

В Израиле опытные коронки АО «Тульское НИГП» использовались при бурении инженерно-исследовательских скважин в очень разнообразных горно-геологических условиях, учесть которые при изготовлении было практически невозможно. Тем не менее, и для таких условий был создан инструмент, который значительно превосшел коронки постоянно работающей там фирмы Борт-Лонгир.

Алмазные и твердосплавные коронки конструкции АО «Тульское НИГП» для одинарных снарядов и для бурения комплексами КГК применялись при бурении производственных скважин в ОАО «Тула Недр» и в ООО «Тульская геологоразведочная партия». При этом получены прирост производительности бурения на 20–23 % и снижение стоимости одного метра бурения на 15–18 % по сравнению с применением базы сравнения — стандартного отечественного алмазного и твердосплавного инструмента.

При создании алмазного породоразрушающего инструмента и технологии его изготовления использовались технические решения более 150 авторских свидетельств и патентов, разработанных в АО «Тульское НИГП». Коронки алмазные буровые на IV международном салоне инноваций и инвестиций в г. Москва удостоены серебряной медали.

Со всеми организациями, где проводились опытные испытания нового инструмента, и со многими другими заключены долговременные договора на поставку инструмента, предусматривающие также поставку инструмента из рекуперированных алмазов по сниженным ценам за счет исключения стоимости алмазов как давальческого сырья.

С наиболее крупными заказчиками алмазного инструмента заключены договора о научно-техническом сотрудничестве в области совершенствования алмазного породоразрушающего инструмента. Это позволяет разрабатывать и поставлять инструмент, наиболее эффективно работающий в конкретных горно-геологических условиях на объектах заказчиков. Полученные новые результаты используются совместно путем написания статей и создания изобретений в соавторстве.

При разовых поставках в малоизвестный геологический район работ специалисты АО «Тульское НИГП», имеющие большой производственный опыт бурения скважин, дают рекомендации заказчикам по выбору наиболее эффективного инструмента. При следующих поставках эти рекомендации уточняются с учетом конкретных геолого-технических условий бурения путем регулярного обмена информацией. В АО «Тульское НИГП» организовано серийное производство алмазного и твердосплавного породоразрушающего инструмента для геологоразведочного бурения скважин диаметром 36–151 мм и более. Может также изготавливаться породоразрушающий инструмент по чертежам и эскизам заказчика.

Выводы:

1. Производственные испытания алмазных коронок АО «Тульское НИГП», изготовленных по новым технологиям, показали, что они по эффективности зна-

чительно превосходят инструмент других отечественных производителей, а также инструмент известных зарубежных фирм.

2. Целесообразно заключать договора о научно-техническом сотрудничестве в области совершенствования алмазного породоразрушающего инструмента с наиболее крупными заказчиками, что позволяет разрабатывать и поставлять инструмент, наиболее эффективно работающий в конкретно горно-геологических условиях на объектах заказчика.

3. Необходимо при разовых поставках в малоизвестный геологический район работ выдавать заказчику рекомендации по выбору наиболее эффективного инструмента, которые уточняются с учетом конкретных геолого-технических условий бурения при последующих поставках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власюк, В.И. Технические средства и технологии для повышения качества бурения скважин / В.И. Власюк, Ю.Е. Будюков, В.И. Спирин. — Тула: Гриф и К, 2013. — 176 с.
2. Кубасов, В.В. Повышение эффективности бурения разведочных скважин путем применения коронок с модернизированной алмазосодержащей матрицей / Новые идеи в науках о земле: XII Междунар. конф. МГРИ-РГГРУ / В.В. Кубасов, В.И. Спирин, Ю.Е. Будюков — М., 2015.

