

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГИДРОСМЕСИ

Розглянуті математичні моделі фізичних процесів, які відбуваються в трубопроводах та накопичувальних апаратах гідротранспортних установок технологій гравітаційного збагачення розсипів рідкоземельних та поліметалевих руд з урахуванням впливу температури гідросуміші. На основі запропонованих моделей гідротранспортна установка розглядається як єдина гідравлічна мережа, що складається з двох накопичувальних апаратів, з'єднаних напірним трубопроводом.

THE HYDROTRANSPORT PLANT WORKING CONDITIONS' SIMULATION TAKING INTO ACCOUNT THE HYDRAULIC LIQUID CONCENTRATION PROCESSES IN SUMPS

The mathematical models of physical processes which take place in the pipelines and accumulating apparatuses of hydrotransport plants that are used in the gravity separation technologies of rare-earth and complex ores alluvial deposits are considered, taking into account variation of hydraulic liquid temperature. According to offered models the hydrotransport plant is considered as integrated hydraulic system which consists of two accumulating apparatuses that are connected with the pressure pipe.

На территории Украины существует ряд месторождений редкоземельных и полиметаллических руд, а также руд черных металлов, разрабатываемых открытым способом с использованием напорного гидротранспорта. В существующих технологиях добычи и переработки гидротранспорт используется для доставки руды к месту переработки, перемещения промпродуктов и концентратов внутри обогатительного передела, а также для отвода отходов обогащения. На сегодняшний день протяженность магистралей напорных гидротранспортных комплексов может составлять от 20 м во внутрифабричных гидротранспортных установках до 10 000 м в магистральных гидротранспортных комплексах, обеспечивающих отвод отходов обогащения и доставку исходной руды [1, 2].

Гидротранспортные комплексы эксплуатируются круглый год и должны обеспечивать регламентированную производительность как в теплое, так и в холодное время года. В зимний период года эффективность и надежность работы магистральных гидротранспортных комплексов снижается, так как изменяются характеристики несущей жидкости и параметры трубопровода. Это является существенным недостатком напорного гидротранспорта по сравнению с автомобильным и железнодорожным видами транспорта. Таким образом, задача моделирования параметров и режимов работы напорных гидротранспортных комплексов с учетом температуры является актуальной, поскольку обеспечивает ресурсо- и энергосбережение, повышение надежности и эффективности процесса и, в конечном итоге, снижение капитальных и эксплуатационных затрат [1-5].

Наиболее сильно от изменения температуры зависят параметры и режимы работы магистральных гидротранспортных комплексов, поскольку за время течения по длинному трубопроводу характеристики гидросмеси изменяются в большей степени. Кроме того, зумпф и сгустительная воронка таких гидротранспортных комплексов, как правило, работают в различных температурных режимах.

Анализ физических процессов, происходящих при течении гидросмеси, и технологических решений, направленных на повышение эффективности напорного гидротранспортирования в зимний период года, показывают, что наиболее перспективным направлением является тепловая изоляция трубопровода [3-7]. Однако эти исследования проводились без учета процессов пульпообразования в зумпфе и течения в сгустительной воронке, что не позволяет использовать результаты этих исследований для прогнозирования параметров и режимов работы гидротранспортного комплекса в целом.

Известны исследования зависимости критических параметров гидротранспортирования от температуры гидросмеси, результаты которых позволяют производить оценку гидравлических уклонов и критических скоростей для гидросмесей из полидисперсных материалов [3-6]. Однако эти методики не учитывают изменение концентрации гидросмеси в процессе пульпообразования при снижении ее температуры.

Опыт эксплуатации напорных гидротранспортных комплексов на открытых горных разработках показывает, что недопустимо рассматривать режим работы отдельно взятого элемента – трубопровода, насоса, зумпфа или сгустительной воронки. В этой технологической системе все элементы, начиная от зумпфа и заканчивая сгустительной воронкой, должны рассматриваться как единое целое, поскольку связаны между собой объемами и параметрами гидросмеси.

