

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.

Проанализировано влияние параметров гидротранспортной системы на критическую скорость движения гидросмеси.

Ключевые слова: критическая скорость, гидросмесь, плотность, консистенция, крупность, гранулометрический состав.

Транспорт – одна из основных частей технологического процесса предприятий горно-обогатительной отрасли. По различным оценкам на него приходится 40-70% себестоимости переработки минерального сырья. При этом, естественно, большое значение имеет стабильность работы транспортных систем. Государственная научно-техническая программа "Создать и освоить технологии и технические средства, обеспечивающие экологически чистые процессы добычи и переработки полезных ископаемых за счет использования безотходных технологий и утилизации отходов промышленных производств" определяет повышение эффективности работы транспорта как основную задачу современного промышленного производства.

В проблеме гидротранспорта твердых сыпучих материалов на обогатительных предприятиях постоянное внимание уделяется изучению критических скоростей [1-9]. Это вызвано, во-первых, тем, что с величиной критической скорости связано понятие транспортирующей способности потока, а во-вторых – гидротранспорт твердых материалов при скоростях, близких к критическим, – наиболее экономичен [1-3].

На практике многие гидротранспортные системы эксплуатируются с большими энергозатратами. Существующие методики расчета систем гидротранспорта предполагают транспортирование твердых материалов при скоростях потока гидросмеси, на 15-20% выше критических скоростей. При этом не учитывается тот факт, что на процесс транспортирования гидросмеси в трубопроводе большое влияние оказывают колебания плотности смеси по всему пути транспортирования. Данные колебания становятся причиной повышения критической скорости в некоторых условиях до величины, большей скорости транспортирования. При этом происходит процесс осаждения твердых частиц на дно трубопровода, т.е. осуществляется процесс заиливания, из-за чего увеличиваются энергозатраты на транспортирование твердого материала.

К тому же существующие формулы для определения критических скоростей обладают довольно большой приближенностью и имеют разброс как качественных, так и количественных результатов.

В процессе изучения состояния вопроса установлено, что большинство формул для определения критической скорости транспортирования гидросмеси имеют узкую область применения, ограниченную условиями эксперимента [1-9]. Но с другой стороны, на сегодняшний день накоплен обширный экспериментальный материал по изучению критических режимов транспортирования, который требует физического осмысления и обобщения.

Ниже рассмотрены наиболее характерные подходы к определению

критических скоростей [1-5].

А.Е. Смолдырев [2, 3] после обработки значительного объема экспериментальных данных по рядовому углю и породе плотностью до 2650 кг/м³ предложил формулы для определения критических скоростей полидисперсных смесей и гидросмесей, содержащих материалы различных классов (тонких, мелких, кусковых):

– для тонких классов

$$V_{кр} = 1,1\sqrt{gDAr}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; D – диаметр трубопровода; Ar – параметр Архимеда;

– для мелких классов

$$V_{кр} = 3,1\sqrt{\omega D \sqrt{\frac{gS_1 Ar}{(1 + S_1 Ar)\delta_2}}}, \quad (2)$$

где δ_2 – средневзвешенный диаметр частиц мелкой фракции; ω – скорость стесненного падения частиц мелкой фракции;

– для кусковых классов

$$V_{кр} = 8,5\sqrt{fgDS_1 Ar}, \quad (3)$$

где f – обобщенный коэффициент трения частиц о нижнюю стенку трубы;

– для полидисперсных смесей

$$V_{кр} = c_1 \sqrt{gD_3} \sqrt{\frac{\omega S_2 A}{\sqrt{\delta_2}}} + c_2 \sqrt{fgDS_3 A}, \quad (4)$$

где S_1, S_2, S_3 – объемные концентрации тонких, мелких и кусковых фракций соответственно; c_1 и c_2 – опытные константы; A – коэффициент, зависящий от параметра Архимеда.

В работе [2] А.Е. Смолдыревым предложена формула для выбора критической скорости в виде:

$$V_{кр} = \omega + 3\sqrt{gDSA}, \quad (5)$$

где S – консистенция гидросмеси.

