

УДК. 622.324.0025

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

АЛИЕВ Я.А.

Азербайджанский НИИ Энергетики и Энергопроектирования

Рассматриваются вопросы создания численного метода для математического моделирования переходных процессов в электроприводе, включающем звено с распределенными параметрами.

Основным процессом при роторном бурении нефтяных скважин является работа долота по углублению её ствола.

Отличительная черта буровых электроприводов при роторном бурении - наличие бурильной колонны, через которую передается вращающий момент от электропривода роторного стола к рабочему органу - долоту, осуществляющему разбуривание породы.

Необходимо отметить, что поступления на вход системы электропривода информации о характере изменения нагрузки на долоте происходит с некоторым запаздыванием, вследствие того обстоятельства, что колонна бурильных труб, является объектом с распределенными параметрами.

В связи с этим, изучение вопроса динамики в электроприводе, включающем звено с распределенными параметрами, представляет несомненный научный и практический интерес [1,2,4,5].

В данной статье представлен численный метод расчета переходных процессов в буровом электроприводе с распределенными параметрами без учета потерь.

Сущность предложенного численного метода основывается на использовании дискретного аналога интегрального уравнения свертки [3]

Преимуществом предложенного подхода является то, что он позволяет найти переходные процессы в системе бурового электропривода с распределенными параметрами, без перехода в область дискретных изображений, осуществлять переход от лапласовых изображений искомым функций в область оригиналов, без нахождения корней характеристического уравнения, что значительно упрощает математические выкладки и расширяет круг решаемых практических задач.

Переходные процессы, протекающие в колонне бурильных труб при возникновении крутильных колебаний без учета потерь, описываются волновыми уравнениями [1]:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \omega}{\partial x} &= k_1 \frac{\partial M}{\partial t}, \\ -\frac{\partial M}{\partial x} &= k_2 \frac{\partial \omega}{\partial t}, \quad 0 \leq x \leq l \end{aligned} \quad (1)$$

где $\omega = \omega(x, t)$, $M = M(x, t)$ - изменения угловой скорости и крутящего момента в любой точке колонны труб в произвольный момент времени соответственно; K_1 - коэффициент упругости; K_2 - момент инерции; l - длина колонны бурильных труб.

Начальные условия нулевые.

$$\omega(x, t)_{t=0} = 0, \quad M(x, t)_{t=0} = 0$$

Граничные условия имеют вид:

$$\omega(x, t)_{x=0} = \omega_H(t), \quad \omega(x, t)_{x=e} = \mu M(x, t)_{x=e}$$

где $\omega_H(t)$ - произвольный закон изменения частоты вращения вала бурового двигателя; $\omega(l, t) = \omega_k(t)$ - частота вращения долота; μ - произвольная постоянная, определяющая характер взаимодействия долота с породой.

Согласно методике, предложенной в работе [3], при данных начальных и граничных условиях из решения системы дифференциальных уравнений (1) в дискретной форме в области оригиналов получаем следующие рекуррентные соотношения для функций $\omega(x, t)$, $M(x, t)$

$$\begin{aligned} \omega[n, \delta] = & \left(\sum_{m=\lambda\delta}^n 1[m - \lambda\delta] - e^\varphi \sum_{m=\lambda(1-\delta)}^n 1[m - \lambda(1-\delta)] \right) x \cdot \omega_H[n - m] + \\ & + e^\varphi \sum_{m=\lambda}^n 1[m - \lambda] \omega[n - m, \delta] - \sum_{m=0}^{n-1} 1[n - m] \omega[m, \delta], \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} M[n, \delta] = & \frac{1}{\rho} \left(\sum_{m=\lambda\delta}^n 1[m - \lambda\delta] + e^\varphi \sum_{m=\lambda(1-\delta)}^n 1[m - \lambda(1-\delta)] \right) \cdot \omega_H(n - m) + \\ & + e^\varphi \sum_{m=\lambda}^n 1[m - \lambda] M[n - m, \delta] - \sum_{m=0}^{n-1} 1[n - m] M[m, \delta], \end{aligned} \quad (3)$$

где $\delta = \frac{x}{2l}$, $e^\varphi = \frac{\rho - \mu}{\rho + \mu}$, $\rho = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}}$ - волновое сопротивление трубы; λ - любое

целое число ($\lambda=1, 2, \dots$); n - дискретный момент времени ($n=0, 1, 2, \dots$).