Такой подход к анализу и расчету напорных гидротранспортных комплексов является новым и для своего развития требует разработки научно обоснованных моделей физических процессов, протекающих в элементах гидротранспортной установки, с учетом температуры гидросмеси.

Задачей статьи является разработка гидродинамических моделей физических процессов в зумпфе, трубопроводе и сгустительной воронке и построение на их основе модели напорного гидротранспортного комплекса, учитывающей влияние на параметры и режимы работы изменения температуры гидросмеси.

При аппроксимации расходно-напорной характеристики установленных насосов полиномом второй степени подача гидротранспортной установки, зависящая от концентрации гидросмеси, а также от свойств транспортируемого материала, определяется из решения уравнения [3, 4, 6]

$$Q^3 + \frac{\beta}{a(Q) + \alpha} Q^2 - (\gamma - c)Q + b = 0; \quad (1)$$

$$a = \frac{8(1 + 2Ar_1S_1 - Ar_1S_1^2)}{\pi^2 g(1 + Ar_1S_1)} \sum_n \left[\frac{0.309 \frac{L_n}{D_n^5}}{\lg^2 \left(\frac{\tau_2}{1 + 2,5S_1 + 10,05S_1^2} \frac{0.588Q}{\pi v_0 D_n} \right)} + \frac{\xi_n^o + \text{int} \left(\frac{L_n}{L_n^D} \right) \xi_n^*}{D_n^4} \right];$$

$$b = \frac{\pi Ar_2 (Ar_2 - Ar_1S_1) S_2}{12.5(1 + Ar_1S_1)} \sum_n \left(\frac{17.68d_2 + 0.005(t_n - 26)}{26\sqrt{d_2}} \right) (1 - S_2)^x D_n^{2.5} L_n \cos \theta_n;$$

$$\gamma = \sum_i \chi_i \gamma_i \left(\frac{n_i}{n'_i} \right)^2 \left(\frac{D_i}{D'_i} \right)^{2,46}; \quad \beta = \sum_i \chi_i \beta_i \left(\frac{n_i}{n'_i} \right)^2 \left(\frac{D_i}{D'_i} \right)^{2,46}; \quad \alpha = \sum_i \chi_i \alpha_i \left(\frac{n_i}{n'_i} \right)^2 \left(\frac{D_i}{D'_i} \right)^{2,46};$$

$$c = \frac{0.3(Ar_3 - Ar_1S_1) S_3}{(1 + Ar_1S_1)} f \sum_n L_n \cos \theta_n \pm Z(1 + Ar_1S_1); \quad S_i = R_i \varphi_*; \quad Ar_i = \frac{\rho_i - \rho_o}{\rho_o};$$

$$\chi_i = 1 - \frac{0.56S}{1 + \sum_l Ar_l S_l} \left(\sum_{k=1}^m (Ar_k - Ar_1S_1) \sum_{j=1}^n \sigma_k q_j \left[Ar_{jk} + 3.73 \lg \left(1737 \frac{d_{ikck}}{D_a^{(i)}} \right) \right] \right);$$

$$x = 5[1.88 - 0.2 \lg d_2 - 0.2 \lg(\tau_0 d_2 + \tau_1)]; \quad \tau_0 = 0.15t_n^2 + 2.244t_n + 680;$$

$$\tau_1 = 0.0011t_n^3 - 0.009t_n^2 + 4.57t_n - 130; \quad \tau_2 = 1 + 0.0337t_n + 0.000221t_n^2,$$