© Коллектив авторов, 2019

Спирин Василий Иванович // nigptula@mail.ru
Власюк Виктор Иванович // nigptula@mail.ru
Будюков Юрий Евдокимович // nigptula@mail.ru
Соловьёв Николай Владимирович // drill@msgpa.ru

УДК (696.6+628.9 622.143) (075.8)

Оливетский И.Н., Башкуров А.Ю. (МГРИ-РГГРУ)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОЛОННЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

*Предложен способ повышения эффективности геологоразведочных работ за счет разработанной математической модели колонны бурильных труб. Целью работы является разработка модели колонны бурильных труб для исследования переходных процессов при бурении геологоразведочных скважин. **Ключевые слова:** модель бурильной колонны, переходные процессы.*

Olivetskiy I.N., Bashkurov A.Yu. (MGRI-RGGRU)

DEVELOPMENT OF A DRILL PIPE COLUMN MODEL FOR THE STUDY OF TRANSIENTS IN THE DRILLING OF EXPLORATION WELLS

*The proposed method of increasing the effectiveness of exploration works, at the expense of the developed mathematical model of the column of drill pipes. The aim of the work is to develop a model of drill pipe columns for the study of transients in drilling exploration wells. **Keywords:** drill string model, transients.*

В отличие от традиционно рассматриваемых в теории и практике автоматизированного электропривода (ЭП) механических систем буровая колонна относится к классу механизмов с распределенными параметрами. Действительно, согласно справочным данным [1] скорость распространения поперечных волн в колонне буровых труб (КБТ) составляет 3300 м/с, следовательно, при глубине скважины более 1000 м время прохождения возмущающего воздействия от забоя до устья скважины составит более 0,3 с. Данное время вполне сопоставимо со временем переходных процессов в самом ЭП бурового станка, а в ряде случаев и значительно превышает последнее. Приведенный пример убеждает, что в данном случае механическая передача между вращателем и КБТ ни в коем случае не может быть заменена эквивалентными сосредоточенными упругостью и моментом инерции, так как такое представление КБТ в корне противоречит характеру действительных физических процессов.

При математическом описании КБТ вводится ряд допущений [2, 3]. Во-первых, колонна рассматривается как однородный стержень круглого сечения, который характеризуется приведенными значениями диаметра, момента инерции, момента инерции сечения. Во-вторых, при вращении КБТ в скважине считается, что она заполнена раствором, и трение КБТ о стенки скважины подчиняется закону вязкого трения первого рода, т.е. момент трения пропорционален скорости вращения. В-третьих, параметры КБТ выполнены из труб одного диаметра, коэффициент трения не зависит от координаты точки КБТ, т.е. помимо строгой однородности эквивалентного стержня принимается, что он строго прямолинеен или скважина строго вертикальна.

Для математического описания КБТ рассмотрим ее элемент, находящийся на расстоянии x от устья скважины и имеющий длину dx (рис. 1) [4].

В сечении x на колонну действует вращающий момент $M(x,t)$, а ее скорость вращения равна $\omega(x,t)$, соответственно, в сечении $x+dx$ — момент $M(x+dx,t)$ и скорость $\omega(x+dx,t)$. (рис. 1).

На элементарный участок dx при вращении действуют следующие моменты:

— Трения:

$$dM_{TP}(x,t) = h_0(\omega) \cdot (x,t) dx, \quad (1)$$

где h_0 — коэффициент трения КБТ о стенки скважины;

— Инерции:

$$dM_J(x,t) = J_0 \cdot \frac{\partial \omega(x,t)}{\partial t} dx, \quad (2)$$

где J_0 — момент инерции одного метра эквивалентной однородной буровой трубы, кгм²;

— Вращающий, определяемый разностью момента на концах рассматриваемого участка:

