

9. Новожилов М.Г., Пригунов А.С., Бро С.М. Проблемы внедрения поточной технологии на карьерах // Горный журнал. – 1998. - №1. – С. 18-20.

10. Пригунов А.С. Перспективная технология разработки взорванных скальных пород комплексами машин непрерывного действия на железорудных карьерах Украины // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2001. - №4. – С. 61-64.

УДК 622.532:622.751.001.57

Е.В. Семененко

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНОГО АГРЕГАТА В ТЕХНОЛОГИИ С ГРАВИТАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ОБОГАЩЕНИЯ

Розроблена модель технологічного вузла, що включає насосну установку, яка подає гідросуміш до сгущувальної лійки, перелив гідросуміші з якої надходить до зумпфу насоса. Запропонована методика розрахунку раціональних параметрів трубопроводів такої установки, які забезпечують задану подачу гідросуміші та її регламентований об'єм, що циркулює в технологічному вузлі.

THE PUMP UNIT WORKING CONDITIONS' SIMULATION IN THE TECHNOLOGY WITH GRAVITATIONAL TREATMENT METHODS

The model of the process unit is elaborated which includes the pumping facility that inputs the hydraulic liquid to the thickening funnel, the overflow from which trends to the pump unit sump. The procedure of calculation of pumping facility pipelines rational parameters is offered which ensures the hydraulic liquid prescribed input and regulated volume that circulates in process unit.

В настоящее время для горных предприятий Украине задача удешевления процесса производства с целью снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции является особенно актуальной. Без этого невозможны эффективная конкуренция с зарубежными горнодобывающими концернами и устойчивое развитие страны. Как показывает опыт зарубежных государств и стран СНГ, эта проблема должна решаться с учетом экологических и экономических требований сегодняшнего дня, поскольку процессы обогащения минерального сырья требуют существенных затрат экологических и энергетических ресурсов.

Известно, что существующие технологии обогащения основаны на гравитационных методах, для которых характерны большие объемы потребления воды и электроэнергии. При этом значительная часть потребляемой электроэнергии обусловлена циркуляцией воды и гидросмеси внутри обогатительного передела [1-3]. Поэтому для таких технологий возможно существенное снижение себестоимости обогащения за счет уменьшения объемов циркуляции.

Эта проблема исследовалась многими авторами [1-5]. Основной причиной высоких объемов жидкости, циркулирующей внутри технологического процесса, считается несогласованность параметров и режимов работы отдельных обогатительных аппаратов, а также обогатительного оборудования и насосных установок, которые обеспечивают подачу гидросмеси [2, 3, 6]. Известны исследования, направленные на повышение эффективности процессов обезвоживания и сгущения гидросмесей в технологиях обогащения с целью снижения объемов

потребляемой и циркулирующей воды [7]. Исследовано влияние различных видов байпасирования насосов для согласования параметров оборудования с целью снижения водопотребления [5]. Однако в этих исследованиях не рассматривалась взаимная зависимость режимов работы обогатительного оборудования и насосной установки, не рассматривалось влияние вспомогательного оборудования, которое используется для стабилизации параметров процесса.

В большей части технологий обогащения россыпей применяются сгустительные воронки, которые используются как емкости для аккумуляции гидросмеси, как вспомогательное оборудование, которое обеспечивает стабильность подачи гидросмеси в обогатительные аппараты, как аппараты для обесшламливания пульпы, а также непосредственно для сгущения гидросмеси перед некоторыми операциями [1-7].

Чаще всего сгустительная воронка располагается между насосной установкой и обогатительным аппаратом, и именно ее режимом работы определяются параметры течения в обогатительном оборудовании. Поэтому точная оценка объемов потребляемой и циркулирующей в технологическом процессе воды возможна только на основании анализа режимов работы насосной установки совместно со сгустительной воронкой.

Целью статьи является разработка модели технологического узла «насосная установка + сгустительная воронка», позволяющие рассчитывать параметры трубопроводов, обеспечивающие заданный объем циркулирующей гидросмеси.

Насосные установки в технологиях обогащения россыпей перемещают гидросмесь на относительно небольшие расстояния. Средняя длина трубопроводов составляет 20-30 м, а средняя геометрическая высота подъема гидросмеси (от 15 до 20 м) сопоставима с длиной трубопроводов [2,5,7,8]. Типичная насосная установка, обеспечивающая подачу гидросмеси в сгустительную воронку, перелив из которой возвращается в зумпф насоса (см. рис 1), состоит из зумпфа (1), насосного агрегата (2), напорной магистрали (3), сгустительной воронки (4) и магистрали, обеспечивающей сток перелива сгустительной воронки (5).