где Q - подача насоса; x - коэффициент, учитывающий влияние концентрации гидросмеси и свойств транспортируемого материала; d_{icp} - диаметр частиц с плотностью ρ_{sk} ; σ_k - объемная доля в россыпях материала плотностью ρ_{sk} ; ρ - плотность гидросмеси; ρ_o - плотность несущей жидкости; φ_n - объемная доля твердого в гидросмеси; S_i - объемная доля в гидросмеси частиц i -го типа (1 - тонкие, 2 - мелкие, 3 - кусковые); R_i - объемная доля частиц i -го типа в транспортируемом материале (1 - тонкие, 2 - мелкие, 3 - кусковые); q_j - объемная доля j -го класса крупности во фракции с плотностью ρ_k в %; $D_a^{(i)}$ - диаметр рабочего колеса i -го насоса; Ar_i - параметр Архимеда материала i -й фракции; g - ускорение свободного падения; λ_n - коэффициент гидравлического сопротивления трения на n -ом участке трубопровода; L_n - длина n -го участка магистрали; D_n - диаметр трубопровода n -го участка магистрали; ξ_n^o - коэффициент местных гидравлических сопротивлений на n -ом участке; ξ_n^* - коэффициент местных гидравлических сопротивлений, обусловленных сварными швами трубопровода на n -ом участке; L_n^D - длина секций труб, из которых смонтирован трубопровод на n -м участке магистрали; d_2 - средневзвешенный диаметр мелких

частиц; θ_n - угол наклона n -го участка магистрали к горизонту; t - температура гидросмеси; x - коэффициент, учитывающий влияние температуры гидросмеси на скорость стесненного падения мелких частиц; w - коэффициент, учитывающий влияние температуры гидросмеси на скорость свободного падения мелких частиц; f - обобщенный коэффициент трения частиц кусковой фракции о стенку трубопровода; Z - разница геодезических отметок конца и начала магистрали; D_i - диаметр рабочего колеса, установленного на i -м насосе; D'_i - паспортное значение диаметра рабочего колеса i -го насоса; n_i - частота вращения рабочего колеса i -го насоса; n'_i - паспортное значение частоты вращения рабочего колеса, для которого приведена расходно-напорная характеристика i -го насоса; $\gamma_i, \beta_i, \alpha_i$ - коэффициенты аппроксимации расходно-напорной характеристики i -го насоса.

Изменение средней по сечению температуры гидросмеси по длине каждого участка трубопровода, если пренебречь тепловым потоком, вызванным трением частиц о стенки трубопровода, описывается выражением [2, 4-6]

$$t_n = t_v + (t_o - t_v) \exp \left[- \frac{4\bar{l}}{\text{Pr}^{0.6} \text{Re}^{0.2} (\tau_2^{0.4} + \text{Pr}^{0.4} \text{Re}^{0.8} \Omega)} \right]; \quad (2)$$

$$\Omega = \left(\frac{f_o}{2f_t} \ln(\beta_0) + \frac{f_o}{Nu_v} \right) \left(1 + \frac{f_t}{f_z} \frac{Nu_v \ln((1 + \gamma_0)\beta_0)}{Nu_v \ln(\beta_0) + 2f_t} \right);$$

$$f_t = \frac{\lambda_t}{\lambda_v}; \quad f_o = \frac{\lambda_o}{\lambda_v} \frac{2\lambda_o + \lambda_t - 2S(\lambda_o - \lambda_t)}{2\lambda_o + \lambda_t + 2S(\lambda_o - \lambda_t)}; \quad f_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_v};$$

$$\text{Re} = \frac{1}{1 + 2,5S_1 + 10,05S_1^2} \frac{4Q}{\pi v_0 D_n}; \quad \text{Pr} = \frac{a}{v_0},$$

где t_o, t_n, t_v - соответственно начальная и конечная температуры гидросмеси, а также температура воздуха на рассматриваемом участке трубопровода; l - длина пройденного пути в калибрах трубопровода; Re, Pr - критерии Рейнольдса и Прандтля; β_0 - отношение внешнего и внутреннего диаметров трубопровода; $\lambda_o, \lambda_v, \lambda_t$ - соответственно коэффициенты теплопроводности воды, воздуха и трубопровода; Nu_v - число Нуссельда для теплообмена на внешней поверхности трубопровода; S - концентрация гидросмеси; γ_0 - отношение толщины слоя теплоизоляционного материала к внешнему диаметру трубопровода; λ_z - коэффициенты теплопроводности теплоизоляции.

