УДК.62.50

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕОДНОРОДНОЙ СИСТЕМЕ БУРОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

МАМЕДОВ А.И., АЛИЕВ И.Я.

Азербайджанский Технический Университет

Дается численный метод расчета переходных процессов в неоднородной системе бурового электропривода с распределенными параметрами.

В настоящее время в условиях широкого внедрения компьютерной техники в практику инженерных расчетов, вопрос создания численных методов расчета переходных процессов в буровых электроприводах, включающих звенья с распределенными параметрами, представляет значительный практический интерес.

Использование компьютерной технологии обосновывается с тем, что осуществление реальных экспериментов в буровых установках часто становится весьма затруднительным, а физическое моделирование требует существенных материальных затрат. Использование же компьютерной техники для численного моделирования переходных процессов в указанных системах, одновременно существенно расширяет круг решаемых практических задач.

Одним из эффективных численных методов расчета динамических процессов в электроприводах с распределенными параметрами, описываемых уравнениями в частных производных гиперболического типа, является численный метод [1-3], основанный на использовании дискретного анализа интегрального уравнения свертки.

Преимуществом указанного численного метода является то, что он позволяет найти динамические процессы, возникающие в объектах с распределенными параметрами без перехода в область дискретных изображений, а также осуществлять переход от Лапласовых изображений искомых функций в область оригиналов без нахождения корней характеристического уравнения, что значительно упрощает математические выкладки и повышает точность расчетов.

В работах [1-3] методы разрабатывались для случая, когда механическая часть электропривода – колонна бурильных труб, рассматривается как однородное звено с распределенными параметрами. Однако, в ряде практических задач, в частности, в процессе бурения глубоких и сверхглубоких скважин, при учете фактора о неодинаковом характере взаимодействия колонны бурильных труб со стенками скважины, ее необходимо рассматривать как неоднородное звено с распределенными параметрами, которая состоит из отдельных последовательно соединенных участков с различными волновыми сопротивлениями. В данном случае особенностью рассматриваемых волновых процессов является то, что прямая волна претерпевает частичное отражение в некотором сечении колонны бурильных труб, в котором происходит нарушение ее однородности.

В данной работе дается дальнейшее обобщение и развитие численного метода [1-3] для расчета переходных процессов в неоднородной системе бурового электропривода с распределенными параметрами.

Рассмотрим переходный процесс в системе бурового электропривода, включающего в качестве нагрузки неоднородную колонну бурильных труб, которая состоит из двух разных последовательно включенных участков (звеньев) с распределенными параметрами.

Предположим, в момент времени t=0 осуществляется процесс ввода данной системы с распределенными параметрами на заданный режим.

Уравнение движения бурового электропривода при линейной механической характеристике двигателя в решетчатой форме имеет следующий вид:

$$I\,(\varpi_{1H}\,[n+1]-\varpi_{1H}\,[n])\,/T/\lambda = a_1 - b_1\,\omega_{1H}[n] - M_{1H}\,[n], \tag{1}$$

где I – момент инерции электропривода; a_1, b_1 – параметры механической характеристики двигателя; $\varpi_{1H}[n]$, $M_{1H}[n]$- значения частоты вращения и момента для начальной точки первого звена в решетчатой форме; $T=2\tau$, и для данной системы τ выбирается в виде: $\tau = \sum_{i=1}^{2}\tau_i$, τ_i- время пробега волны в один конец i-го участка; λ - любое целое число.

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

Переходные процессы, протекающие в исходных звеньях с распределенными параметрами, описываются дифференциальными уравнениями в частных производных гиперболического типа:

$$-\frac{\partial\omega_i}{\partial x} = \kappa_1^i\frac{\partial M_i}{\partial t} \qquad -\frac{\partial M_i}{\partial x} = k_2^i\frac{\partial\omega_i}{\partial t}, \qquad l_{i-1} \le x \le l_{i-1} + l_i \tag{2}$$

где i=1,2 l_i,– длина i-го звена; $\omega_i=\omega_i(x,t)$, $M_i=M_i(x,t)$, - угловая скорость и крутящий момент для i-го звена; k_1^i, k_2^i, - соответственно коэффициенты упругости и моменты инерции для i-го звена; при i=1 l_{i-1}=0.

