

О.В. Витушко, канд. техн. наук  
(ООО «ШАХТСТРОЙМОНТАЖ»)

Н.А. Никифорова, канд. техн. наук (НМетАУ)

Н.А. Шмелев (ИГТМ НАН Украины)

## **СОСТОЯНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА УГЛЕЙ**

Проведено аналіз існуючих методик розрахунку гідравлічного ухилу та критичної швидкості течії пульпи при гідротранспортуванні твердих матеріалів. Виявлено причини невідповідності методик розрахунку умовам промислового виробництва. Запропоновано класифікацію методик розрахунку за різними ознаками

## **THE STATE OF THE METHODOICAL TECHNIQUES FOR CALCULATION OF PARAMETERS FOR HYDROTRANSPORT OF COALS**

The analysis of existent calculation procedures of hydraulic gradient and pulp flow critical velocity during hydrotransportation of solid materials was carried out. The reasons of calculation procedures discordance to industrial production conditions are established. The classification of calculation procedures on the different basis is offered

### **1. Актуальность темы.**

В настоящее время известно около 20 методик расчета критической скорости и гидравлического уклона при течении пульп [1]. Эти методики отличаются разнообразием подходов к описанию процесса гидротранспортирования, в них по-разному учитываются одни и те же факторы, используются разные методы учета одних и тех же зависимостей. В прежних условиях, когда концентрация хвостовых пульп по проекту не превышала 5% по массе [2], стоимость электроэнергии и воды для промышленных предприятий была мизерной, а отчуждение земель под хранилища отходов осуществлялась беспрепятственно, эти методики были приемлемыми. Но в современных экономических и экологических условиях погрешности, обусловленные несоответствием методики условиям промышленного предприятия, становятся весьма существенными.

Другими факторами, ограничивающими дальнейшее применение существующих методик расчета критической скорости и гидравлического уклона при течении пульп, являются все более частое использование в гидротранспортных системах горных предприятий труб, изготовленных из полиэтилена (ПЭ) или поливинилхлорида (ПВХ) вместо стальных [3, 4], а также перспектива использования растворов гидродинамически активных веществ (ГДАВ) при сгущении пульп или для снижения гидравлического сопротивления магистралей [5, 6]. В современных экономических условиях ПЭ и ПВХ трубы успешно завоевывают рынок, вытесняя стальные трубы из секторов водо- и газоснабжения, отвода сточных вод и напорного гидротранспорта твердых сыпучих материалов [4]. ПЭ и ПВХ трубы имеют меньшую стоимость, чем стальные, отличаются простотой укладки, а также низким коэффициентом гидравлического трения. Однако существу-

ющие методики расчета ориентированы на применение стальных труб и не позволяют учитывать изменение гидравлического сопротивления магистрали и критической скорости как в случае применения ПЭ и ПВХ труб, так и в случае использования ГДАВ.

## **2. Цель работы.**

Для выявления возможных причин несоответствия методик расчета конкретным условиям промышленных предприятий, обоснования возможных путей их модернизации в направлении применения ПЭ и ПВХ труб и ГДАВ, а также с учетом того, что до сих пор отсутствует обобщающий анализ этого обширного научного материала, его систематизация и классификация, авторами статьи был проведен анализ существующих методов расчета гидравлических уклонов и критических скоростей гидротранспорта [1, 2, 7 – 12].

## **3. Решаемая научная задача.**

В ходе анализа существующих методик рассматривались следующие факторы: принцип расчета критической скорости (№ 1); зависимость фактических параметров от критических (№ 2); существование экстремумов в зависимостях параметров от концентрации (№ 3); способ учета обтекания частиц твердого материала жидкостью (№ 4); способ усреднения параметров материала (№ 5).

**Фактор № 1 (Принцип расчета критической скорости).** Факт отсутствия среди специалистов по гидротранспорту в бывшем СССР единства в вопросе расчета критической скорости признавали еще классики гидромеханики пульповых потоков. Так, А.П. Юфин в 1965 году [8] говорил о двух критических скоростях: первая соответствует выпадению частиц на дно потока, а вторая – минимуму зависимости гидравлического уклона от скорости пульпы. Коллектив специалистов Института гидромеханики АН УССР во главе с Н.А. Силиным в 1962 году [9], в 1964 году [10] и в 1971 году [11] не только описал три критических скорости, используемые различными авторами, но и показал, как соотносятся между собой первая и вторая критические скорости. При этом была доказана неправомочность сравнения методик расчета, ориентированных на критические скорости разного вида. Наконец, сотрудник Института гидромеханики НАН Украины С.И. Криль в 1990 году [12] показал, насколько велико различие величин критических скоростей, рассчитанных по различным методикам. Это означает, что проблема до сих пор еще не решена.