Выражение (2) используется при вычислении коэффициентов уравнения (1), при этом изменение температуры и параметров гидросмеси на каждом участке трубопровода рассчитывается, исходя из значения температуры на предыдущем участке. Уравнение (1) является нелинейным относительно Q и может быть решено только численными методами, например, методом половинного деления. Для реализации метода половинного деления необходимо задать интервал из-

менения подачи, на котором будет осуществляться поиск решения. Параметры этого интервала определяются границами рабочих областей установленных насосов и критической скоростью гидротранспортирования [6]

$$Q_{kp} = \frac{\pi \Omega}{4} \sqrt{g} D_*^{2.5} \cos \alpha_*; \quad (3)$$

$$\Omega = c_2 \sqrt[3]{\frac{Ar_2 (Ar_2 - Ar_1 S_1) S_2 (1 - S_2)^x \left(\frac{17.68 d_2 + 0.005(t - 26)}{26 \sqrt{g d_2}} \right)}{(1 + Ar_1 S_1)}} + \\ + 0.24 c_1 \sqrt[4]{\frac{Ar_1^3 (1 - S_1) S_1 g d_1}{(1 + Ar_1 S_1)}} \sqrt{\tau_2} + c_3 \sqrt{\frac{(Ar_3 - Ar_1 S_1) S_3}{(1 + Ar_1 S_1)}} f,$$

где Ω - коэффициент, учитывающий влияние свойств и концентрации транспортируемого материала; D_* , $\cos \alpha_*$ - диаметр и угол наклона участка магистрали, для которого выполняется условие $\max \{ \sqrt{D_n} \cos \alpha_n \}$.

Из (1) и (2) видно, что величины, входящие в эти формулы, существенно зависят от концентрации и температуры гидросмеси, значения которых определяются характером процесса движения гидросмеси в зумпфе. Зумпф и сгустительная воронка похожи между собой по форме и характеру протекающих процессов – в обоих случаях течение гидросмеси происходит в сужающемся канале под действием силы тяжести. Эти два накопительных аппарата отличаются геометрическими размерами (зумпф, как правило, значительно больше сгустительной воронки), а также расходами гидросмеси в выводящих патрубках.

При анализе гидродинамических явлений в зумпфах и сгустительных воронках все поле течения можно условно разбить на две зоны: зона приповерхностного слоя незначительной толщиной, в которой осуществляется течение от подающего устройства на водослив через борт воронки, и зона основного течения вниз, которое реализуется ниже сечения уровня перелива. Течение в приповерхностном слое осуществляется в основном радиально по направлению от подающего устройства к сливному борту воронки. Во время этого течения происходит осветление текущего слоя за счет его разгрузки в основной поток, где течение можно считать одномерным, направленным вертикально вниз [1, 2].

Таким образом, в основную зону течения накопительного аппарата поступает секундный расход $Q_1 = Q - \Delta Q$, а общий секундный объем, уходящий в слив через борт воронки, составляет ΔQ . За счет перелива происходит первоначальное сгущение потока с расходом Q и концентраций φ_n до потока с расходом Q_1 и концентрацией $\varphi_n - \varphi_{осв}$, поступающего в зону основного течения. Степень этого сгущения зависит от величины расхода слива ΔQ , диаметра верхнего края воронки D_1 и начальной концентрации гидросмеси. Объемная доля твердого в сливе [1, 2]

$$\varphi_{\text{осв}} = \left(1 - 0.252 \frac{\pi D_1^2}{\Delta Q} w_0 (1 - \varphi_H)^x \right) \varphi_H. \quad (4)$$

$$w_0 = \begin{cases} \frac{d^2 g Ar (1 + 0.0337t + 0.000221t^2)}{18\nu_0 (1 + 2,5S_1 + 10,05S_1^2)} & \text{ламинарный} \\ 1,63\sqrt{Ardg} & \text{турбулентный} \\ \frac{17.68d + 0.005(t - 26)}{26\sqrt{d}} & \text{переходный} \end{cases}$$

где w_0 – гидравлическая крупность частиц в безграничной покоящейся жидкости; d – диаметр частиц ценного компонента; ν_0 – кинематический коэффициент вязкости жидкости при 0°C ; t – температура воды после гидромонитора.

