УДК 622.648

В.П.ДОКУКИН, *д-р техн. наук, профессор, vadimdok@hotbox.ru*
А.А.ВЕЛЬНИКОВСКИЙ, *аспирант, velnikov@gmail.com*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

V.P.DOKUKIN, *Dr. in eng. sc., professor, vadimdok@hotbox.ru*
A.A.VELNIKOVSKIY, *post-graduate student,* v*elnikov@gmail.com*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ УДАЛЕНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ УДАЧНИНСКОГО ГОКа

Рассмотрены пути повышения эффективности работы гидротранспортных систем. Разработана методика определения наиболее выгодных режимов работы ГТУ. Выполнен расчет основных характеристик потока пульпы при изменении крупности, плотности и количества поступившего в процесс обогащения твердого материала для гидротранспортной установки обогатительной фабрики.

Ключевые слова: гидротранспорт, повышение эффективности, оптимальные параметры эксплуатации, пульпа, гидросмесь, гидротранспортная установка, энергоемкость транспортирования.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SYSTEM OF DELETING WASTE ON UDACHNY GOK

Examined ways to improve the efficiency of hydrotransport systems. A method for determining the most advantageous modes of GTP. The calculation of basic characteristics of the flow of pulp when the grain size, density and quantity released to the enrichment of solid material to installation hydrotransport concentrator.

Key words: hydrotransport, efficiency and optimal operating parameters, pulp, slurry, hydrotransport installation, energy transportation.

Известно, что эффективность работы обогатительной фабрики, а в конечном итоге – конкурентоспособность производимой продукции, существенно зависит от эффективности работы системы гидротранспорта хвостов обогащения. Уровень надежности работы гидротранспортной системы и ее эффективность формируются на стадии ее проектирования и поддерживается в процессе эксплуатации.

Различают два этапа обеспечения эффективности гидротранспортной установки (ГТУ): определение оптимальных параметров конструкции при проектировании и определение наиболее выгодных параметров режимов ее эксплуатации.

Для первой задачи характерна возможность изменения не только параметров режима работы установки, но и параметров конструктивных, таких как диаметр трубопроводов, характеристики пульпонасосных станций и их количество по трассе и другие. Этот вид оптимизации выполняется на стадии разработки проекта ГТУ.

Для второй задачи характерна возможность изменения только параметров режима работы построенной и находящейся в эксплуатации установки без изменения конструктивных характеристик. Выполняется непрерывно в период эксплуатации ГТУ.

Наиболее эффективными параметрами для корректировки состояний ГТУ являются концентрация и рабочая скорость потока пульпы. Эти параметры оказывают наибольшее воздействие и на значения конструктивных характеристик, и на режимы работы ГТУ.

При оптимизации режимов эксплуатации ГТУ необходимо учитывать ряд особенностей:

– неизменный диаметр трубопровода D (выбран на основе оптимизации проектного варианта ГТУ);

– независимость фонда зарплаты от колебаний значений рабочих параметров потока;

– количество перекачных пульпонасосных станций может только уменьшаться (поток пульпы проходит мимо очередной ПНС, если напора предыдущей ПНС достаточно для устойчивой эксплуатации ГТУ) и это изменение можно свести к учету только количества рабочих насосов;

– диапазоны колебаний характеристик потока пульпы ограничивают возможности управлений режимом работы.

В Санкт-Петербургском горном институте разработана методика определения наиболее выгодных характеристик ГТУ [3,4] на основе метода базовой точки [1].

Последовательность расчетов следующая.

1. Рассчитывают характеристики базового варианта ГТУ: диаметр трубопровода ($D_б$), критическую скорость потока ($V_{кр.\ б}$), гидравлическое сопротивление движению потока ($i_{п.\ б}$), плотность пульпы ($\rho_{п\ б}$), суммарный напор ($H_{с\ б}$) и количество перекачных станций ($n_{с\ б}$), удельный износ труб по формуле [2]:

$$\Delta = \frac{8{,}17\, d_{ср}\, c^{0,66}\, v^{2,5}\, D}{(\rho_{тв} - \rho_{в})\dfrac{1}{\rho_{в}}},$$

где $d_{ср}$ – средневзвешенный диаметр частиц, мм; c – объемная концентрация пульпы

2. Оптимальное значение скорости потока пульпы

$$V_{опт} = V'\left(\frac{\theta'_1}{3{,}2\left(\dfrac{V_{опт}}{V'}\right)^{-0,4} + 4\theta'_2}\right)^{0,4},$$

где θ'_1 и θ'_2 – критерии подобия,

$$\theta'_1 = \frac{D'(3{,}08 a_2 \delta L r + 18{,}7 \cdot a_3)}{\psi'_1};$$

$$\theta'_2 = \frac{a_4 \Delta'}{\psi'_1},$$

δ – толщина стенки трубопровода, мм; r – отношение длины трубопровода к длине трассы; a_i – коэффициенты, полученные экспериментально для конкретной ГТУ,

$$\psi'_1 = \frac{11{,}8 a_1 L i_n' \rho'_n}{\eta \rho_m c'} + (1{,}53 a_1 + a_5)\frac{1200 L i_n}{H_c} n'.$$

Здесь штрихом отмечены параметры со значениями базового варианта.

