкостями, индуктивностями и сопротивлениями, соответствующими упругостям, инерционностям и потерям в реальной колонне, составленной из бесконечно большого числа отдельных звеньев [1]. Электрическая модель КБТ представлена на рис. 2.

При этом дифференциальное уравнение для электрической модели КБТ имеет вид:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial t^2} = \frac{1}{L_0 C_0} \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} - \frac{R_0}{L_0} \frac{\partial I}{\partial t}, \quad (2)$$

где I — ток, А; L_0 — индуктивность элементарного участка dx , Гн; C_0 — емкость элементарного участка dx , Ф; R_0 — сопротивление элементарного участка dx , Ом.

Очевидно, что уравнение (2) подобно дифференциальному уравнению вращательного движения для ме-

ханической модели КБТ, что указывает на возможность использование метода электромеханических аналогий для изучения переходных процессов в КБТ.

Чтобы убедиться в правоте вышесказанного, была разработана симуляционная модель КБТ в программном комплексе *MATLAB(Simulink)*

(рис. 3), которая состояла:

из источника напряжения, моделирующего работу источника механической энергии, т.е. бурового станка;

из пяти элементарных участков, включающих в себя сопротивления, индуктивности и емкости, моделирующие диссипативные потери, инерционность и упругость реальной КБТ соответственно;

сопротивлений и управляющего ключа, имитирующих взаимодействие ПРИ с разрушаемой породой;

показывающих и регистрирующих блоков.

В качестве прототипа для моделирования используется однородная бурильная колонна (трубы СБТМ-50) длиной 50 м и трехшарошечным долотом диаметром 93 мм в качестве ПРИ. Исследуемая КБТ была разбита на 5 участков длиной 10 м.

При моделировании параметры КБТ определялись по формулам, представленным в работе [2].

Приведенный диаметр колонны бурильных труб:

$$D_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot m_0}{\pi \cdot \gamma} + d^2}, \quad (3)$$

где m — приведенная масса 1 м бурильной колонны, кг/м; γ — удельная плотность материала колонны, кг/м³; d — внутренний диаметр колонны, м.

Площадь поперечного сечения колонны:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{np}^2 - d^2). \quad (4)$$