В.С. Мучник [4] предложил следующую формулу для определения критической скорости гидросмеси:

$$V_{кр} = (1 - S)^2 \cdot W \cdot \left(1 - \frac{\delta_2}{D}\right)^2 + 3,5\sqrt{gDS(\rho_\tau - 1)}. \quad (6)$$

Кроме того, в работе [5] для расчета критической скорости также рекомендуется формула:

$$V_{кр} = \omega + 3 \cdot \sqrt{gDS \frac{\rho_t - \rho_{ж}}{\rho_{ж}}}. \quad (7)$$

А.П. Юфин [1] рассматривает движение гидросмеси в трубопроводах различных диаметров и предлагает различные формулы для критических скоростей при различных диаметрах труб, соответственно.

По А.П. Юфину в трубах диаметром до 200 мм критическая скорость определяется по формуле [1]:

$$V_{кр} = 0,2 \cdot \delta^{0,65} \cdot \exp\left(\frac{2,86}{\beta^{0,13}} \cdot \rho_t^{0,5}\right) \cdot D^{0,54}, \quad (8)$$

а в трубах диаметром от 200 до 450 мм [1] –

$$V_{кр} = 9,8 \cdot D^{1/3} \cdot W^{1/4} \cdot \delta^{1/8} \cdot (\rho_t / \rho_{ж} - 0,4), \quad (9)$$

где δ – крупность частиц; W – гидравлическая крупность транспортируемых частиц; ρ_t , $\rho_{ж}$ – плотности твердых частиц и несущей жидкости соответственно; β – однородность гранулометрического состава транспортируемого материала, $\beta < 3$.

Приведенные в работах [1-5] формулы получены обработкой экспериментальных данных и не отражают физических закономерностей исследуемых процессов, однако в определенной степени могут быть использованы для качественного определения влияния различных факторов на критические параметры режима транспортирования.

Цель данной статьи – определение влияния различных параметров на критические режимы транспортирования. Основываясь на этом, а также используя общепринятые формулы [1-5], выполнены расчеты по определению критических скоростей гидросмеси, приведенные к одинаковым условиям в широком диапазоне изменения исходных данных.

Анализ критических скоростей гидротранспорта твердых частиц осуществлялся путем систематического числового моделирования. При этом проводилась оценка влияния как параметров гидротранспортной системы, так и параметров смеси на значение критических скоростей гидротранспортирования твердых материалов. В процессе моделирования изменялись следующие параметры: внутренний диаметр трубопровода, средний диаметр, форма и плотность твердых частиц, консистенция гидросмеси, процентное содержание частиц различных классов, плотность несущей жидкости и др.

Результаты расчетов выборочно представлены на графиках (рис.1, 2, 3, 4), где номер кривой соответствует номеру анализируемой формулы.

Усреднення та транспортування



Рис. 1. Зависимости критической скорости транспортирования гидросмеси от диаметра нагнетательного трубопровода (при $\rho_{\text{ТВ}} = 2700 \text{ кг/м}^3$; $S = 0,1353$; $S_1 = 0,0276$; $S_2 = 0,1070$; $S_3 = 0,0012$; $\delta = 0,2174 \cdot 10^{-3} \text{ м}$), рассчитанные по формулам А.Е. Смолдырева для тонких (1), мелких (2), кусковых (3), полидисперсных гидросмесей (4) классов, упрощенной формуле (5), а также В.С. Мучника (6), ДПИ (7), А.П. Юфина, с учетом однородности гранулометрического состава (8) и больших трубопроводов (9)

