

**Е.В. Семененко, канд. техн. наук**

(Украина, Днепропетровск, Институт геотехнической механики НАНУ)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ВНУТРИФАБРИЧНОЙ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Гидротранспортные установки широко используются в технологиях добычи и обогащения минерального сырья. В случаях, когда перемещение перерабатываемого материала от места добычи к месту обогащения осуществляется напорным гидротранспортом, а в технологии обогащения используются гравитационные методы, то режимы работы внутрифабричных и магистральных гидротранспортных установок становятся взаимозависимыми. В этом случае производительность магистральной гидротранспортной установки ограничивается производительностями внутрифабричных установок, а мгновенная концентрация, гранулометрический и фракционный состав транспортируемого материала для внутрифабричных установок определяется параметрами магистральной установки [1-3]. В этом случае изменение характеристик материала подаваемого на обогащения или колебание концентрации гидросмеси, которое неизбежно при существующих технологиях пульпоприготовления, приводит к изменению подачи внутрифабричных гидротранспортных установок, меняет потребляемую их электродвигателями мощность, частоту вращения рабочего колеса.

Поскольку для внутрифабричных гидротранспортных установок обычно используются насосные агрегаты, состоящие из насосов центробежного типа и асинхронных, короткозамкнутых электродвигателей [3-5], то изменение потребляемой насосом мощности и частоты вращения рабочего колеса приводит к изменению скольжения и потребляемой электродвигателем мощности. Очевидно, что режим работы такой внутрифабричной гидротранспортной установки, после изменения концентрации гидросмеси или свойств транспортируемого материала, будет определяться как расходно-напорной характеристикой насоса, так и рабочими характеристиками асинхронного двигателя.

При проектировании внутрифабричных гидротранспортных установок мощность электродвигателя выбирается с определенным запасом, величина которого регламентирована [1,2,6-8], однако в условиях производства на сегодняшний день не всегда возможно заменить отказавший электродвигатель на точно такой же, что приводит или к снижению коэффициента запаса, или к завышению мощности электродвигателя по сравнению с проектной. Асинхронные электродвигатели являются основными источниками реактивной мощности в распределительных сетях обогатительных фабрики. Для снижения реактивной мощности иногда устанавливают на внутрифабричные гидротранспортные установки электродвигатели с мощностью меньшей, рекомендованной при проектировании [4,9]. В результате режим работы внутрифабричной гидротранспортной установки, рассчитанный без учета рабочих характеристик используе-

мого электродвигателя может оказаться невозможным по причине перехода электродвигателя в неустойчивую область [3,10].

Таким образом, для внутрифабричных гидротранспортных установок рассматриваемого вида существует проблема определения необходимой мощности и частоты вращения используемого электродвигателя с учетом резкого изменения свойств и концентрации транспортируемого материала.

Решение рассматриваемой проблемы позволит повысить надежность и стабильность работы внутрифабричных гидротранспортных установок, снизить убытки, вызванные их аварийными остановками, и тем самым повысить эффективность функционирования обогатительной фабрики в целом.

Вопросы выбора электродвигателя для насосных агрегатов внутрифабричной гидротранспортной установки обычно осуществляется по показателям назначения насоса, после расчета параметров установки в рабочей точке [1,2,6,7]. Этот подход предполагает выбирать электродвигатель по известной мощности на валу, которая рассчитывается с некоторым запасом. При этом изменение мощности и режима работы установки в результате колебаний концентрации и свойств транспортируемого материала рассчитывается без учета рабочих характеристик электродвигателя. Этот метод применим, в случае если мощность электродвигателя выбрана с достаточным запасом.

Известны работы, в которых исследуется зависимость между допустимыми величинами скольжения асинхронного электродвигателя и гидродинамическими параметрами насоса и магистрали [3,7]. Однако, предлагаемые в них методики не учитывают изменения параметров и режима работы насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса, что имеет место при изменении скольжения. В некоторых работах зависимость подачи насоса гидротранспортной установки от частоты вращения предлагается описывать степенной функцией [6]. Однако при этом нарушаются законы подобия, поскольку не авторами используется парабола подобных режимов [11].

Для достоверного обоснования рабочих характеристик асинхронного электродвигателя внутрифабричной гидротранспортной установки рассматриваемого вида требуется разработка математической модели этой установки, которая описывает параметры и режимы работы с учетом рабочих характеристик электродвигателя, а подачу насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса определяет согласно параболе подобных режимов. Создание такой модели и является целью данной публикации.