Из анализа полученных результатов следует, что возможности использования перелива через сливной борт для предварительного сгущения гидросмеси в накопительных аппаратах весьма ограничены: при заданных геометрических размерах аппарата, расходах твердой и жидкой фаз разгрузиться может только сравнительно тонкий слой, а использование слоя большой толщины неэффективно, поскольку большая часть твердого из такого слоя не успевает разгрузиться и уходит в слив.

Величина расхода ΔQ определяется гидравлическими характеристиками зумпфа или сгустительной воронки, а также диаметром и количеством трубопроводов, отводящих гидросмесь, от которых зависит величина Q_1 . При выбранных параметрах накопительного аппарата и распределяющих трубопроводов зумпф или сгустительная воронка способны обеспечить только определенный расход гидросмеси заданной концентрации, а остальная часть поступающей в нее пульпы будет уходить в слив. Поэтому зумпф иногда работает в режиме «без перелива», когда верхний приповерхностный слой отсутствует, и высота гидросмеси в зумпфе определяется разностью поступающего и отбираемого расходов.

Анализ процессов, протекающих в зумпфах и сгустительных воронках, показывает, что для описания этих процессов с учетом температуры гидросмеси может быть использована следующая модель:

$$\frac{d\varphi}{d\zeta} = \frac{(1 - \varphi)^3 \varphi^3}{B_5} F_\varphi; \quad \frac{d\theta}{d\zeta} = \frac{F_\theta}{A_5}; \quad (5)$$

$$F_\varphi = \frac{\pi^2 \Delta^5}{16\psi^2 Fr} B_1 - \frac{B_2}{(1-\varphi)^2} \frac{0.309}{\lg^2\left(\frac{0.147\tau_2 \text{Re}_0}{1+2,5\varphi+10,05\varphi^2}\right)} +$$

$$+ B_3 \frac{9\pi\Delta^3}{\text{Re}_0 \psi \delta^2} \frac{(1+2,5\varphi+10,05\varphi^2)(\varepsilon(1-\varphi)-\varphi)}{\tau_2} + \frac{2B_4}{(1-\varphi)\varphi\Delta} \frac{d\Delta}{d\zeta}$$

$$F_\theta = A_1 \frac{\pi^2 \Delta^5}{16\psi^2 Fr} + \frac{A_2}{(1-\varphi)^2} \frac{0.309}{\lg^2\left(\frac{0.147\tau_2 \text{Re}_0}{1+2,5\varphi+10,05\varphi^2}\right)} +$$

$$+ A_3 (\varepsilon(1-\varphi)-\varphi) \frac{9\pi\Delta^3}{\text{Re}_0 \psi \delta^2} \frac{(1+2,5\varphi+10,05\varphi^2)}{\tau_2} + 2\varepsilon^2 \frac{A_4}{\Delta} \frac{d\Delta}{d\zeta}$$

$$Fr = \frac{Q_1^2}{gD_1 S_1^2}; \delta = \frac{d}{D_1}; \text{Re}_0 = \frac{Q_1 D_1}{\nu_0 S_1}; \Delta = \frac{D}{D_1}; \theta = \frac{\rho S_1^2}{\rho_l \psi^2 Q_1^2}; \zeta = \frac{z}{D}; \rho = \frac{\rho_s}{\rho_l};$$

$$\psi = \left(1 - 0.252 \frac{\pi D_1^2}{\Delta Q} w_0 (1 - \varphi_H)^x \varphi_H\right); \varepsilon = \frac{0.252 \pi D_1^2 w_0 (1 - \varphi_H)^x \varphi_H}{(\Delta Q - 0.252 \pi D_1^2 w_0 (1 - \varphi_H)^x \varphi_H)};$$

$$B_0 = \varphi^4 (\varepsilon^2 \rho - 2) + \varphi^3 (5 + \varepsilon^2 (\rho - 1)) - \varphi^2 3(\rho + 1)\varepsilon^2 - \varphi(7\rho + 3) + (2\rho + 1);$$

$$B_1 = \varphi^2 \{2 - \rho - \rho^2\} - \varphi \{2 - \rho - 4\rho^2\} + \{7 + 2\rho - 4\rho^2\};$$