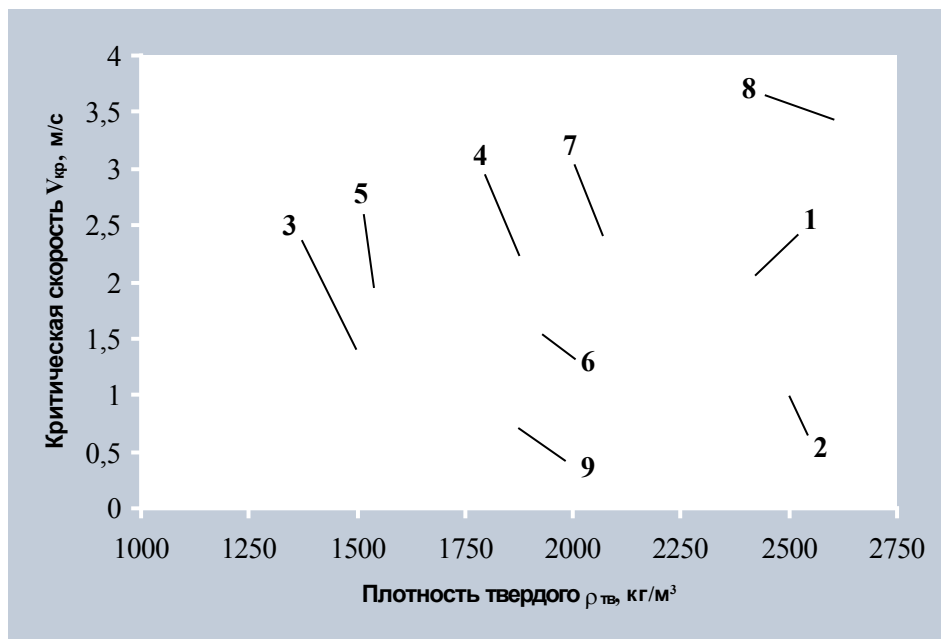


Рис. 2. Зависимость критической скорости транспортирования гидросмеси от плотности твердых частиц при $D = 0,606 \text{ м}$; $S = 0,1353$; $S_1 = 0,0276$; $S_2 = 0,1070$; $S_3 = 0,0012$; $\delta = 0,2174 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

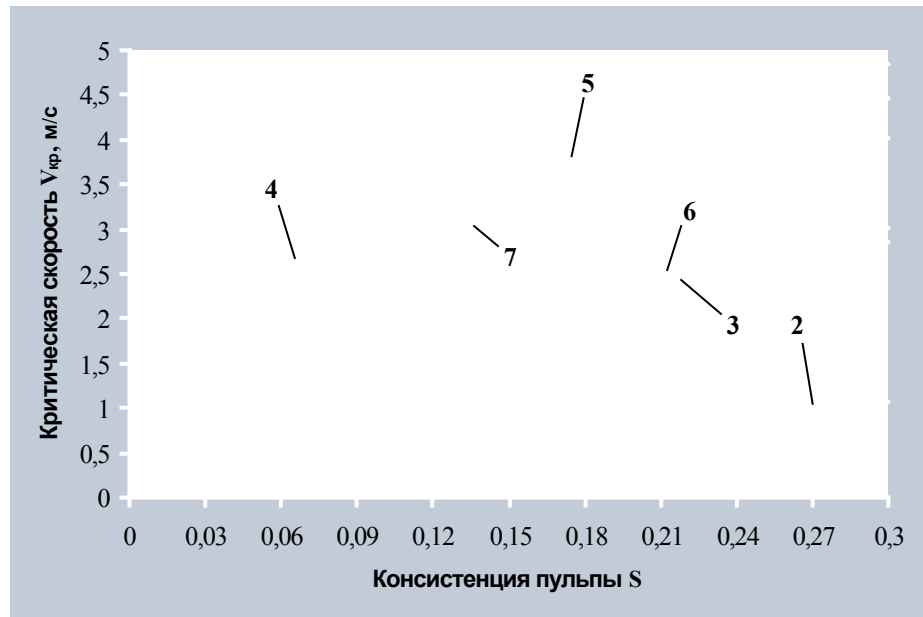


Рис. 3. Залежності критичної швидкості транспортування гідросміси від конистенції пульпи при $D = 0,606$ м; $\rho_{\text{тв}} = 2700$ кг/м³; $\delta = 0,2174 \cdot 10^{-3}$ м

