

*Е.В. Семененко, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ИГТМ НАН Украины)*

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА

Актуальным направлением развития технологий напорного гидротранспорта является применение их для разработки техногенных месторождений железорудных комбинатов [1 – 9]. Это предполагает совершенствование существующих методов расчета параметров гидротранспорта, поскольку размеры хранилищ отходов, объемы потребления технической воды для технологий обогащения минерального сырья не соответствуют параметрам гидротранспорта. Так, значительная часть проблем хранилищ отходов на предприятиях Криворожского и Донецкого бассейнов обусловлена требованиями проектов СССР к концентрации пульпы, не превышающей 5% по массе, а также существенными значениями коэффициентов запаса, принимаемых при расчетах критической скорости и гидравлического уклона [2, 5, 9]. Экономические условия середины прошлого века и существующие на тот момент требования к экологической обстановке в промышленных регионах не противоречили такому подходу. Однако на сегодняшний день экономика и экологическая обстановка выдвигают новые требования к технологиям переработки минерального сырья, что обуславливает необходимость в разработке более совершенных методов расчета параметров гидротранспорта [1].

На территории бывшего СССР было разработано и использовалось около 20 методик расчета критической скорости и гидравлического уклона при течении пульпы [2, 5, 9]. Эти методики разрабатывались в разное время, разными авторами, в различных условиях, а следовательно по-разному учитывают одни и те же факторы, используют различные методики для описания одних и тех же зависимостей. До сих пор отсутствует обобщающий анализ этого обширного научного материала, его систематизация и классификация. Так, практически все эти методики разработаны для моно- и полидисперсных материалов одной плотности и не применимы для разнофракционных полидисперсных материалов, когда каждый класс крупности содержит несколько фракций, различных по плотности частиц. Это затрудняет эффективное применение гидротранспорта для отведения отходов обогащения и разработки техногенных месторождений.

Целью статьи является анализ и классификация существующих методик расчета параметров гидротранспорта, выявление основных характеристик материала и трубопровода, которые учитываются при определении критической скорости и гидравлического уклона, и обоснование рациональных путей усовершенствования методического обеспечения этих расчетов.

Под параметрами гидротранспорта обычно понимают такие величины: концентрацию гидросмеси, критическую скорость гидротранспортирования, гидравлический уклон в критическом режиме, гидравлический уклон в номинальном режиме [1 – 9]. При анализе формул для расчета критической скорости

гидротранспортирования трудно выделить, как и для гидравлического уклона, вид зависимости этой величины от параметров транспортируемого материала и трубопровода. Традиционно специалисты в вопросах гидротранспорта выделяют два вида формул, каждый из которых применяется для определения первой или второй критической скорости [3, 4, 6 – 8]. Поскольку формулы каждого вида позволяют решать вполне определенную задачу, то сравнивать или противопоставлять эти виды формул друг с другом некорректно [1, 4, 8]. Поэтому для анализа в качестве критерия, по которому можно классифицировать существующие методики расчета параметров гидротранспорта, был выбран принцип, определяющий критический режим гидротранспортирования. На основе чего было выделено четыре группы методик.

Методики первой группы используют для определения критической скорости результаты экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных или натуральных условиях [1]. К этой группе относятся методики Войтенко, Мотинова, Коберника – Войтенко, Карасика, ИГМ НАН Украины.

Методики второй группы для определения критической скорости гидротранспортирования используют принцип, сформулированный Великановым при исследовании безнапорных взвесинесущих потоков – отношение дополнительных гидравлического уклона к гидравлическому уклону воды в критическом режиме является константой [4, 8]. К этой группе относятся методики ВНИИжелезобетон и Проектгидромеханизация, ВНИИГ, МГРИ, Смолдырева, Дмитриева, Силина.

Методики третьей группы предполагают, что в критическом режиме касательные напряжения на стенке трубы равны некоторому критическому значению, которое вычисляется по различным эмпирически формулам. К этой группе относятся методики института «Механобр», ЛГИ им. Г.В. Плеханова, Криля. Характерно, что при расчетах по этим методикам критическая скорость определяется не по явно выраженной зависимости, как во всех других случаях, а из решения нелинейного уравнения.

Методики четвертой группы определяют критическую скорость гидротранспортирования как скорость, при которой зависимость гидравлического уклона от скорости гидросмеси достигает минимума. К этим методикам относятся методика Трайниса и института «Днепрогипрошахт».