Исследование режимов работы сгустительных воронок в технологиях обогащения россыпей показывает, что величина расхода гидросмеси на обогатительное оборудование, который обеспечивает сгустительная воронка, определяется высотой воронки, длиной, диаметром и числом распределительных трубопроводов, отходящих от ее дна, а также концентрацией гидросмеси:

$$G = f(h, l, d, n, S), \quad (1)$$

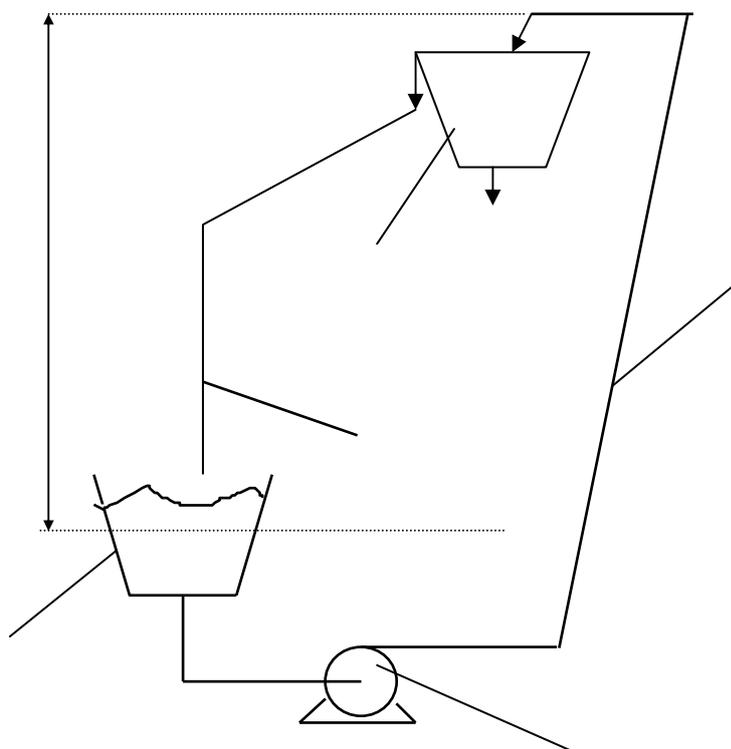
где: G - производительность сгустительной воронки по гидросмеси; h - высота сгустительной воронки; l, d, n - длина, диаметр и число распределительных трубопроводов.

Таким образом, сгустительная воронка работает в регламентированном режиме только тогда, когда подача насосной установки больше величины G . Если это условие не выполняется, то перелив гидросмеси через сливной порог воронки отсутствует, и требуемая подача в обогатительное оборудование не обеспечивается. Гидросмесь, которая переливается через сливной порог сгустительной воронки,

тельной воронки, по специальному трубопроводу направляется в зумпф насосной установки и затем снова поступает в сгустительную воронку. Следовательно, величина циркулирующей нагрузки будет определяться так:

$$\Delta Q = Q - G(h, n, d, S). \quad (2)$$

Если величина ΔQ мала, то не исключается вероятность нарушения технологического режима, если она велика, то возрастают энергозатраты процесса обогащения, а также становится возможным переполнение сливного лотка сгустительной воронки.



- 1 - зумпф; 2 – насосный агрегат; 3 – напорная магистраль; 4 – сгустительная воронка;
5- магистраль, обеспечивающая сток перелива сгустительной воронки.

Рис. 1 - Схема насосной установки, обеспечивающей подачу гидросмеси в сгустительную воронку, перелив из которой возвращается в зумпф насоса

Расходно-напорная характеристика магистрали насосной установки при перемещении полидисперсной гидросмеси рассчитывается по формуле [5,8]

$$H_T(Q) = Q^2 \mu (1 + Ar_1 S_1) + \frac{\mu_1}{Q} + \mu_2 (1 + Ar_1 S_1); \quad (3)$$

$$\mu = \frac{8\lambda L}{g\pi^2 D^5} \left[1 + \frac{Z}{L} \frac{(1 + Ar_1 S_1 + Ar_2 S_2 + Ar_3 S_3)}{(1 + Ar_1 S_1)} \right]; \quad (4)$$

$$\mu_1 = 0.45\pi\omega D^2 L \frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{4(1 + Ar_1 S_1)}; \quad (5)$$

$$\mu_2 = f \frac{Ar_3 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)^2} L + Z; \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{0,309}{\left(\lg \left(\frac{4Q(1 + 0,0337t + 0,0022t^2)}{\pi D v_o (1 + 2,5S_1 + 7,6S_1^2)} \right) - 0,845 \right)^2}; \quad (7)$$