$\omega[n, \delta]$, $M[n, \delta]$ - решетчатые функции. При свободном конце труб $\mu = \infty$, $e^\varphi = -1$. Для заземленного конца колонны труб $\mu = 0$, $e^\varphi = 1$

Погрешность расчетов связана с величиной λ . Чем больше выбрано число λ , тем в меньшей мере характеристики непрерывной функции отличаются от соответствующих характеристик решетчатых.

В рекуррентные соотношения (2), (3) входит неизвестная функция $\omega_H[n]$. Определение её значения осуществляется по следующей методике. При $x=0$ из рекуррентного соотношения (3) получаем следующие выражения для решетчатой функции:

$$\begin{aligned} M_H[n] = & \frac{1}{\rho} \left(\sum_{m=0}^n 1[m] + e^\varphi \sum_{m=\lambda}^n 1[m - \lambda] \right) \omega_H[n - m] + \\ & + e^\varphi \sum_{m=\lambda}^n 1[m - \lambda] M_H[n - m] - \sum_{m=0}^{n-1} 1[n - m] M_H[m], \end{aligned} \quad (4)$$

Запишем уравнения движения бурового электропривода в виде [1]:

$$I \frac{d\omega_H(t)}{dt} = M_D(t) - M_H(t), \quad (5)$$

где I - момент инерции привода; $M_D(t)$ - вращающий момент двигателя; $M_H(t)$ - момент нагрузки.

При линейной механической характеристике момент двигателя определяется из выражения:

$$M_D(t) = a - b\omega_H(t), \quad (6)$$

где, $a=M_H$ - начальный момент двигателя, b -угловой коэффициент механической характеристики.

Производя дискретизацию уравнения (5), с учетом (6), получим:

$$I \frac{\omega_H[n+1] - \omega_H[n]}{T/\lambda} = a - b\omega_H[n] - M_H[n], \quad (7)$$

где $\omega_H[n]_{n=0} = \omega_H$ - начальное значение частоты вращения вала двигателя; $T=2\tau$, τ - время пробега волны в один конец колонны бурильных труб.

Подставляя значение решетчатой функции $M_H[n]$ из (4) в (7) получим:

$$\omega_H[n+1] = \frac{T}{\lambda I} a + \left(1 - \frac{Tb}{\lambda I} - \frac{T}{\lambda \rho}\right) \omega_H[n] - \frac{T}{\lambda I} \cdot \left\{ \frac{1}{\rho} \left(\sum_{m=1}^n 1[m] + e^\varphi \sum_{m=\lambda}^n 1[m-\lambda] \right) \omega_H[n-m] + e^\varphi \sum_{m=\lambda}^n 1[m-\lambda] M_H[n-m] - \sum_{m=0}^{n-1} 1[n-m] M_H[m] \right\} \quad (8)$$

Таким образом, определяя значения частоты вращения вала бурового электропривода $\omega_H[n]$ из (8), осуществляется переход к нахождению значений частоты вращения и момента кручения в любой точке исходной системы по рекуррентным соотношениям (2), (3).

-
1. *Кадымов Я.Б.* Переходные процессы в системах с распределенными параметрами. М. Физматгиз, 1968.
 2. *Козловский Е.А., Питерский В.М., Мурашев С.Ф.* Автоматизация управления геологоразведочным бурением. - М.: Недра, 1991.
 3. *Алиев Я.А.* Численное определение переходных процессов в колонне бурильных труб как объекта с распределенными параметрами. Проблемы энергетики, 2003, №6.
 4. *Мамедов А.И., Баширов Г.А., Мирзоев В.С.* Вопросы автоматизации управления динамическими процессами, возникающими в колонне бурильных труб при роторном бурении нефтяных скважин. Материалы 2-го Международного симпозиума "Проб-

лемы математического моделирования, управления и информационной технологии в нефтяной промышленности“. Баку, 21-26 сентября, 1998.

5. *Атакишиев М.Д.* Экономическая эффективность рационального использования производственных мощностей в бурении. М. Нефть и газ, 1997.

NEFT QUYULARININ QAZILMASININ ELEKTRİK İNTEQALINDA KEÇİD PROSESSLƏRİNİN ƏDƏDİ HESABLANMASI ÜSULU

ƏLİYEV Ya.A.

Paylanmış parametrin hissəyə malik olan elektrik inteqalında keçid proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi üçün ədədi metodun işlənilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

NUMERICAL METHOD OF CALCULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN THE ELECTRIC DRIVE OF OIL WELL DRILLING

ALIYEV Ya.A.

The numerical method of calculation of transient processes in the electric drive of oil well drilling is offered.