При нулевых начальных условиях граничные условия имеют вид:

$$\omega_1(0,t) = \omega_{1H}(t), \quad M_1(l_1,t) = M_{1k}(t),$$

$$\omega_2(l_1,t) = \omega_{2H}(t), \quad \omega_2(l_1+l_2,t) = \mu_2 M_2(l_1+l_2,t),$$

где μ_2- коэффициент, определяющий связь между угловой скоростью $\omega_2(x,t)$ и крутящим моментом $M_2(x,t)$ в конечной точке второго участка с распределенными параметрами.

Запишем условия сопряжения участков в точке $x=l_1$:

$$\omega_1(l_1,t) = \omega_2(l_1,t), \quad M_1(l_1,t) = M_2(l_1,t)$$

В рассматриваемом случае звено-долото представляется в виде активной нагрузки вала с сопротивлением μ_2. При свободном конце неоднородной колонны бурильных труб $\mu_2=\infty$, при закрепленном - $\mu_2=0$.

При данной постановке задачи, особенностью расчета переходных процессов в исходной неоднородной системе бурового электропривода с распределенными параметрами, является то, что в граничных условиях, значения функции $\omega_{1H}(t)$, $M_{1k}(t)$, $\omega_{1k}(t)$, $\omega_{2k}(t)$ в начале решения поставленной задачи являются неизвестными. Их значения определяются по ходу решения данной задачи.

При решении поставленной задачи на первом этапе необходимо получить Лапласово изображения для функций $\omega_i(x, t)$, $M_i(x,t)$.

Используя этот метод, при принятых начальных и граничных условиях из решения систем дифференциальных уравнений (2) получаем следующие выражения для указанных функций в операторной форме:

$$M_i(x,s) = \frac{1}{\rho_i}\cdot\frac{sh\gamma_i(L_i - x)}{ch\gamma_i l_i}\omega_{iH}(s) + M_{ik}(s)\frac{ch\gamma_i(x - l_{i-1})}{ch\gamma_i l_i}, \tag{3}$$

$$\omega_i(x,s) = \frac{ch\gamma_i(L_i - x)}{ch\gamma_i l_i}\omega_{iH}(s) - \rho_i\,M_{ik}(s)\frac{sh\gamma_i(x - l_{i-1})}{ch\gamma_i l_i}, \tag{4}$$

где $\rho_i = \sqrt{k_1^i / k_2^i}$ - волновое сопротивление i-го участка; $\gamma_i l_i = s\tau_i$ $\tau_i = \dfrac{l_i}{\vartheta_i}$ –время пробега волны в один конец i–го участка; $\vartheta_i = 1\Big/\sqrt{k_1^i\ k_2^i}$ - скорость распространения волны на i–ом участке; γ_i-коэффициент распространения волны для i–го участка; $\omega_{iH}(s), M_{ik}(s)$ - Лапласовы изображения функций $\omega_{iH}(t), M_{ik}(t)$; $L_i = l_{i-1} + l_i$.

Выражения (3), (4) можно представить в виде:

$$M_i(\delta_i, s)\left[\frac{1}{s} + k_1^i(s)\right] = \frac{1}{\rho_i}\left[k_2^i(s) - k_3^i(s)\right]\omega_{iн}(s) + M_{ik}(s)\left[k_4^i(s) + k_5^i(s)\right], \tag{5}$$

$$\omega_i(\delta_i, s)\left[\frac{1}{s} + k_1^i(s)\right] = \left[k_2^i(s) + k_3^i(s)\right]\omega_{iн}(s) - \rho_i M_{ik}(s)\left[k_4^i(s) - k_5^i(s)\right], \tag{6}$$

где $k_1^1(s) = \dfrac{e^{-2s\tau_1}}{s}$, $\quad k_2^1(s) = \dfrac{e^{-2s\tau_1\delta_1}}{s}$, $\quad k_3^1(s) = \dfrac{e^{-2s\tau_1(1-\delta_1)}}{s}$. $\qquad k_4^1(s) = \dfrac{e^{-s\tau_1(1-2\delta_1)}}{s}$.,