Анализ существующих методик проводился по следующим факторам: принцип расчета критической скорости (№1); использование критического гидравлического уклона (№2); зависимость фактических параметров от критических (№3); существование экстремумов в зависимости параметров от концентрации (№4); диапазон изменения концентрации (№5); способ усреднения параметров материала (№6); как характеризуется неоднородность грансостава (№7); как классифицируют материал и пульпу (№8); как учитывается обтекание частиц твердого материала жидкостью (№9); как учитывается стесненность обтекания частиц (№10).

Из результатов анализа можно сделать следующие выводы относительно исследуемых факторов (см. рис. 1 и 2).

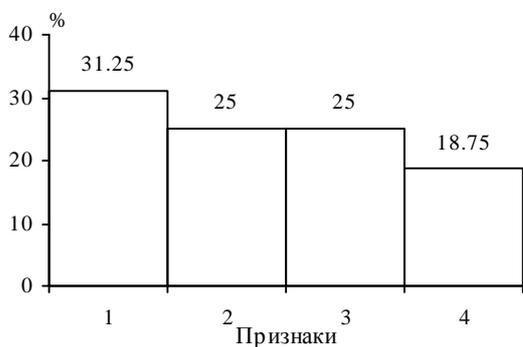
Около 30% существующих методик при расчете критической скорости гидротранспортирования используют эмпирические формулы с некоторыми уточнениями (см. рис. 1, а), что ограничивает область их применения условиями экспериментов, в ходе которых они получены. Около 25% методик определяют критическую скорость из условия минимума гидравлического уклона, что не соответствует моменту выпадения частиц на дно потока, или, накладывая условия на величину гидравлического уклона в критическом режиме, которые определяются экспериментально. Менее 20% методик определяют критическую скорость из выражения для гидравлического уклона согласно принципу Велликанова, который был сформулирован для естественных безнапорных потоков малой концентрации, и не подтвержден для напорных потоков в трубах с большими концентрациями. При этом критический гидравлический уклон как параметр гидротранспорта рассматривают только 25% методик и предлагают для его вычисления собственные эмпирические зависимости (см. рис. 2, в). Более 18% существующих методик определяют фактические параметры через их критические значения (рис. 1, б), а 12.5% связывают значения фактических и критических величин через отношение скоростей в этих режимах. При этом, не выражают рассматриваемой зависимости в явном виде более половины методик (56.25%), а выражают только 12.5%.

Большая часть известных методик (62.5%) не учитывает существование экстремумов в зависимости параметров гидротранспорта от концентрации пульпы (рис. 1, в), учитывают, что рассматриваемые зависимости имеют только максимум 12.5%, а существование максимума и минимума – 25%.

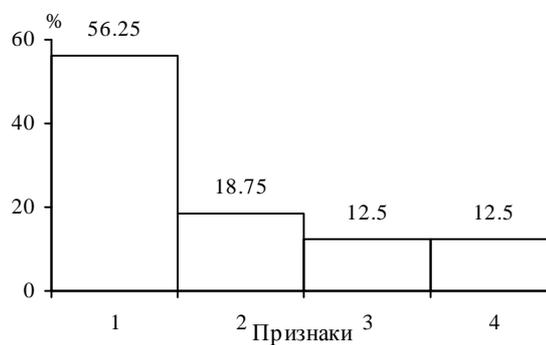
Половина методик рассчитана на весь диапазон концентраций пульпы (рис. 1, г), около 37% не регламентируют диапазон изменения концентрации и менее 13% разделяют диапазон концентрации на два интервала, для каждого из которых рекомендуют отдельную формулу.

Большее половины из существующих методик (56.25%) усредняют диаметр и плотность частиц твердой фазы по всему материалу, 25% – эти же параметры усредняют внутри специально выделенных классов крупности, а менее 20% (18.75%) усредняют по всему материалу коэффициенты транспортабельности или лобового сопротивления стандартных фракций, т. е. комплексы, включающие диаметр частиц, их плотность и гидравлическую крупность (рис. 1, д).

