

бункера.

### Список литературы

1. **Панич Ю.В., Пайкин М.З.** Математическая модель загрузки и истечения сыпучих материалов из накопительных емкостей с целью усреднения руд // Обогащение руд. – 1977. – № 3. – С. 6-10.
2. **Фиалко М.Г.** Параметры процесса разгрузки бункеров обогатительных фабрик // Изв. Вузов. Горн. журн. – 1983. – №6. – С. 122-124.
3. **Исаенко А.Н., Качан Ю.Г.** Математическая модель прогнозирования гранулометрического состава руды на выходе бункеров // Металлургия. – Тр. ЗГИА. – Запорожье, 2001. – Вып.4. – С. 5-14.
4. **Панич Ю.В., Пайкин М.З.** Оптимизация процесса усреднения при пульсирующем режиме работы бункера в условия сегрегации руды при загрузке // Изв. вузов. Горн. журн. – 1980. – № 10. – С. 110-117.
5. **Фиалко М.Г.** Стабилизация качества руды на асбестообогатительных фабриках // Автоматическое управление технологическими процессами в горной промышленности: Межвуз. науч. темат. сб. – Свердловск, 1984. – С.65-68.
6. **Бастан П.П., Болошин Н.Н.** Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях. – М.: Недра, 1981. – 279 с.
7. **Исаенко А.Н., Качан Ю.Г.** Подсистема автоматизированного проектирования накопительных бункеров обогатительных фабрик.: Сб. науч. тр. НГУ. – 2001. – №11, т.2. – С. 148-151.

*Надійшла до редколегії 25.10.2003 р.  
Рекомендовано до публікації*

УДК 622.753:622.648.24

**Е.В. Семененко**, канд. техн. наук

### ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК СГУСТИТЕЛЬНОЙ ВОРОНКИ

Розроблено модель технологічного вузла, що включає насосну установку, яка подає гідросуміш до сгущувальної лійки, перелив з якої надходить у зумпф насоса. Запропоновано методику розрахунку раціональних параметрів трубопроводів такої установки, які забезпечують задану подачу гідросуміші та її регламентований об'єм, циркулюючий у технологічному вузлі.

**Ключові слова:** пульпа, сгущувальна лійка, насосна установка, трубопровід.

Разработана модель технологического узла, состоящего из насосной установки, подающей гидросмесь в сгустительную воронку, перелив которой направляется в зумпф насоса. Предложена методика расчета рациональных параметров трубопроводов такой установки, обеспечивающих заданную подачу гидросмеси и ее регламентированный объем, циркулирующий в технологическом узле.

**Ключевые слова:** пульпа, сгустительная воронка, насосная установка, трубопровод.

В настоящее время в Украине установилась тенденция к развитию рыночных отношений, что требует от промышленных предприятий удешевления процесса производства с целью снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции.

За последнее десятилетие металлургическая промышленность в стране приобрела особое значение, поскольку значительно возрос объем экспорта металлов за рубеж. Очевидно, конкурировать с зарубежными металлургическими компаниями можно только за счет снижения цен на продукцию без значительного снижения ее качества, что становится возможным только при удешевлении производственного сырья. Таким образом, задача снижения себестоимости обогащения россыпей металлических руд является актуальной и требует своего решения с учетом экологических и экономических требований сегодняшнего дня.

Большая часть технологий обогащения россыпей основана на мокрых процессах обогащения, для которых характерны большие объемы потребления воды. Поэтому для таких технологий существенное снижение себестоимости обогащения возможно за счет снижения объемов потребленной воды циркулирующей внутри обогатительного перелома [1-3].

Задача снижения объемов оборотной воды, циркулирующей внутри технологического процесса, исследовалась многими авторами [1-5]. Одна из причин значительных объемов потребления технической воды – несогласованность параметров и режимов работы отдельных обогатительных аппаратов, а также обогатительного оборудования и насосных установок, которые обеспечивают подачу гидросмеси [2, 3, 6]. Известны исследования в этой области [7]. Некоторые авторы для снижения водопотребления и согласования параметров оборудования предлагают использовать различные виды байпасирования насосов, что связано с некоторым повышением энергоемкости процесса обогащения [5]. Однако в этих исследованиях рассматривали только режимы работы основного обогатительного оборудования без учета влияния вспомогательных аппаратов, таких, как сгустительные воронки и насосные установки.

В большинстве 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 аппарат для обесшламливания пульп и 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

## Усреднення та транспортування

определяются параметры течения в обогащательном оборудовании. Таким образом, точная оценка объемов потребляемой и циркулирующей в технологическом процессе воды возможна только на основании анализа режимов работы насосной установки совместно со сгустительной воронкой.

Цель работы – разработка метода расчета рациональных параметров модели технологического узла "насосная установка + сгустительная воронка". Для достижения поставленной цели необходимо разработать модель этого технологического узла, учитывающую возврат перелива сгустительной воронки в зумпф насоса.

Насосные установки в технологиях обогащения россыпей перемещают гидросмесь на относительно небольшие расстояния. Средняя длина трубопроводов 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. рисунок), состоит из зумпфа (1), насосного агрегата (2), напорной магистрали (3), сгустительной воронки (4) и магистрали, обеспечивающей сток перелива сгустительной воронки (5).

Исследования режимов работы сгустительных воронок в технологиях обогащения россыпей показывают, что величина расхода гидросмеси на обогащательное оборудование 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.