$k_5^1(s) = \dfrac{e^{-s\tau_1(1+2\delta_1)}}{s}$, $\delta_1 = \dfrac{x}{2l_1}$, $k_1^2(s) = \dfrac{e^{-2s\tau_2}}{s}$, $\quad k_j^2(s) = \dfrac{e^{-s\tau_2\delta_2^{j_1}}}{s}$, $j_1 = \overline{1,4}$; $j = \overline{2,5}$

, $\delta_2^1 = 1 - L_2' + \overline{\delta}_2$, $\delta_2^2 = 1 + L_2' - \overline{\delta}_2$, $\delta_2^3 = 1 + L_2'' - \overline{\delta}_2$, $\delta_2^4 = 1 - L_2'' + \overline{\delta}_2$, $\overline{\delta_2} = \dfrac{x}{l_2}$; $L_2' = \dfrac{L_2}{l_2}$,

$L_2'' = \dfrac{l_1}{l_2}$; $\delta_i = \dfrac{x}{2l_i}$.

На основе теоремы свертки [1-3], переходя от уравнений (5)-(6) относительно изображений к уравнениям относительно оригиналов, получим:

$$\int_0^t M_1(t-\theta,\delta_1)1(\theta)d\theta + \int_{\frac{2\ell_1}{v_1}}^t M_1(t-\theta,\delta_1)k_1^1(\theta)d\theta = \frac{1}{\rho_1}\cdot\left(\int_{\frac{2\ell_1\delta_1}{v_1}}^t k_2^1(\theta)\varpi_{1H}(t-\theta)d\theta - \right.$$

$$\left. - \int_{\frac{2\ell_1(1-\delta_1)}{v_1}}^t k_3^1(\theta)\varpi_{1H}(t-\theta)d\theta\right) + \int_{\frac{\ell_1(1-2\delta_1)}{v_1}}^t k_4^1(\theta)M_{1k}(t-\theta)d\theta + \int_{\frac{\ell_1(1+2\delta_1)}{v_1}}^t k_5^1(\theta)M_{1k}(t-\theta)d\theta \tag{7}$$

$$\int_0^t \omega_1(t-\theta,\delta_1)1(\theta)d\theta + \int_{\frac{2\ell_1}{v_1}}^t \omega(t-\theta,\delta_1)k_1^1(\theta)d\theta = \int_{\frac{2\ell_1\delta_1}{v_1}}^t k_2^1(\theta)\varpi_{1H}(t-\theta)d\theta +$$

$$+ \int_{\frac{2\ell_1(1-\delta_1)}{v_1}}^t k_3^1(\theta)\varpi_{1H}(t-\theta)d\theta - \rho_1\left[\int_{\frac{\ell_1(1-2\delta_1)}{v_1}}^t k_4^1(\theta)M_{1k}(t-\theta)d\theta - \int_{\frac{\ell_1(1-2\delta_1)}{v_1}}^t k_5^1(\theta)M_{1k}(t-\theta)d\theta\right] \tag{8}$$

$$\int_0^t M_2(t-\theta,\delta_2)1(\theta)d\theta + \int_{\frac{2\ell_2}{v_2}}^t M_2(t-\theta,\delta_2)k_1^2(\theta)d\theta = \frac{1}{\rho_2}\cdot\left(\int_{\frac{2\ell_2\delta_2^1}{v_2}}^t k_2^2(\theta)\varpi_{2H}(t-\theta)d\theta - \right.$$

$$\left. - \int_{\frac{2\ell_2\delta_2^2}{v_2}}^t k_3^2(\theta)\varpi_{2H}(t-\theta)d\theta\right) + \int_{\frac{\ell_2\delta_2^3}{v2}}^t k_4^2(\theta)M_{2k}(t-\theta)d\theta + \int_{\frac{\ell_2\delta_2^4}{v_2}}^t k_5^2(\theta)M_{2k}(t-\theta)d\theta \tag{9}$$

$$\int_0^t \omega_2(t-\theta,\delta_2)1(\theta)d\theta + \int_{\frac{2\ell_2}{v_2}}^t \omega_2(t-\theta,\delta_2)k_1^2(\theta)d\theta = \int_{\frac{\ell_2\delta_2^1}{v_2}}^t \omega_{2H}(t-\theta)k_2^2(\theta)d\theta +$$

$$+\int_{\frac{\ell_2\delta_2^2}{v_2}}^t \varpi_{2H}(t-\theta)k_3^2(\theta)d\theta - \rho_2\left(\int_{\frac{\ell_2\delta_2^3)}{v_2}}^t M_{2k}(t-\theta)k_4^2(\theta)d\theta - \int_{\frac{\ell_2\delta_2^4}{v_2}}^t M_{2k}(t-\theta)k_5^2(\theta)d\theta\right) \qquad (10)$$