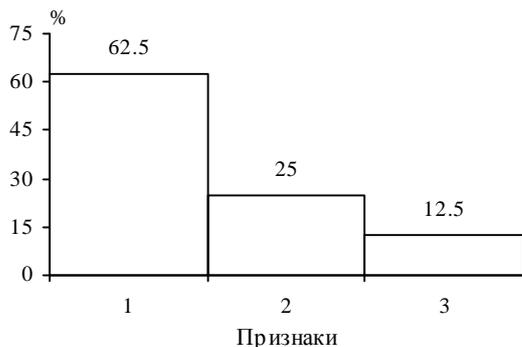
Более половины из существующих методик (56.25%) не учитывают неоднородности гранулометрического состава транспортируемого материала или учитывают его через средневзвешенный диаметр частиц (рис. 1, е). Более 30% методик (32.25%) учитывают рассматриваемый фактор через диаметры фиктивных частиц, соответствующих различным долям на интегральной кривой гранулометрического состава. Эти методики, кроме диаметров фиктивных частиц, используют их соотношения, называемые коэффициентами разнозернистости или неоднородности. Менее 13% (12.5%) разбивают гранулометрический состав на три класса крупности и таким путем учитывают неоднородность транспортируемого материала в структуре используемых формул.



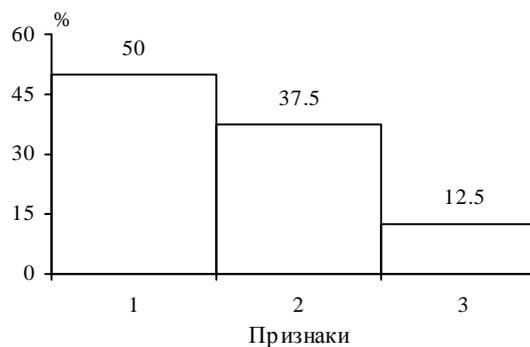
№ 1 (а)



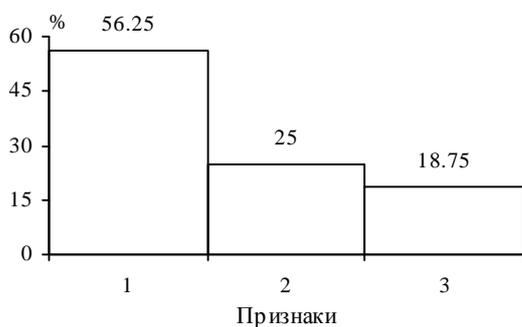
№ 2 (б)



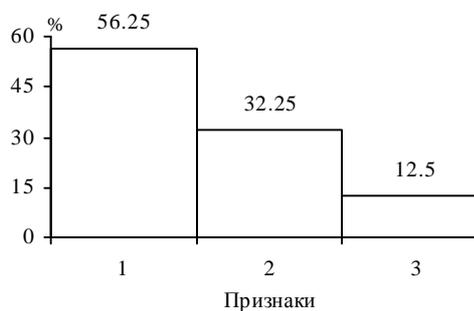
№ 3 (в)



№ 4 (г)



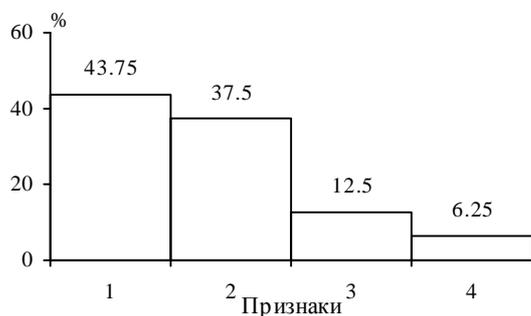
№ 5 (д)



№ 6 (е)

- Рис. 1. – Гистограмма распределения методик по признакам факторов
- № 1 (а): 1 – эмпирическая формула; 2 – условие минимума гидравлического уклона; 3 – другие условия на гидравлический уклон пульпы; 4 – принцип Великанова;
- № 2 (б): 1 – не выражают в явном виде; 2 – определяют на основе критических значений; 3 – связаны через отношение скоростей; 4 – выражают в явном виде;
- № 3 (в): 1 – нет экстремумов; 2 – есть максимум и минимум; 3 – есть максимум;
- № 4 (г): 1 – действуют во всем диапазоне; 2 – не регламентирована; 3 – разбивается на два диапазона;
- № 5 (д): 1 – диаметр и плотность по всему материалу; 2 – диаметр и плотность внутри классов; 3 – коэффициенты по всему материалу;
- № 6 (е): 1 – нет; 2 – диаметр частиц с долей 85%; 3 – три класса крупности частиц

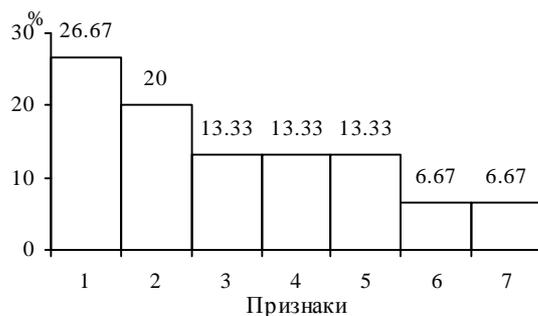
Процесс взаимодействия частиц транспортируемого материала с несущей жидкостью учитывает большая часть методик (87.5%), не учитывает только 12.5% (рис. 2, а и г). При этом половина методик использует для этого гидравлическую крупность транспортируемого материала, а 37.5% – коэффициент фиктивного лобового сопротивления.