$$dM(x,t) = M(x,t) - M(x+dx,t). \quad (3)$$

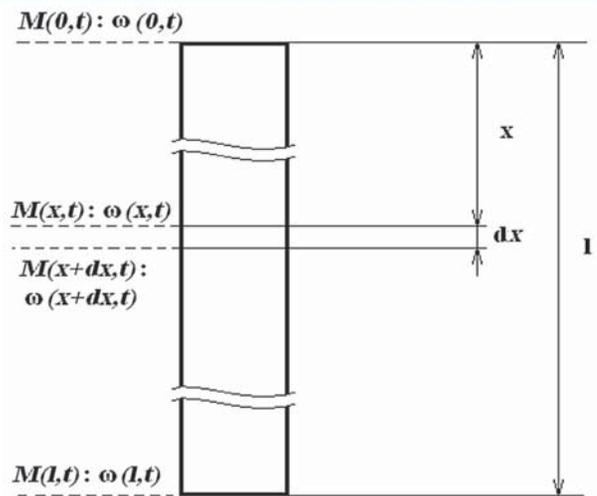


Рис. 1. Схема к расчету колонны буровых труб

Учитывая, что на интервале $x; x+dx$ функция $M(x,t)$ непрерывна, для $M(x+dx,t)$ можно воспользоваться формулой Тейлора:

$$M(x+dx,t) = M(x,t) + \frac{\partial M(x,t)}{\partial x} \cdot \frac{dx}{1!} + \frac{\partial^2 M(x,t)}{\partial x^2} \cdot \frac{(dx)^2}{2!} + \dots \quad (4)$$

В последнем выражении можно ограничиться лишь двумя первыми членами в виду второго и более высокого порядка малости всех последующих членов ряда, т.е.:

$$M(x+dx,t) = M(x,t) + \frac{\partial M(x,t)}{\partial x} \cdot dx.$$

Тогда:

$$dM(x,t) = \frac{\partial M(x,t)}{\partial x} \cdot dx. \quad (5)$$

В соответствии с принципом Даламбера для рассматриваемого участка может быть записано уравнение:

$$dM(x,t) - dM_{TP}(x,t) - dM_J(x,t) = 0. \quad (6)$$

Подставляя в последнее выражение (1), (2) и (3), найдем:

$$-\frac{\partial M(x,t)}{\partial x} - h_0 \omega(x,t) - J_0 \frac{\partial \omega(x,t)}{\partial t} = 0. \quad (7)$$

В последнее уравнение, помимо параметров h_0, J_0 и двух независимых переменных — координаты точки x и времени t входят две зависимые переменные величины — M и ω , связь между указанными переменными устанавливается в соответствии с законом Гука:

$$M(x,t) = -GJ_{II} \frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial x}, \quad (8)$$

где G — модуль сдвига; J_{II} — полярный момент инерции поперечного сечения эквивалентного стержня;

Значения коэффициентов вязкого трения

D, мм \ n, об/мин	n, об/мин								
	10	50	100	150	200	250	300	350	400
42	0.015	0.0035	0.0022	0.0017	0.0016	0.0015	0.00144	0.00143	0.00143
50	0.016	0.0039	0.0024	0.0019	0.0017	0.0016	0.00157	0.00156	0.00155
63,5	0.018	0.0043	0.0026	0.0021	0.0019	0.00176	0.0017	0.00168	0.00167
57	0.012	0.0027	0.0017	0.0013	0.0012	0.0011	0.00109	0.00108	0.00107

φ — угол закручивания поперечного сечения КБТ в точке по отношению к поперечному сечению в устье скважины; C_0 — жесткость одного метра эквивалентного стержня.

По определению

$$\omega(x, t) = \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t}, \quad (9)$$

где $\theta(x, t)$ — абсолютное значение угла поворота сечения в точке x .

С другой стороны,

$$\theta(x, t) = \theta(0, t) + \varphi(x, t). \quad (10)$$

Здесь $\theta(0, t)$ — абсолютное значение угла поворота сечения в устье скважины.

Полагая $\theta(0, t) = const$, найдем:

$$\omega(x, t) = \frac{\partial \varphi(x, t)}{\partial t}. \quad (11)$$

Дифференцирование (8) по t с учетом (11) дает:

$$-\frac{\partial M(x, t)}{\partial t} = C_0 \frac{\partial \omega(x, t)}{\partial x}. \quad (12)$$

Таким образом, КБТ описывается системой уравнений частных производных (7) и (12). Полученные уравнения КБТ в частных производных широко известны в теории дифференциальных уравнений математической физики под названием волновых или телеграфных уравнений.