Интегральные уравнения (7) ÷ (10) могут быть решены численно, если заменить интегралы суммами.

В связи с этим, используя связь между непрерывным временем t и дискретным n (n=0,1,2, …) в виде $t=nT/\lambda$ производим дискретизацию уравнений (7)÷ (10), при выбранном интервале T/λ заменяя операцию непрерывного интегрирования суммированием, пользуясь формулой прямоугольников.

При этом вместо (7) ÷ (10) получаем следующие рекуррентные соотношения для определения значения решетчатых функций: $M_i[n,\delta_i]$, $\omega_i[n,\delta_i]$:

$$M_1[n,\delta_1] = \frac{1}{\rho_1}\left(\sum_{m=r_1\lambda\delta_1}^{n} 1[m-r_1\lambda\delta_1] - \sum_{m=r_1\lambda(1-\delta_1)}^{n} 1[m-r_1\lambda(1-\delta_1)]\right)\varpi_{1H}[n-m] +$$
$$+\left(\sum_{m=0,5r_1\lambda(1-2\delta_1)}^{n} 1[m-0{,}5r_1\lambda(1-2\delta_1)] + \sum_{m=0,5r_1\lambda(1+2\delta_1)}^{n} 1[m-0{,}5r_1\lambda(1+2\delta_1)]\right)M_{1k}[n-m] -$$
$$-\sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m-\lambda]M_1[n-m,\delta] - \sum_{m=0}^{n-1} M_1[m,\delta_1] \qquad (11)$$

где $r_1 = \dfrac{\tau_1}{\tau}$

$$\omega_1[n,\delta_1] = \left(\sum_{m=r_1\lambda\delta_1}^{n} 1[m-r_1\lambda\delta_1] + \sum_{m=r_1\lambda(1-\delta_1)}^{n} 1[m-r_1\lambda(1-\delta_1)]\right)\varpi_{1H}[n-m] -$$
$$-\rho_1\left[\sum_{m=0,5r_1\lambda(1-2\delta_1)}^{n} 1[m-0{,}5r_1\lambda(1-2\delta_1)] - \sum_{m=0,5r_1\lambda(1+2\delta_1)}^{n} 1[m-0{,}5r_1\lambda(1+2\delta_1)]\right]M_{1k}[n-m] - \qquad (12)$$
$$-\sum_{m=0}^{n-1} \omega_1[m,\delta_1] - \sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1(m-r_1\lambda)\omega_1[n-m\delta_1]$$

$$M_2[n,\delta_2] = \frac{1}{\rho_2}\left(\sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^1}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^1)] - \sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^2}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^2)]\right)\omega_{2H}[n-m] +$$
$$+\sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^3}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^3)]M_{2k}[n-m] + \sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^4}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^4)]M_{2k}[n-m] -$$
$$-\sum_{m=r_2\lambda}^{n} 1[m-r_2\lambda]M_2[n-m,\delta_2] - \sum_{m=0}^{n-1} M_2[m,\delta_2], \qquad (13)$$

где $r_2 = \dfrac{\tau_2}{\tau}$.

$$\omega_2[n,\delta_2] = \sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^1}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^1)]\omega_{2H}[n-m] + \sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^2}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^2)]\omega_{2H}[n-m] -$$
$$-\rho_2\left(\sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^3}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^3)] - \sum_{m=0,5r_2\lambda\delta_2^4}^{n} 1[m-0{,}5r_2\lambda\delta_2^4)]\right)M_{2k}[n-m] - \qquad (14)$$

$$- \sum_{m=r_2\lambda}^{n} 1[m - r_2\lambda]\omega_2[n-m,\delta_2] - \sum_{m=0}^{n-1}\omega_2[m,\delta_2]$$

В рекуррентные соотношения (11)÷(14) входят неизвестные функции $\omega_{1н}[n]$, $\omega_{ik}[n]=\omega_{2н}[n]$. Определение их значений осуществляется следующим образом.