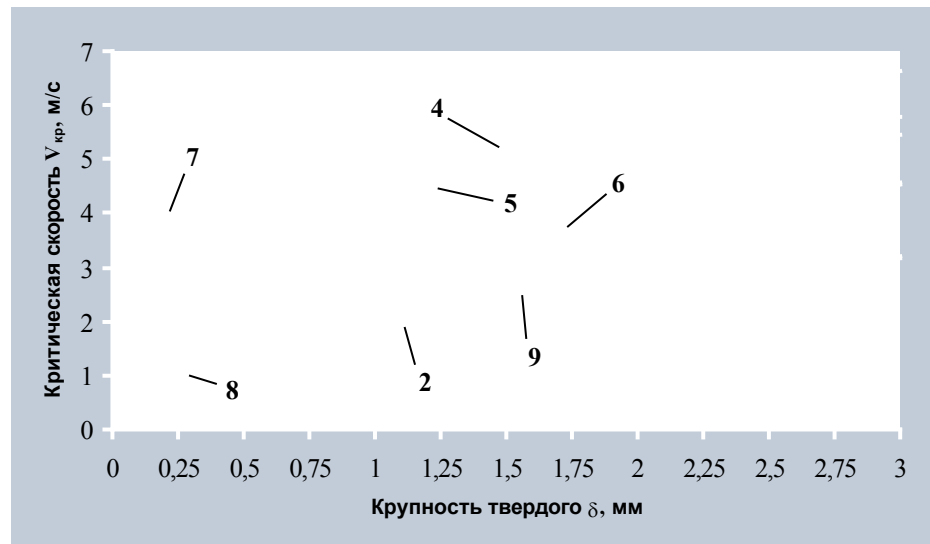


Рис. 4. Залежності критичної швидкості транспортування гідросміси від крупності твердих частиць при $D = 0,606$ м; $S = 0,1353$; $S_1 = 0,0276$; $S_2 = 0,1070$; $S_3 = 0,0012$; $\rho_{\text{тв}} = 2700$ кг/м³

Після узагальнення розрахункових даних отримано новий науковий результат, що заключається в тому, що параметри, що впливають на величину критичної швидкості, за ступенем значимості розташовані в наступному порядку:

- 1) фізичні характеристики твердих частиць (щільність, крупність, форма);
- 2) параметри транспортуваної пульпи (конистенція, щільність, процентне вміст фракцій різних класів);

3) геометрические параметры гидравлической системы (диаметр и форма транспортного трубопровода).

Выполненный анализ позволил сделать вывод: при проектировании гидротранспортных установок необходимо комплексно подходить к выбору необходимой зависимости для определения критических скоростей транспортирования, отдавая предпочтение наиболее универсальным формулам, учитывающим максимальное число основных параметров.

Использование обобщенных формул требует, однако, большой осторожности и экспериментального подтверждения. Тем не менее полученные в статье результаты могут быть полезны и при планировании эксперимента по определению критических режимов транспортирования.

Предметом дальнейших исследований станет определение оптимальных параметров транспортирования твердых материалов с учетом характеристик критических режимов.

Список литературы

1. **Юфин А.П.** Гидромеханизация. – М.: Госстройиздат, 1966. – 496 с.
2. **Смолдырев А.Е.** Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 390 с.
3. **Смолдырев А.Е.** Гидро- и пневмотранспорт в металлургии. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с
4. **Мучник В.С., Голланд Э.Б., Маркусс М.Н.** Гидравлическая добыча угля. – М.: Недра, 1986. – 170 с.
5. **Килимник В.Д.** Защита шахтных гидротранспортных установок от гидравлического удара: Автореф. Дис, канд. техн. наук. – Донецк, 1965. – 19 с.
6. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твёрдых материалов / И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик и др. – К.: Наук. думка, 1981. – 363 с.
7. **Криль С.И.** Напорные взвесенесущие потоки. – Киев: Наукова думка, 1990. – 170 с.
8. **Нурок Г.А.** Гидромеханизация горных работ. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по горному делу, 1959. – 391 с.
9. **Криль С.И.** Методы расчета критических скоростей гидротранспортирования твердых зернистых материалов по горизонтальным трубам // Гидравлика и гидротехника. – 1985. – Вып. 41. – С. 11-16.

*Надійшла до редакції
Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Самусею*