Для условий внутрифабричных гидротранспортных установок расходно-напорные характеристики трубопровода и насоса могут быть представлены функциями вида [1,2,6,7]:

$$h(Q) = \alpha Q^2 + \frac{\beta}{Q} + \gamma; \quad (1)$$

$$H(Q) = c - bQ - aQ^2, \quad (2)$$

где  $h(Q)$  - расходно-напорная характеристика трубопровода установки;  $Q$  - подача установки;  $\alpha, \beta, \gamma$  - коэффициенты, учитывающие влияние свойств транспортируемых частиц и параметров трубопровода [1,2,6,7];  $H(Q)$  - расходно-напорная характеристика трубопровода;  $a, b, c$  - коэффициенты аппроксимации расходно-напорной характеристики трубопровода [1,2,6,7].

При изменении концентрации, гранулометрического или фракционного состава транспортируемого материала в поступающей гидросмеси изменяются величины  $\alpha, \beta, \gamma, a, b, c$  и подачу установки в старом и новом режимах определяют из соответствующих уравнений

$$(\alpha + a)Q^3 + bQ^2 + (\gamma - c)Q + \beta = 0; \quad (3)$$

$$(\alpha_1 + a)Q_1^3 + bQ_1^2 + (\gamma_1 - c)Q_1 + \beta_1 = 0; \quad (4)$$

где  $Q$  - подача установки в исходном режиме (до изменения параметров транспортируемого материала);  $\alpha, \beta, \gamma$  - коэффициенты, расходно-напорной характеристики трубопровода в исходном режиме;  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  - коэффициенты, расходно-напорной характеристики трубопровода в новом режиме;  $Q_1$  - подача установки в новом режиме (после изменения параметров транспортируемого материала).

В соответствии с требованиями подобия режимов работы насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса значение подачи, по которому пересчитывается характеристика насоса, находится как точка пересечения параболы подобных режимов насоса с расходно-напорной характеристикой трубопровода [11]. Для случая уравнений (3) и (4) значение подачи, по которому пересчитывается характеристика насоса, определяется так

$$Q_* = 0.5 \frac{\sqrt{(b^2 + 4c[a + \alpha_1])Q_1^6 + 4c\gamma_1 Q_1^4 + 4c\beta_1 Q_1^3 - b}}{(a + \alpha_1)Q_1^3 + \gamma_1 Q_1 + \beta_1}, \quad (5)$$

а новое значение подачи установки вычисляется из уравнения

$$c - bQ_1 - aQ_1^2 = \Omega^2 (c - bQ_* - aQ_*^2). \quad (6)$$

Параметр  $\Omega$  учитывает параметры используемого электродвигателя и рассчитывается с использованием формулы Клосса [10] по формулам

$$\Omega = \frac{1 + \nu \lambda s_{kp}^2 - \sqrt{(\lambda^2 s_{kp}^2 - 4)\nu^2 - 2s_{kp}^2(\lambda - 2)\nu + 1}}{1 + \nu_* \lambda s_{kp}^2 - \sqrt{(\lambda^2 s_{kp}^2 - 4)\nu_*^2 - 2s_{kp}^2(\lambda - 2)\nu_* + 1}} \frac{1 + \nu_*}{1 + \nu}; \quad (7)$$

$$v_* = \frac{\rho g Q (c - bQ - aQ^2)}{\omega_o s_{kp} (2 + \lambda s_{kp}) M_{\max} \eta}; \quad (8)$$

$$v = \frac{\rho_1 g Q_1 (c - bQ_1 - aQ_1^2)}{\omega_o s_{kp} (2 + \lambda s_{kp}) M_{\max} \eta_1}; \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{2r_1}{C_1 r_2'}; \quad (10)$$

$$C_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}}; \quad (11)$$

$$M_{\max} = \frac{pm_1 U_1^2}{2\omega_o C_1 \left( r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2} \right)}; \quad (12)$$

$$s_{kp} = \frac{C_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}}, \quad (13)$$

где  $s_{kp}$  - критическое значение скольжения электродвигателя;  $x_1$  - индуктивное сопротивление статора;  $x_2'$  - индуктивное сопротивление ротора, приведенное к статору;  $x_{12}$  - главное индуктивное сопротивление взаимной индукции обмоток статора;  $r_1$  - реактивное сопротивление статора;  $r_2'$  - реактивное сопротивление ротора, приведенное к статору;  $p$  - число полюсов статора;  $U_1$  - напряжение на зажимах статора;  $\rho$ ,  $\rho_1$  - старое и новое значение плотности гидросмеси;  $g$  - ускорение свободного падения;  $\eta$ ,  $\eta_1$  - КПД насоса при старом и новом значении подачи.