Величины моментов инерции одного метра колонны — J_0 , жесткости одного метра — C_0 и коэффициента вязкого трения — h_0 , входящие в уравнение (7) и (12), имеют различные значения для разного диаметра труб, а коэффициент h_0 зависит еще и от скорости вращения КБТ.

Значения коэффициентов h_0 для различных значений скорости вращения КБТ сведены в таблицу.

В основу построения модели КБТ заложены дифференциальные уравнения, полученные выше.

Теория таких систем обладает большим арсеналом аналитических методов анализа их динамических характеристик. Они реализуются в инженерных расчетах для частных случаев, например, при исключении из исходных уравнений одного из важных параметров механической системы — коэффициента вязкого трения первого рода, т.е. при пренебрежении диссипаци-

ей энергии. Однако часто подобного рода допущения не только уменьшают точность расчетов, но иногда и искажают качественную картину исследуемого процесса. Так как граничными условиями для механизма с распределенными параметрами являются обыкновенные дифференциальные уравнения электропривода, то решение задачи еще более усложняется.

Для решения системы дифференциальных уравнений КБТ разбивается на отдельные участки, каждый из которых описывается обыкновенным дифференциальным уравнением, для решения которого на ЭВМ используется структурный метод моделирования.

Рассмотрим методику построения модели КБТ, для чего запишем уравнения КБТ, которые в общем случае описываются дифференциальными уравнениями в частных производных:

$$J_0 \frac{\partial \omega}{\partial t} = -h_0 \omega - \frac{\partial M}{\partial x} \quad (13)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -C_0 \frac{\partial \omega}{\partial x} \quad (14)$$

Разобьем КБТ на участки длиной Δx , это позволит перейти к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для каждого участка колонны:

$$J_0 \frac{\partial \omega}{\partial t} = -h_0 \omega - \frac{M_i - M_{i-1}}{\Delta x} \quad (15)$$

$$\frac{dM_{i-1,i}}{dt} = -\frac{C_0}{\Delta x} (\omega_i - \omega_{i-1}). \quad (16)$$

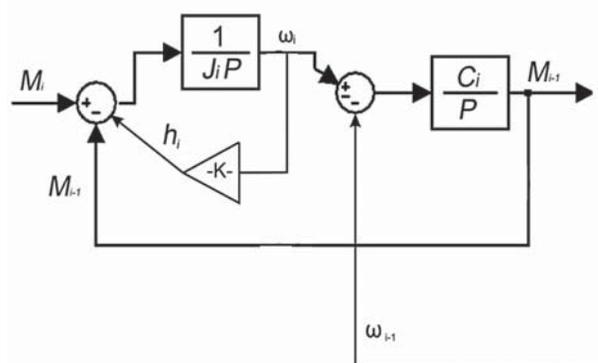


Рис. 2. Структурная схема участка колонны бурильных труб в виде динамических звеньев