$$B_2 = 4(2\rho + 1) - (3\rho + 1)\varphi; B_3 = 2\rho + 1 + (2\rho - 1)\varphi - 3\rho\varphi^2;$$

$$B_4 = (\varepsilon^2 \rho - 2)\varphi^3 + (5 - \varepsilon^2)\varphi^2 + \varepsilon^2 (5\rho + 2)\varphi - \varepsilon(2\rho + 1);$$

$$B_5 = (\varphi^4 (\varepsilon^2 \rho - 2) + \varphi^3 (5 + \varepsilon^2 (\rho - 1)) - \varphi^2 3(\rho + 1)\varepsilon^2 - \varphi(7\rho + 3) + (2\rho + 1))(\varphi(\rho - 1) + 2\rho + 1);$$

$$A_1 = (1 - \varphi)^3 [2\rho + 1 - \varphi(\rho + 1)]\varepsilon^2 + \varphi^3 [2\rho + 3 + \varphi(\rho - 3)];$$

$$A_2 = (1 - \varphi)^3 (\rho + 0.5)\varepsilon^2 - 1.5\varphi^3; A_3 = (1 - \varphi)^2 \rho \varepsilon^2 - \varphi^2;$$

$$A_4 = \varphi(\rho - 1) + 2\rho + 1; A_5 = (1 - \varphi)^3 [2\rho + 1 - \varphi\rho]\varepsilon^2 + \varphi^3 (5 - 2\varphi),$$

где S_l – площадь поперечного сечения воронки на уровне z ; ρ_l и ρ_s – собственные плотности воды и твердой фазы; φ – текущая доля твердого в гидросмеси; D_l и D – диаметр верха воронки и диаметр текущего сечения.

Из формул (1) – (5) видно, что влияние температуры на параметры и режимы работы гидротранспортного комплекса и его накопительных аппаратов учитывается величинами τ_0, τ_1, τ_2 , которые зависят от температуры гидросмеси (см. рис.1). Из приведенных графиков видно, что с понижением температуры гидросмеси значения величин τ_0, τ_1, τ_2 снижаются. При этом величины τ_0, τ_2 остаются положительными во всем диапазоне изменения температуры, а величина τ_1 изменяет знак при температуре гидросмеси около 20°C. Меньше всего изменяется величина τ_2 : при возрастании температуры от 0 до 40°C ее значение увеличивается от 1 до 3, тогда как величины τ_1, τ_0 возрастают от –150 до 150 и

от 700 до 1000 соответственно. Однако, как показывают предварительные расчеты, τ_2 наиболее существенно влияет на параметры и режимы работы гидротранспортного комплекса, поскольку τ_1, τ_0 в формулах стоят исключительно под знаком логарифма.

При расчете параметров и режимов работы сгустительной воронки величина Q_1 находится итерационным методом из решения системы уравнений (5). В этом случае давление, расход и концентрация гидросмеси в верхнем сечении зоны основного течения известны, и необходимо определить расход и концентрацию гидросмеси в отводящих трубопроводах. Расчет ведется по следующему алгоритму. Вначале из решения первого уравнения системы (5) для выбранного приближения вычисляется распределение объемной доли твердого по длине сгустительной воронки, а затем путем интегрирования второго уравнения системы (5) определяется давление на выходе из распределительных трубопроводов. Если полученное давление не равно атмосферному, то изменяется значение Q_1 , и итерационный процесс повторяется еще раз.

При расчете параметров и режимов работы зумпфа гидротранспортной установки заданы давление и концентрация в верхнем сечении зоны основного течения, а также расход гидросмеси на входе в отводящий трубопровод. В этом случае расчет проводится по следующему алгоритму. Задается некоторое начальное значение концентрации гидросмеси на выходе из зумпфа а затем система (5) решается до тех пор, пока значение давления не станет равным давлению, заданному в верхнем сечении. Это значение вертикальной координаты считается высотой заполнения зумпфа, для которой задано значение концентрации гидросмеси. Затем из решения первого уравнения системы (5) с новыми граничными условиями в верхнем сечении определяется распределение объемной доли твердого по высоте зумпфа, которое сравнивается с предыдущим приближением. Если полученное значение концентрации гидросмеси в нижнем сечении основной зоны течения мало отличается от значения, полученного на предыдущей итерации, то процесс завершается.