Из выражения (11) при $\delta_1 = 0$ имеем:

$$M_{1H}[n] = \frac{1}{\rho_1}\left(\sum_{m=0}^{n} 1[m] - \sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m - r_1\lambda]\right)\varpi_{1H}[n-m] + 2\sum_{m=0.5r_1\lambda}^{n} 1[m - 0.5r_1\lambda]M_{1k}[n-m] +$$

$$+ \sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m - r_1\lambda]M_{1H}[n-m] - \sum_{m=0}^{n-1} 1[n-m]M_{1H}[m] \quad (15)$$

Подставляя значения решетчатой функции $M_{1H}[n]$ из (15) в выражение (1) получим следующее рекуррентное соотношение для решетчатой функции $\omega_{1н}[n]$:

$$\omega_{1н}[n+1] = \frac{T}{\lambda I}a_1 - (1 + \frac{Tb_1}{\lambda I})\omega_{1H}[n] - \frac{T}{\lambda I}(\frac{1}{\rho}(\sum_{m=0}^{n} 1[m] - \sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m - r_1\lambda]\varpi_{H}[n-m]) +$$

$$+ 2\sum_{m=0,5r_1\lambda}^{n} 1[m - 0,5r_1\lambda]M_{1k}[n-m] - \sum_{m=0}^{n-1} M_{1H}[n-m] + \sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m - r_1\lambda]M_{1H}[n-m]$$

(16)

В выражении (16) значение функции $M_{1k}[n]$ определяется следующим образом.

При $x=l_1$ выражения (12), (13) можно представить в виде:

$$\omega_{1k}[n] = A_1[n] - \rho_1\sum_{m=0}^{n} 1[m]M_{1k}[n-m], \quad (17)$$

$$M_{2H}[n] = \frac{1}{\rho_2}\sum_{m=0}^{n} 1[m]\omega_{2H}[n-m] - A_2[n], \quad (18)$$

где

$$A_1[n] = 2\sum_{m=0,5r_1\lambda}^{n} 1[m - 0,5r_1\lambda]\omega_{1H}[n-m] + \rho_1\sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m - r_1\lambda]M_{1k}[n-m] -$$

$$- \sum_{m=r_1\lambda}^{n} 1[m - r_1\lambda]\omega_{1k}[n-m] - \sum_{m=0}^{n-1}\omega_{1k}[m],$$

$$A_2[n] = \frac{1}{\rho_2}\sum_{m=r_2\lambda}^{n} 1[m - r_2\lambda]\omega_{2H}[n-m] - 2\sum_{m=0,5r_2\lambda}^{n} 1[m - 0,5r_2\lambda]M_{2k}[n-m] +$$

$$+ \sum_{m=r_2\lambda}^{n} 1[m - r_2\lambda]M_{2H}[n-m] + \sum_{m=0}^{n-1} M_{2H}[m]$$

Здесь

$$\sum_{m=0}^{n} 1[m]M_{1k}[n-m] = M_{1k}[n] + \sum_{m=1}^{n} 1[m]M_{1k}[n-m] \quad (19)$$

$$\sum_{m=0}^{n} 1[m]\omega_{2H}[n-m] = \omega_{2H}[n] + \sum_{m=1}^{n} 1[m]\omega_{2H}[n-m] \quad (20)$$

Выражение для функции $M_{2H}[n]$, с учетом условий сопряжений и (19), (20), а также выражения для $\omega_{1k}[n]$ из (17), можно представить в виде:

$$M_{1k}[n] = \eta_1\left\{\frac{1}{\rho_2}A_1[n] + A_2'[n] - Э_1\sum_{m=1}^{n} 1[m]M_{1k}[n-m]\right\}, \quad (21)$$

где $\eta_1 = \dfrac{1}{1+Э_1}$, $Э_1 = \dfrac{\rho_1}{\rho_2}$.

$$A_2'[n] = \frac{1}{\rho_2}\sum_{m=1}^{n} 1[m]\omega_{2H}[n-m] - A_2[n]$$

При известном значении крутящего момента $M_{1k}[n]$, с помощью рекуррентного соотношения (17)осуществляется переход к нахождению скорости бурения $\omega_{1k}[n]= \omega_{2н}[n]$.