$$S_i = R_i S, \quad (8)$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления трения жидкости; t - температура гидросмеси; v_o - коэффициент кинематической вязкости воды при 0°C ; D - диаметр трубопровода; g - ускорение свободного падения; Q - подача гидросмеси; L - длина горизонтальных участков трубопровода; Z - разность геодезических отметок уровня гидросмеси в зумпфе и выхода из трубопровода установки; ω - скорость стесненного падения частиц мелкой фракции; S - концентрация гидросмеси; Ar - параметр Архимеда; ρ_T, ρ_o - плотности соответственно твердых частиц и жидкой фазы; f - обобщенный коэффициент трения частиц о нижнюю стенку трубы [8]; R_i - объемная доля i -й фракции в транспортируемом материале; S_1, S_2, S_3 - объемные концентрации соответственно тонких, мелких и кусковых фракций.

На основании (3) режим работы насосной установки для случая, когда расходно-напорная характеристика насоса аппроксимирована квадратичной параболой $H(Q) = (1 + Ar_1 S_1)(c - bQ - aQ^2)$, будет определяться из решения уравнения

$$Q^3 + \frac{b}{\mu + a} Q^2 - \frac{c - \mu_2}{\mu + a} Q + \frac{\mu'_1}{\mu + a} = 0; \quad (9)$$

$$\mu'_1 = 0.45\pi\omega D^2 L \frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{4(1 + Ar_1 S_1)^2}, \quad (10)$$

где c, b, a - коэффициенты аппроксимации расходно-напорной характеристики насоса.

Возможная подача через магистраль, обеспечивающую сток перелива сгустительной воронки в зумпф насоса, определяется из решения уравнения

$$\Delta Q^3 + \chi \Delta Q + \chi_1 = 0; \quad (11)$$

$$\chi = \frac{f \frac{Ar_3 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)^2} - \frac{Z}{L_1}}{1 - \frac{Z}{L_1} \frac{(1 + Ar_1 S_1 + Ar_3 S_3 + Ar_3 S_3)}{(1 + Ar_1 S_1)}} \frac{g\pi^2 D_1^5}{8\lambda}; \quad (12)$$

$$\chi_1 = \frac{0.45wg\pi^3 D_1^7}{8\lambda} \frac{\frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{4(1 + Ar_1 S_1)^2}}{1 - \frac{Z}{L_1} \frac{(1 + Ar_1 S_1 + Ar_3 S_3 + Ar_3 S_3)}{(1 + Ar_1 S_1)}}, \quad (13)$$

где D_1, L_1 - диаметр и длина горизонтальных участков трубопровода, обеспечивающего сток перелива сгустительной воронки; ΔQ - расход перелива сгустительной воронки.

Если физически реальный корень уравнения (12) меньше величины ΔQ , определяемой по формуле (2), то трубопровод, предназначенный для отвода циркулирующего объема гидросмеси в зумпф насоса, не сможет обеспечить такой расход, и лишняя гидросмесь будет заливать помещение обогатительной фабрики, что приведет к остановке технологического процесса.

Поскольку режим работы сгустительной воронки с переливом является регламентированным, то при проектировании рассматриваемого технологического узла на величину расхода через сливной порог сгустительной воронки могут накладываться ограничения, обусловленные эффективностью работы насосной установки или обогатительного оборудования. В этом случае производительность насосной установки и циркулирующий расход будут заданы:

$$Q = (1 + y)G(h, n, d, S); \quad (14)$$

$$\Delta Q = yG(h, n, d, S), \quad (15)$$

где y - коэффициент, устанавливающий связь между оптимальным значением расхода через борт сгустительной воронки и расхода гидросмеси, подаваемой через воронку в обогатительное оборудование.

Величина y обычно определяется из условия максимальной эффективности работы сгустительной воронки, а мощность, затрачиваемая насосом на перемещение циркулирующего расхода гидросмеси, при этом не учитывается. Оценку мощности насосной установки, необходимой для поддержания циркуляции гидросмеси, можно произвести по формуле

$$\Delta N = \frac{gp(1 + Ar_1 S_1)(c - b(1 + y)G - a(1 + y)^2 G^2)}{c_1 - b_1(1 + y)G - a_1(1 + y)^2 G^2} yG, \quad (16)$$

где c_1, b_1, a_1 - коэффициенты аппроксимации зависимости КПД насоса от подачи.