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 обогащательное оборудование не обеспечивается. Гидросмесь, которая переливается через сливной порог сгустительной воронки, по специальному трубопроводу направляется в зумпф насосной установки и затем снова поступает в сгустительную воронку. Следовательно, величина циркулирующей нагрузки будет определяться как:

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

Если величина  $\Delta Q$  мала, то не исключается вероятность нарушения технологического режима, если велика, то возрастают энергозатраты на процесс обогащения и возможно переполнение сливного лотка сгустительной воронки.

Схема насосної установки

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

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

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

$$\mu_1 = 0,45\pi w D^2 L \frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{4(1 + Ar_1 S_1)} ; \quad (5)$$

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

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

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

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления трения жидкости;  $t$  – температура гидросмеси;  $v_o$  – коэффициент кинематической вязкости воды при  $0^\circ\text{C}$ ;  $D$  – 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;  $\omega$  – скорость стесненного падения частиц мелкой фракции;  $S$  – концентрация гидросмеси;  $Ar$  – параметр Архимеда;  $\rho_T, \rho_o$  – 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 выражения (3) режим работы насосной установки для случая, когда расходно-напорная характеристика насоса аппроксимирована квадратичной параболой  $H(Q) = (1 + Ar_1 S_1) \cdot (c - bQ - aQ^2)$ , 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 так:

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

## Усреднення та транспортування

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

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

где  $D_1, L_1$  – диаметр и длина горизонтальных участков трубопровода, обеспечивающего сток перелива сгустительной воронки;  $\Delta Q$  – расход перелива сгустительной воронки.

Если физически реальный корень уравнения (12) меньше величины  $\Delta Q$ , 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:

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

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

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

В рассматриваемом случае, если заданы производительность насосной установки, объем циркулирующей гидросмеси и тип насоса, требуется определить диаметр магистрали насосной установки и диаметр трубопровода для течения перелива сгустительной воронки в зумпф насоса, которые обеспечивают регламентированные расходы.

Подставляя выражения (14) и (15) в формулы (9) и (11) и учитывая, что

$\mu = \frac{\Psi}{D^5}$  и  $\mu_1 = \Psi_1 D^2$ , получим следующие уравнения для расчета требуемых диаметров:

$$\Psi_1 D^7 - [(1-y)G(c - \mu_2) - b(1-y)^2 G^2 - a(1-y)^3 G^3] D^5 + (1-y)^3 G^3 \Psi = 0, \quad (16)$$

$$\sigma_1 D_1^7 - \sigma D_1^5 y G - y^3 G^3 = 0, \quad (17)$$

$$\sigma = \frac{\frac{Z}{L_1} - f \frac{Ar_3 - Ar_1 S_1}{(1 + Ar_1 S_1)^2}}{\frac{Z}{L_1} \frac{(1 + Ar_1 S_1 + Ar_3 S_3 + Ar_3 S_3) - 1}{(1 + Ar_1 S_1)}} \frac{g \pi^2}{8 \lambda}; \quad (18)$$

$$\sigma_1 = \frac{0.45 w g \pi^3}{8 \lambda} \frac{\frac{Ar_2 - Ar_1 S_1}{4(1 + Ar_1 S_1)^2}}{\frac{Z}{L_1} \frac{(1 + Ar_1 S_1 + Ar_3 S_3 + Ar_3 S_3) - 1}{(1 + Ar_1 S_1)}}. \quad (19)$$

Анализ уравнений (16) и (17) показывает, что уравнение (16) имеет не более двух, а уравнение (17) не менее одного действительных корней.

Таким образом, когда известны величины  $G$  и  $y$ , а также параметры транспортируемого материала, концентрация гидросмеси и расходно-напорная характеристика насоса, то по формулам (5)-(8), (10), (16) и (17) можно вычислить требуемые диаметры трубопроводов, которые обеспечивают заданный объем циркулирующей в технологическом узле технической воды. При этом необходимо следить за тем, чтобы подача, задаваемая по формуле (14), превышала критическое для рассматриваемых условий значение.

Из анализа уравнений (9)-(19) можно сделать следующие выводы.

Использование в технологических узлах со сгустительной воронкой трубопроводов и насосов с произвольными, не обоснованными характеристиками приводит к несогласованию режимов работы насосной установки и сгустительной воронки и соответственно к повышению объемов циркулирующей гидросмеси.

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.

Перспективным направлением развития предложенных разработок является рассмотрение группы аналогичных технологических узлов, связанных в единую цепочку с обогащательными аппаратами, с учетом сепарационных характеристик обогащательного оборудования. Учет взаимного влияния узлов, а также изменения параметров транспортируемого материала при переходе от одного технологического узла к другому позволяют 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 обогащательных 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-обогащательных 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.

*Надійшла до редколегії  
Рекомендовано до публікації*

УДК 621.695:622.276

**Е.А. КИРИЧЕНКО**, д-р техн. наук,  
**И.М. ЧЕБЕРЯЧКО**, канд-т техн. наук,  
**В.Г. ШВОРАК**, аспирант

### **АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ГИДРОСМЕСИ**

Проаналізовано вплив параметрів гідротранспортної системи на критичну швидкість руху гідросуміші.

**Ключові слова:** критична швидкість, гідросуміш, щільність, консистенція, крупність, гранулометричний склад.