Таким образом, на основании представленных зависимостей (1)-(5) можно смоделировать параметры и режимы работы гидротранспортного комплекса с учетом процессов пульпообразования и сгущения при различных температурах.

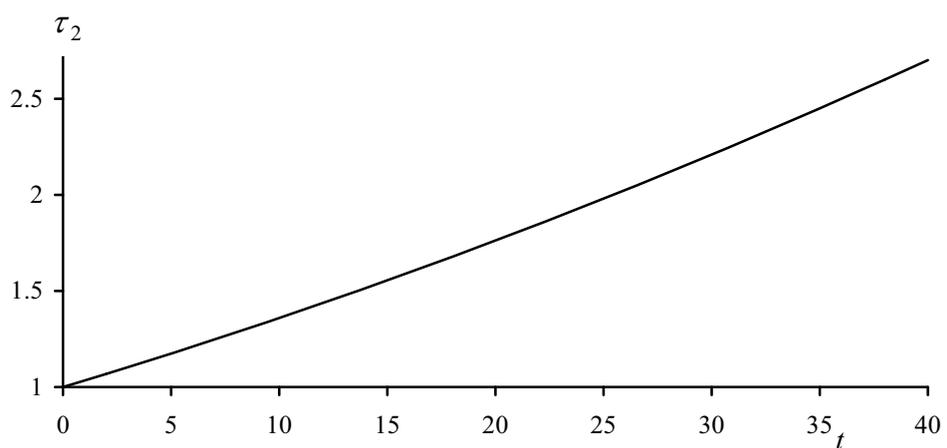
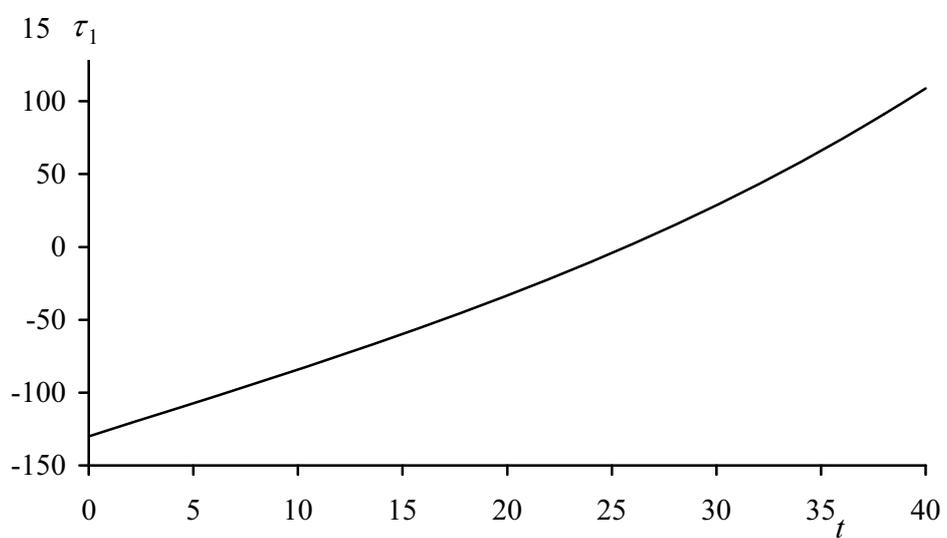
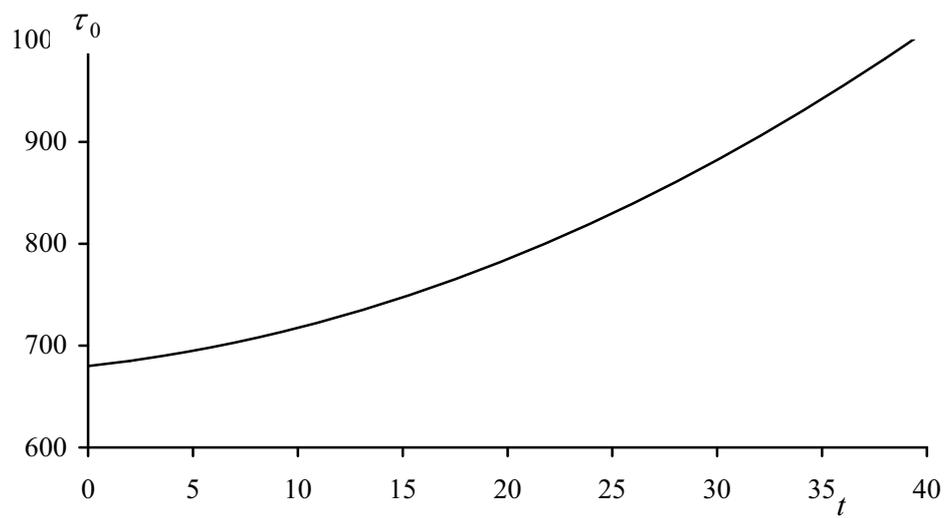