Для определения значения решетчатой функции $M_{2k}[n]$, необходимо подставить в рекуррентное соотношение (14) $x=L_2$, тогда получим:

$$\omega_{2k}[n] = B_2[n] - \rho_2 \sum_{m=0}^{n} 1[m]\omega_{2k}[n-m], \tag{22}$$

где

$$B_2[n] = 2 \sum_{m=0,5r_2\lambda}^{n} 1[m - r_2\lambda]\omega_{2H}[n-m] + \rho_2 \sum_{m=r_2\lambda}^{n} 1[m - 0,5r_2\lambda]M_{2k}[n-m] -$$

$$- \sum_{m=r_2\lambda}^{n} 1[m - r_2\lambda]\omega_{2k}[n-m] - \sum_{m=0}^{n-1} \omega_{2k}[m]$$

Следовательно, согласно граничным условиям имеем:

$$\omega_{2k}[n] = \mu_2 M_{2k}[n] \tag{23}$$

Подставляя значение функции $\omega_{2k}[n]$ из (22) в (23) получим следующие рекуррентное соотношение для крутящего момента $M_{2k}[n]$:

$$M_{2k}[n] = \frac{1}{1 + \frac{\mu_2}{\rho_2}} \left\{ \frac{1}{\rho_2} B_2[n] - \sum_{m=0}^{n-1} 1[n-m]M_{2k}[m] \right\} \tag{24}$$

Таким образом, определив значения решетчатой функции $\omega_{1н}[n]$, $M_{1k}[n]$, $\omega_{2н}[n], M_{2k}[n]$, осуществим переход к нахождению значений крутящего момента и частоты вращения в любой точке исходный системы по рекуррентным соотношениям (11)÷(14).

Предложенный численный метод позволяет выбрать соответствующую компоновку отдельных участков колонны бурильных труб с целью уменьшения перегрузки крутящего момента в соответствующих ее сечениях.

---

1. *Алиев Я.А.* Численное определение переходных процессов в колонне бурильных труб как объекта с распределенными параметрами. - Проблемы энергетики,2004, №1.
2. *Алиев Я.А.* Численный метод расчета переходных процессов в электроприводах бурения нефтяных скважин. - Проблемы энергетики, 2004, №2.
3. *Mamedov A.I., Aliyev Y.A.* New numerical method of calculation of transmission processes into drilling electric drive which includes the section with distributed parameters. - Materials of Second International Symposium on electrical, electronic and computer and engineering 11-13 March, Nicosia, North Cyprus, 2004.
4. *Кадымов Я.Б., Листенгартен Б.А., Мамедов А.И., Омаров А.А.* Расчет в электроприводе, питаемом от системы с распределенными параметрами. - Известия АН СССР, Энергетика и транспорт,1977, №2.
5. *Козловский А.В., Питерский В.М., Мурашов С.Ф.* Автоматизация управления геологоразведоточным бурением, М.:Недра, 1991.

PAYLANMIŞ PARAMETRLİ BİRCİNSLİ OLMAYAN QAZIMA ELEKTRİK İNTİQALI SİSTEMİNDƏ BAŞ VERƏN KEÇİD PROSESLƏRİNİN HESABLANMASI ÜÇÜN ƏDƏDİ ÜSUL

MƏMMƏDOV A.İ., ƏLİYEV İ.Y.

Məqalədə paylanmış parametrli bircinsli olmayan qazıma elktrik intiqalı sistemində baş verən keçid proseslərinin hesablanması üçün ədədi üsul təklif edilimşdir.

NUMERICAL METHOD CALCULATION OF TRANSIENT PROCECCES IN THE INHOMOGENEOUS SYSTEM OF BORING ELEKTRIK DRIVE WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

MAMEDOV A.I., ALIYEV I.Y.

A numerical method in given for calculation of transient processes in the inhomogeneous system of boring electric drive with distributed parameters.