Так как $V_{опт}$ входит и в правую, и в левую часть уравнения, то рекомендуется вначале подставить в правую часть $V_{опт} = 0{,}95V'$ и повторить расчет 3-4 раза (циклично) с подстановкой нового значения $V_{опт}$. Следует иметь в виду, что скорость транспортирования не может быть менее критической. Если это условие нарушается, то принимается $V_{опт} = V_{кр}$

3. Оптимальное значение концентрации:

$$C_{опт} = C'\left(\frac{1}{2\theta'_3 + 0{,}32\,\theta'_4 (C_{опт}/C')^{-0,84}}\right)^{0,7};$$

$$\theta'_3 = \frac{\dfrac{a_1(\rho_n - 1)}{102\,\eta\rho_{тв}}(1200\, L i_n + \Delta Z \cdot c')}{\psi'_2};$$

$$\theta'_4 = \frac{a_4 \Delta'}{\psi'_2};$$

$$\psi_2 = D'(3{,}08 a_2 L r \delta + 1{,}53 a_3) + \frac{0{,}02(\pm\Delta Z) a_1}{\eta \rho_m c'},$$

здесь ΔZ – перепад высоты начала и конца трассы (со знаком «–»при движении пульпы вниз), м. Уравнение решается методом итерации.

Первое значение $C_{опт}$ можно вычислить по формуле

$$c_{опт} = c'0{,}5\,\psi'_2 /(a_1(\rho_{тв} - 1) \times (1200 L i_n + \Delta Z c')/ /(102\eta\rho_{тв}) + 0{,}15 a_4 \Delta').$$

Число итераций также 3-4.

4. Оптимальные характеристики проектируемой ГТУ.

Диаметр трубопровода

$$D_{\text{опт}} = 0{,}0188\sqrt{\frac{Q'_n c'}{V_{\text{опт}} c_{\text{опт}}}},$$

где $V_{\text{кр. опт}}$ – критическая скорость потока; $i_{\text{п. опт}}$ – гидравлическое сопротивление движению потока; $\rho_{\text{п опт}}$ – плотность пульпы; $H_{\text{с опт}}$ – суммарный напор, пересчитанный на пульпу повышенной концентрации; $n_{\text{с опт}}$ – количество перекачных станций.

В связи с большим объемом расчетов характеристик ГТУ и необходимостью рассмотрения различных вариантов сочетания значений исходных данных разработан пакет программ для ЭВМ, с помощью которого выполняется поиск оптимальных значений рабочих параметров.

Расчет выполнен применительно к условиям гидротранспортной установки обогатительной фабрики №12 Удачнинского ГОК на напорном участке от пульпонасосной станции №1 до торцового сброса распределительного трубопровода.

Характеристика системы:

Трасса – отметки высоты: на всасе насоса ПНС-1359,0 м, на торцевом выпуске 407,0 м; длина трубопровода 9560 м; внутренний диаметр трубы $D = 0{,}99$ м, толщина стенки 12 мм; отношение общей длины трубопровода к длине трассы $r = 1{,}4$.

Пульпа – расход твердого материала $Q_{\text{тв}} = 1500$ т/ч, плотность $\rho_{\text{тв}} = 2{,}82$ т/м^3, крупность частиц $d_{\text{ср}} = 0{,}55$ мм, при исходной концентрации пульпы $c = 0{,}07$ расход пульпы составит $Q_{\text{п}} = 7600$ м^3/ч.

Экспериментально установлено, что удельные потери напора на футерованном участке трубопровода ($D_{\text{вн}} = 0{,}896$ мм, $V_{\text{р}} = 3{,}35$ м/с) составляют 0,024 м/м, трубопровод работает без заиления (т.е. критическая скорость менее 3,3 м/с), пульпа перекачивается в дальнюю точку трассы с помощью трех насосных станций насосами типа 1ГрТ 4000/71.