Рис. 1 – Зависимость величин τ_0, τ_1, τ_2 от температуры гидросмеси

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. – Севастополь: «Вебер», 2002. – 247 с.
2. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко и др.. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
3. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. - М.: Недра, 1985.- 287 с.
4. Семененко Е.В., Смоленский Е.С. Оценка возможности тепловой защиты трубопровода гидротранспортной установки внешним покрытием // Обогащение полезных ископаемых, 2002, № 14(55). - С. 68 - 74.
5. Семененко Е.В. Зависимость параметров гидротранспорта от температуры гидросмеси // “Геотехническая механика. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых”, Днепропетровск, 1997, Вып. 2. - С. 80 - 84.
6. Семененко Е.В., Шмелев Н.А. Исследование эффективности тепловой защиты гидротранспортной установки // Геотехническая механика. - Днепропетровск, 2003. - Вып. № 42. - С. 68 – 73.

УДК [622.673.1 : 681.514.54]

Канд. техн. наук В.В. Лопатин
(ИГТМ НАН Украины)

КВАНТОВАНИЕ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЪЕМНОГО СОСУДА С АРМИРОВКОЙ ПО УРОВНЮ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КВАНТОВАНИЯ

У роботі пропонується такий підхід, що для реальних умов дозволить одержати наближену, але достатньо прийнятну з практичної точки зору методику оцінки квантування ударних імпульсів взаємодії підйомної посудини з жорстким армуванням. Показано, що погрішність квантування при розрядності АЦП апаратури експрес-діагностики динамічного стану системи “підйомна посудина-жорстке армування” більш десяти не робить істотного впливу на точнісні характеристики виміру параметрів коливань підйомної посудини, і очевидна перевага АЦП циклічної дії (методів інтегрування), що має меншу погрішність.

QUANTIZATION OF SHOCK PULSES OF INTERACTION OF A LIFTING DEVICE WITH STIFF REINFORCEMENT AND TECHNIQUE OF AN ESTIMATION OF QUANTIZATION

The work offers such approach which for real conditions will allow to receive approached, but acceptable enough from the practical point of view technique of an estimation of quantization of shock pulses of interaction of an elevating vessel with stiff reinforcement . Is shown, that the error of quantization at word length analogy-to-digital transformer of the equipment of express train - diagnostics of a dynamic condition of system " a lifting device - stiff reinforcement" more to than ten does not render essential influence on accuracy parameters of the characteristic's measurement of fluctuations parameters of an elevating vessel, the advantage analogy-to-digital transformer of cyclic action (methods of integration), having a smaller error is obvious.

Исследованиям статистических свойств квантового сообщения и погрешностей квантования посвящено большое количество работ. В общем случае вероятностные характеристики погрешностей квантования зависят от многих причин и являются весьма сложными. Поэтому автором предлагается такой подход, который для реальных условий позволит получить приближенную, но достаточно приемлемую с практической точки зрения методику оценки квантования ударных импульсов взаимодействия подъемного сосуда с армировкой.