Уравнение (6) существенно не линейно относительно  $Q_1$  и его решение может быть получено только численными методами, например методом деления отрезка пополам. Полученное значение подачи насоса необходимо сравнить с критическим значением подачи для новых параметров материала и концентрации гидросмеси, и если оно больше критического, то можно необходимо оценить требуемую для его реализации мощность.

По известному значению подачи, с учетом формулы (2), мощность потребляемая насосом установки будет

$$N = \rho g \frac{c - bQ_1 - aQ_1^2}{\eta} Q_1, \quad (14)$$

где  $\rho$  - плотность гидросмеси;  $g$  - ускорение свободного падения.

Новая частота вращения рабочего колеса, с учетом формулы (5), определяется по формуле:

$$n_1 = \frac{2Q_1 \left[ (a + \alpha_1) Q_1^3 + \gamma_1 Q_1 + \beta_1 \right]}{\sqrt{(b^2 + 4c[a + \alpha_1]) Q_1^6 + 4c\gamma_1 Q_1^4 + 4c\beta_1 Q_1^3} - b} n, \quad (15)$$

где  $n$ ,  $n_1$  - частота вращения рабочего колеса соответственно при старом и новом режиме работы.

Зная частоту вращения ротора асинхронного электродвигателя несложно определить его скольжение. Сравнивая величину скольжения, рассчитанные на основании формулы (15), с критическим скольжением, и значение мощности, вычисленное по формуле (14), с мощностью установленного электродвигателя можно сделать заключение относительно возможности реализации нового режима для рассматриваемой внутрифабричной гидротранспортной установки.

На основании приведенной математической модели внутрифабричной гидротранспортной установки, формулы (1)-(15), возможен расчет параметров и режимов работы как насоса так и электродвигателя при изменении параметров и концентрации транспортируемого материала, с учетом рабочих характеристик установленного электродвигателя. Разработанная модель позволяет прогнозировать режимы работы внутрифабричных гидротранспортных установок при замене электродвигателя на менее мощный, а также проводить оценку надежности этих режимов.

### Список литературы

1. Джваршеишвили А.Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий. - М.: Недра, 1981. - 384 с.
2. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы: Справ. пособие. - М.: Недра, 1991. - 304 с.
3. Семененко Е.В. Выбор диапазона регулирования насосного агрегата с учетом параметров электродвигателя // Науковий вісник Національної гірничої академії України. - 2001. - №5. - С. 101 - 103.
4. Сокил А.М., Скосырев В.Г., Шкрабец Ф.П. Проблемы энергосбережения и надежности в технологиях добычи и переработки россыпей. - Днепропетровск: Полиграфист, 2000. - 195 с.
5. Булат А.Ф., Семененко Е.В., Сокил А.М. Согласование параметров насоса и электродвигателя насосного агрегата // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. - техн. зб. - 2002. - Вип. 68.- С. 117 - 123.
6. Тимошенко Г.М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах. - К: Вища шк., 1986. - 127 с.
7. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. - Севастополь: «Вебер», 2002. - 247 с.
8. Гаркушин Ю.К., Смирнов В.В. Надежность и эффективность оборудования углеобогачительных фабрик. - Днепропетровск: Поліграфіст, 1999. - 182 с.
9. Изучение взаимозависимого влияния показателей надежности обогатительного оборудования и систем электроснабжения на надежность и эффективность технологий обогащения: Отчет о НИР (промежуточный) / ИГТМ НАН Украины; Рук. Б. Блюсс. - №ГР 0199U001649. - Днепропетровск, 2001. - 66 с.
10. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / Гл. ред. И.Н. Орлов и др. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 712 с.

11. Алексеев А.А., Брюховецкий О.С. Горная механика. – М.: Недра, 1995. – 413 с.