№ 7 (а)



№ 8 (б)



№ 9 (в)



№ 10 (г)

Рис. 2. – Гистограмма распределения методик по признакам факторов:

№ 7 (а): 1 – гидравлическая крупность по Гончарову; 2 – коэффициент фиктивного лобового сопротивления; 3 – нет; 4 – гидравлическая крупность по своим формулам;

№ 8 (б): 1 – нет; 2 – есть;

№ 9 (в): 1 – нет; 2 – несущая жидкость – пульпа с мелкими частицами; 3 – три класса крупности частиц и четыре вида пульп; 4 – доли стандартных фракций; 5 – по среднему диаметру и доли частиц менее 0.1 мм; 6 – разделяют по плотности отходы обогащения и пески; 7 – коэффициентом учитывается доля мелких классов;

№ 10 (г): 1 – не рассматривают; 2 – эмпирический материал;

Наиболее распространенная формула для расчета гидравлической крупности предложена Гончаровым, ее используют 43.75% методик, а 6.25% – используют собственные формулы. При этом учит стесненности обтекания частиц при расчете гидравлической крупности предполагают около 30% методик (31.25%), а остальная часть (68.75%) не учитывает этого фактора (см. рис. 2, а).

Большая часть существующих методик (73.33%) каким-либо образом классифицирует твердую фракцию, ни как не разделяет транспортируемый материал и не выделяет виды пульп около 25% методик (26.67%) (см. рис. 2, б). Наиболее часто, 20% методик, рассматривают вместо воды несущую жидкость, которая является пульпой с мелкими частицами. Не так часто, 13.33% методик выделяют три класса крупности частиц и рассматривают четыре вида пульп, или разбивают материал на доли стандартных фракций, или же классифицируют пульпы по среднему диаметру частиц и доли частиц менее 0.1 мм. Реже, 6.67% методик, разделяют материал по плотности на два типа или учитывают влияние мелких классов специальным коэффициентом.

Из результатов проведенного анализа существующих методик расчета параметров гидротранспорта можно сделать вывод о том, что большая часть методического обеспечения: при расчете критической скорости использует выражение для гидравлического уклона совместно с условием наступления критического режима; не учитывает зависимости фактических параметров от их критических значений; описывает зависимость параметров гидротранспорта в узком диапазоне концентраций или без учета существенной нелинейности; использует осреднение параметров материала по классам крупности без учета различий плотности отдельных фракций; не учитывает различия диаметров и плотностей частиц на процесс межфазного взаимодействия; при расчете гидравлической крупности частиц использует формулы Гончарова без учета фактора стесненности.

Однако большинство материалов, перемещаемых гидротранспортными комплексами горных предприятий, являются не только полидисперсными, но и разноплотностными, для которых разница в плотности материалов россыпей может составлять от 1.1 до 1.9 раз, а содержание материалов россыпи по классам крупности может сильно различаться [1, 10]. Для таких материалов использование осредненных по всему материалу показателей, особенно по плотности, может приводить к существенным ошибкам в значениях критических скоростей и гидравлических уклонов.

Список литературы

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Д.: Изд-во «Новая идеология», 2006. – 416 с.
2. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов: П 59-72. – Л.: Энергия, 1972. – 24 с.
3. Карасик В.М., Асауленко И.А., Витошкин Ю.К. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов. – К.: Наук. думка, 1976. – 156 с.
4. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
5. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов: РСН 275-75. – К.: Госстрой УССР, 1975. – 180 с.
6. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.
7. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 191 с.
8. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 390 с.
9. Коберник С.Г., Войтенко В.И. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. – К.: Наук. думка, 1967. – 140 с.
10. Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта исходных и техногенных россыпей // Вісн. Східноукр. нац. ун. ім. Даля. – №3(109). – ч. 2. – 2007. – С. 137 – 143.