Подставив формулы (14) и (15) в уравнения (9) и (11) получим выражения для расчета значения концентрации, при котором реализуются заданные величины подачи и циркулирующего объема, в зависимости от характеристики сгустительной воронки

$$(1+y)^3 G^3 + \frac{b(1+y)^2}{\mu+a} G^2 - \frac{(c-\mu_2)(1+y)}{\mu+a} G + \frac{\mu'_1}{\mu+a} = 0; \quad (17)$$

$$yG^3 + \chi y G + \chi_1 = 0. \quad (18)$$

Уравнения (17) и (18) относительно концентрации гидросмеси нелинейные, поэтому решение их может быть получено только численными методами.

Определив значение концентрации из решения уравнений (17) и (18), необходимо по формулам (14) и (15) рассчитать подачу насосной установки и циркулирующий в технологическом узле объем гидросмеси. Затем необходимо сравнить полученное значение подачи с критическим для рассматриваемых условий значением

$$Q_{kp} = \left(1,9 \sqrt[3]{\frac{\omega S_2}{\sqrt{gd_{cp}}} \frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)}} + 6,5 \sqrt[3]{f S_3 \frac{Ar_3 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)}} \right) \sqrt{gD} \frac{\pi D^2}{4}. \quad (19)$$

Если полученное значение подачи больше критического значения, то переходят к определению остальных параметров режима работы технологического узла, если же нет, то необходимо изменить диаметр трубопровода или выбрать другой насос, а затем повторить расчет.

Значения концентрации гидросмеси, при которых насосная установка будет работать в сверхкритическом режиме, можно с учетом характеристики сгустительной воронки определить предварительно из решения уравнения

$$\frac{4(1+y)G(h,n,d,S)}{\sqrt{gD\pi D^2 k}} = 1,9 \sqrt[3]{\frac{\omega S_2}{\sqrt{gd_{cp}}} \frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)}} + 6,5 \sqrt[3]{f S_3 \frac{Ar_3 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)}}, \quad (20)$$

где k - параметр гидротранспортирования, рекомендуемое значение которого изменяется в диапазоне 1.1-1.5 [8].

Уравнение (20) позволяет оценить область применения рассматриваемой сгустительной воронки для конкретного материала и трубопровода заданного диаметра. Это облегчает выбор нужного насоса, поскольку после решения уравнения (20) известны как концентрация гидросмеси, так и требуемая ее подача.

Нормальная работа рассматриваемого технологического узла возможна, если трубопровод, обеспечивающий сток перелива сгустительной воронки, будет способен пропустить заданный расход гидросмеси с концентрацией не меньше, чем концентрация гидросмеси в трубопроводе насосной установки. Поэтому

расчет считается законченным, если полученные значения концентрации удовлетворяют данному условию.

Из анализа формул (9)-(17) можно сделать следующие выводы.

Использование в технологических узлах со сгустительной воронкой трубопроводов и насосов с произвольными, не обоснованными характеристиками приводит к завышению затрат на обогащение. За счет несогласованных режимов работы насосной установки и сгустительной воронки повышается объем циркулирующей гидросмеси, что приводит к повышению энергоемкости продукции и водопотребления.

Для снижения объемов потребляемой и циркулирующей воды параметры и режимы каждого технологического узла, оснащенного насосной установкой и сгустительной воронкой, необходимо подбирать индивидуально, с учетом параметров транспортируемого материала, концентрации гидросмеси, характеристик сгустительной воронки и насосного агрегата. С этой же целью обоснование оптимального значения расхода через борт перелива сгустительной воронки необходимо проводить с учетом повышения мощности насосной установки, необходимой для обеспечения циркуляции требуемого объема гидросмеси.

Перспективным направлением развития предложенных разработок является рассмотрение группы аналогичных технологических узлов, связанных в единую цепочку с обогатительными аппаратами, с учетом сепарационных характеристик обогатительного оборудования. Учет взаимного влияния узлов, а также изменения параметров транспортируемого материала при переходе от одного технологического узла к другому позволит заметно снизить объемы циркулирующей гидросмеси в каждом из этих узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карамзин В.И. Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, 1982. – 216 с.
2. Батаногов А.П. Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1984. – 295 с.
3. Блюсс Б.А., Сокил А.М., Гоман О.Г. Проблемы гравитационного обогащения титан-цирконовых песков. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 190 с.
4. Джваршеишвили А.Г. Системы трубного транспорта горно-обогатительных предприятий. - М.: Недра, 1986. - 384 с.
5. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко и др. – Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.
6. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов и др. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
7. Блюсс Б.А., Головач Н.А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 126 с.
8. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. - М.: Недра, 1991. - 304 с.