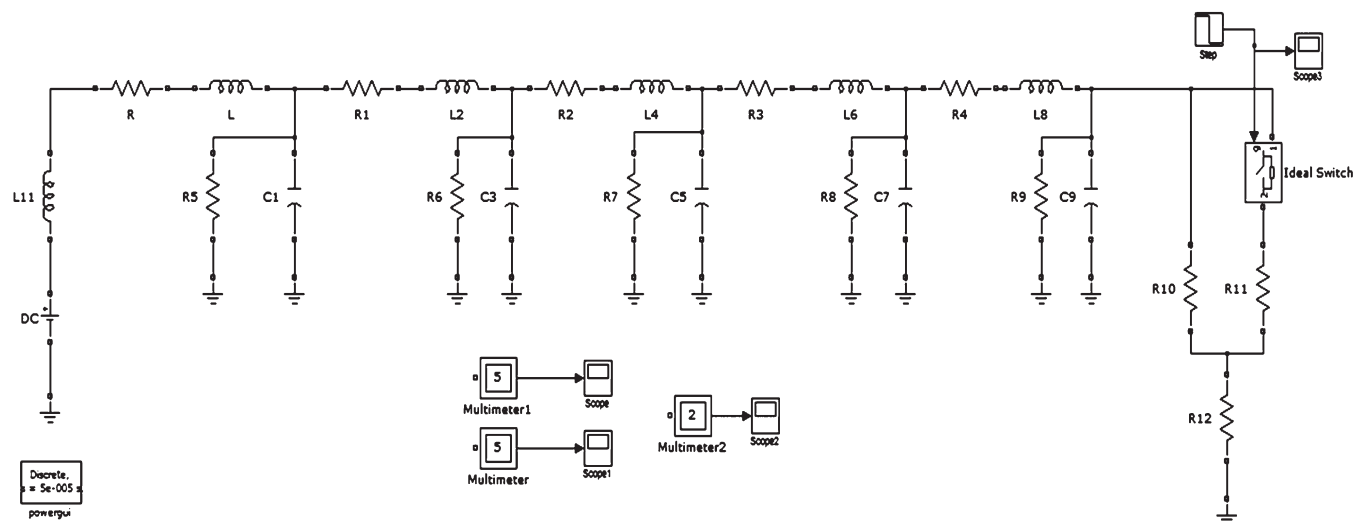


Рис. 3. Симуляционная модель КБТ в ПК *MATLAB(Simulink)*

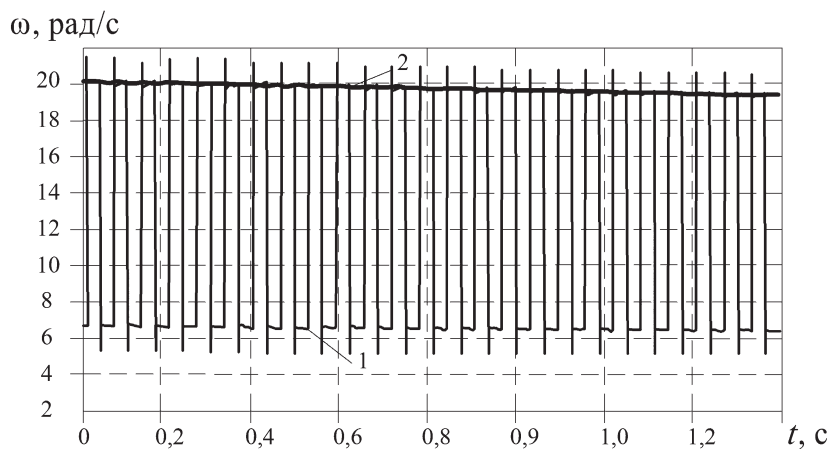


Рис. 4. Экспериментальные зависимости угловых скоростей верхнего (кривая 2) и нижнего (кривая 1) сечений КБТ, работающей в режиме крутильных автоколебаний

Полярный момент инерции поперечного сечения колонны:

$$J_p = \frac{\pi}{32} \cdot (D_{пр}^4 - d^4). \quad (5)$$

Полярный момент инерции 1 м колонны:

$$J_{p0} = \gamma \cdot J_p. \quad (6)$$

Жесткость 1 м колонны:

$$C_0 = G \cdot J_p. \quad (7)$$

В результате проведения эксперимента с данной симуляционной моделью удалось получить качественные и количественные зависимости крутящих моментов, угловых скоростей и перемещений от времени в каждом из пяти участков исследуемой КБТ.

На рис. 4 даны зависимости угловых скоростей верхнего (кривая 2) и нижнего (кривая 1) сечений КБТ, работающей в режиме крутильных автоколебаний.

Графики показывают, что угловая скорость нижнего сечения колонны в течение первой половины периода

равна 20 рад/с, а в течение другой половины периода — 7 рад/с. Данные зависимости не противоречат аналогичным, представленным в работе [4]. Полученные экспериментальные сведения позволяют оценить потери подводимой к ПРИ мощности. Для этого воспользуемся формулой, приведенной в работе [4]:

$$\eta = \frac{362,5}{7,25 + \omega_0}, \quad (8)$$

где ω_0 — угловая скорость вращения ПРИ в установившемся режиме бурения, рад/с.

Результаты расчета показывают, что потери мощности от станка к ПРИ составляют значительную величину — 13,3 %.

Вывод.

Комплексное использование метода электромеханической аналогии и симуляционного моделирования позволяет каче-

ственно и количественно изучать установившиеся и переходные режимы работы колонны бурильных труб, что в дальнейшем позволит разработать рекомендации по снижению непроизводительных затрат энергии на проходку скважины, и, в конечном счете, уменьшит стоимость и затраты времени на проведение всего комплекса геологоразведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев М.И. Методы энергосберегающей эксплуатации асинхронного электропривода геологоразведочных буровых установок. — М.: МГГА, 2000. — 132с.
2. Оливетский И.Н. Снижение энергозатрат и повышение качества переходных процессов в колонне бурильных труб при геологоразведочном бурении: дис. канд. тех. наук. — М.: ГГРУ, 2010.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. — М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. — 288 с.
4. Юнин Е.К. Введение в механику глубокого бурения: учеб. пособие. — Ухта: УГТУ, 2003. — 120 с.

© Букреев С.В., 2016

Букреев Сергей Витальевич // s.v.bukreev2805@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК: 002.53:004.65

Чесалов Л.Е.¹, Шпильман А.В.², Аракчеев Д.Б.³
(1 — Московский филиал ФГБУ «Росгеолфонд»
«ВНИИгеосистем», 2 — ООО «Сибгеопроект»,
3 — ФГБУ «Росгеолфонд»)

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТРАСЛИ

Предложены принципы развития информационного обеспечения отрасли и намечены организационные и методические мероприятия его совершенствования. **Ключевые слова:** информационное обеспечение, геологические фонды, электронный документооборот.

Chesalov L.E.¹, Spilman A.V.², Arakcheev D.B.³ (1 — Rosgeolfond, VNIIGeosystem, 2 — Sibgeoproekt, 3 — Rosgeolfond)

ON THE STATE AND PROSPECTS OF THE INFORMATION SOFTWARE INDUSTRY

*The principles of information support of the geological sector are proposed and the organizational and methodological measures for its improvement are outlined in the article. **Key words:** information support, geological funds, electronic document management.*

Актуальность применения современных информационных технологий обусловлена усложнением задач геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы (МСБ), необходимостью оперативного обеспечения достоверной информацией и