Расчетные характеристики базового варианта: критическая скорость $V_{\text{кр}} = 3{,}04$ м/с; плотность пульпы $\rho_{\text{п}} = 1{,}13$ т/м^3; удельные потери напора $i_{\text{п}} = 0{,}0211$ м/м; суммарные потери напора $H_{\text{с}} = 297$ м.в.с.; относительный износ труб

$$\Delta = 8{,}17 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}07^{\,0{,}66} \cdot 3{,}35^{\,2{,}5} \times \\ \times 0{,}896/(2{,}82 - 1) = 7{,}84.$$

Расход мощности $N_{\text{с}} = 30253$ кВт, удельный расход мощности $E = 20.03$ кВт/т.

Критерии подобия

$$\psi'_1 = \frac{11{,}8 \cdot 0{,}03 \cdot 9{,}56 \cdot 0{,}0211 \cdot 1{,}13}{0{,}8 \cdot 2{,}82 \cdot 0{,}07} + \\ + (1{,}53 \cdot 0{,}03 + 0{,}024) \times \\ \times \frac{1200 \cdot 9{,}56 \cdot 0{,}0211}{297} \cdot 3 = 0{,}71$$

$$\theta'_1 = 0{,}896(3{,}08 \cdot 0{,}0015 \cdot 12 \cdot 9{,}56 \cdot 1{,}4 + \\ + 18{,}7 \cdot 0{,}021)/0{,}71 = 1{,}43;$$

$$\theta'_2 = \frac{0{,}01 \cdot 7{,}84}{0{,}71} = 0{,}11;$$

$$\psi_2 = 0{,}896 \cdot (3{,}08 \cdot 0{,}015 \cdot 9{,}56 \cdot 1{,}4 \cdot 12 + \\ + 1{,}53 \cdot 0{,}021) + \frac{0{,}02 \cdot 48 \cdot 0{,}03}{0{,}8 \cdot 2{,}82 \cdot 0{,}07} = 0{,}68;$$

$$\theta'_3 = \frac{(1200 \cdot 9{,}56 \cdot 0{,}0211 + 48 \cdot 0{,}07)}{0{,}68} \times \\ \times \frac{0{,}03(1{,}13 - 1)}{102 \cdot 0{,}8 \cdot 2{,}82} = 0{,}081;$$

$$\theta'_4 = \frac{0{,}01 \cdot 7{,}84}{0{,}68} = 0{,}116.$$

Расчетами получено значение оптимальной скорости потока, которое меньше значения критической, что недопустимо. Поэтому в качестве оптимальной принято значение критической скорости, т.е. $V_{\text{опт}} = 3{,}04$ м/с. После трех циклов расчетов получено значение оптимальной концентрации потока

$$C_{\text{опт}} = 0{,}07/\left(2 \cdot 0{,}081 + 0{,}32 \times 0{,}116 \times \right. \\ \left. \times (0{,}2/0{,}07)^{-0{,}84}\right)^{0{,}7} = 0{,}237.$$

Дальнейшие расчеты позволили определить следующие характеристики ГТУ:

– удельные потери напора $i_{\text{п}} = 0{,}0565$ м/м; суммарные потери напора $H_{\text{с}} = 716{,}9$ мвс; плотность пульпы $\rho_{\text{п}} = 1{,}431$ т/м^3; $D_{\text{опт}} = 0{,}511$ м; суммарный расход мощности

N_c = 26575 кВт, удельный расход мощности E = 17,72 кВт/т.

Таким образом, оптимальный вариант обеспечивает снижение металлоемкости трубопровода и расхода энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арсеньев Ю.Д.* Теория подобия в инженерных экономических расчетах. М.: Высшая школа, 1967. 430 с.

2. *Дмитриев Г.П* Напорные гидротранспортные системы: Справочное пособие / Г.П.Дмитриев, Л.И.Махарадзе, Т.Ш Гочиташвили. М.: Недра, 1991. 304 с.

3. *Докукин В.П.* Формирование системы для оптимизационного исследования (на примере гидротранспорта хвостов) // Горные машины и электромеханика. 2000. № 3. С. 27-30.

4. *Докукин В.П.* Решение задачи моделирования сложных технических систем // Гидравлика и пневматика. 2002. № 5. С. 5-8.

REFERENCES

1. *Arseniev Y.D.* Similarity theory in engineering economic calculations. Moscow: Higher School, 1967. 430 p.

2. *Dmitriev S.E.* Pressure hydrotransport system. Handbook / S.E.Dmitriev, L.I.Makharadze, T.Sh.Gochitashvili. Moscow: Nedra, 1991. 304 p.

3. *Dokukin V.P.* Formation of the system for optimization studies (for example, hydraulic tail) / / Mining Machinery and Electromechanics. 2000. N. 3. P. 27-30.

4. *Dokukin V.P.* Solution to the problem of modeling of complex technical systems // Hydraulics and Pneumatics. 2002. N. 5. P. 5-8.