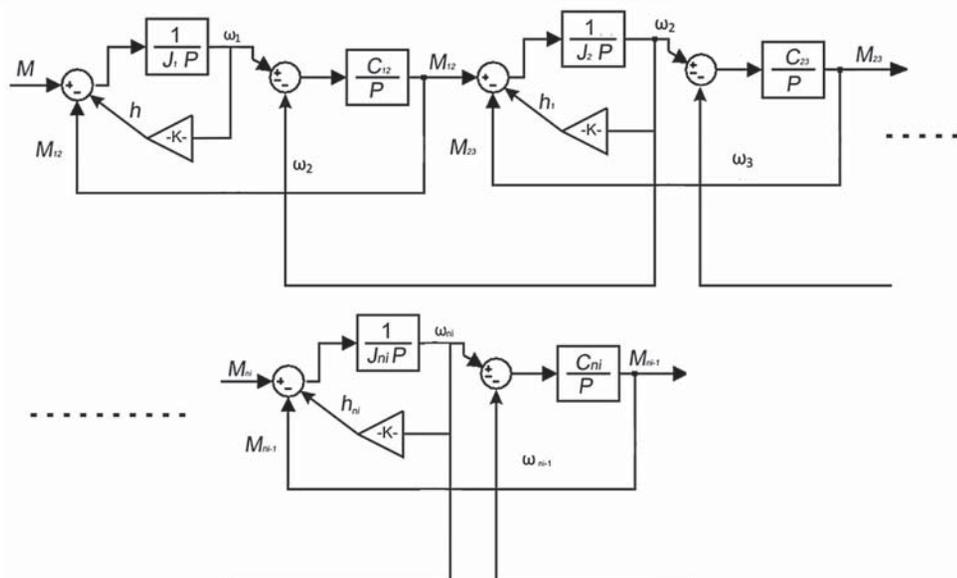


Рис. 3. Структурная схема колонны бурильных труб, состоящая из n участков

Запишем уравнение для i -го участка:

$$C_i = \frac{C_0}{\Delta x}, \quad (17)$$

где C_i — жесткость i -го участка КБТ.

$$J_i = J_0 \Delta, \quad (18)$$

где J_i — момент инерции i -го участка КБТ.

$$h_i = h_0 \Delta x, \quad (19)$$

где h_i — вязкое трение i -го участка КБТ.

Подставим полученные значения в уравнения (15), (16), получим:

$$J_i \frac{d\omega_i}{dt} = -h_i \omega_i - M_i + M_{i+1}; \quad (20)$$

$$\frac{dM_{i-1,i}}{dt} = -C_{i-1,i}(\omega_i - \omega_{i-1}). \quad (21)$$

Далее запишем уравнения (20) и (21) в операторном виде:

$$J_i P \omega_i = -h_i \omega_i - M_i + M_{i-1} \quad (22)$$

$$P M_{i-1} = C_i (\omega_i - \omega_{i-1}). \quad (23)$$

Полученные дифференциальные уравнения участка КБТ в виде динамических звеньев представлены на рис. 2. Отсюда видно, что каждый участок КБТ представляет собой структурную схему из двух интегральных звеньев (рис. 2).

Структурная схема КБТ, состоящая из нескольких участков показана на рис. 3.

Критерием количества участков является точность моделируемых процессов. Количество участков может быть определено с помощью разработанной модели, в которой моделируются переходные процессы в колонне при различном числе участков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гланц, А.А. Справочник механика геологоразведочных работ / А.А. Гланц, В.В. Алексеев. — М.: Недра, 1987.
2. Керимов, З.Г. Динамические расчеты бурильной колонны / З.Г. Керимов. — М.: Недра, 1970. — 152 с.
3. Мачабели, Г.Г. Исследование электроприводов роторного стола буровых установок для глубокого бурения / Г.Г. Мачабели. — М.: МЭИ, 1975. — 212 с.
4. Хачатурян, С.А. Динамика бурильных установок / С.А. Хачатурян, Г.П. Босняцкий. — М.: Машиностроение, 1992. — 398 с.

© Оливетский И.Н., Башкуров А.Ю., 2019

Оливетский Иван Николаевич // filimona2007@mail.ru
Башкуров Артем Юрьевич // Bashkurov_A@inbox.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 303.43:553.04+622.34(470)

Милетенко Н.В., Данилов А.П., Сарычева Е.С.
(Минприроды России), Александров О.В.,
Добролюбова Е.И. (ЦЭФК Групп)

ПРОГРАММНЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2035 ГОДА

В статье предложены новые подходы к формированию и реализации государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных

ресурсов» с учетом приоритетов развития минерально-сырьевой базы, определенных в Стратегии развития минерально-сырьевой базы России до 2035 года, а также использования проектных и процессных методов ее реализации. В качестве примера в статье подробно приведена структура и основное содержание ключевого проекта «Нефть», который рекомендуется включить в новую редакцию государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов». **Ключевые слова:** стратегия, программа, проект, минерально-сырьевая база, региональные геологоразведочные работы, углеводородное сырье, нефть, твердые полезные ископаемые.