Анализ известных методик показывает, что корень проблемы заключается в том, какой режим авторы методики считают критическим, чем они характеризуют его наступление, то есть, какой принцип используют авторы методики при определении критической скорости (см. табл. 1). Такая классификация методик расчета позволяет адекватно сравнивать и совершенствовать их, а также рекомендовать методику расчета для того или иного материала по аналогии. Эта классификация предложена впервые, и результаты анализа с ее использованием показывают, что примерно в 30% существующих методик при расчете критической скорости гидротранспортирования используются эмпирические формулы с некоторыми уточнениями, что ограничивает область их применения условиями экспериментов, в ходе которых они получены. Примерно в 25% методик критическая скорость определяется из условия минимума гидравлического уклона, что не соответствует моменту выпадения частиц

на дно потока, или путем наложения на величину гидравлического уклона в критическом режиме условий, определяемых экспериментально. Менее чем в 20% методик критическая скорость определяется из выражения для гидравлического уклона в соответствии с принципом М.А. Великанова, который был сформулирован для естественных безнапорных потоков малой концентрации и не подтвержден для напорных потоков в трубах с большими концентрациями пульпы.

Таблица 1 – Классификация методик расчета параметров гидротранспорта по принципу, определяющему критический режим гидротранспортирования

№ группы	Условие определения критической скорости	Методики, относящиеся к группе
1	Аппроксимация результатов экспериментов	Войтенко, Мотинова, Коберника – Войтенко, Карасика, ИГМ НАН Украины
2	Принцип М.А. Великанова	ВНИИГ, МГРИ, Смолдырева, Дмитриева, Силина, ВНИИжелезобетон и Проектгидромеханизация
3	Равенство касательных напряжений на стенке трубы критическому значению	Института Механобр, ЛГИ им. Г.В. Плеханова, Криля
4	Достижение минимума зависимости гидравлического уклона от скорости течения гидросмеси	Трайниса, института Днепрогипрошахт

**Фактор № 2 (Зависимость фактических параметров от критических).** В рассмотренных методиках по-разному используются значения гидравлического уклона и критической скорости. Так, в методиках Смолдырева, Дмитриева, Войтенко, Мотинова, Трайниса, института Днепрогипрошахт, ЛГИ им. Г.В. Плеханова, МГРИ, ВНИИГ, институтов Механобр, ВНИИжелезобетон и Проектгидромеханизация критическая скорость используется только для определения минимально возможной скорости пульпы. Таких методик более половины (56.25%). Методики Карасика и Силина предполагают расчет гидравлического уклона в зависимости от отношения расчетной скорости к критической. Доля этих методик составляет 12.5% от общего числа. Методика С.И. Криля предполагает расчет критических значений скорости и гидравлического уклона, а потом с их учетом определение требуемых величин в сверхкритических режимах. И, наконец, в методике Коберника – Войтенко расчетные величины выражаются через критические в явном виде, то есть, сначала нужно рассчитать критическую скорость, затем критический гидравлический уклон, потом – коэффициенты в зависимости гидравлического уклона от скорости в сверхкритическом режиме.

**Фактор № 3 (Существование экстремумов в зависимостях параметров от концентрации).** Наличие минимумов и максимумов в зависимости критической скорости от концентрации пульпы и в зависимости гидравлического уклона от скорости пульпы отмечается многими исследователями: Смолдыревым, Дмитриевым, Юфиным, Силиным, Крилем, Трайнисом, Нурком и др. При этом в общем случае обе зависимости имеют два экстремума – один максимум и один минимум. Для зависимости критической скорости от концентрации максимум реализуется

при объемных концентрациях пульпы около 10%, а минимум – около 20%. Однако авторы не всех методик оперируют такими формулами для расчета критической скорости и гидравлического уклона, которые по своим математическим свойствам могут иметь эти экстремумы. Следует отметить, что существование или отсутствие экстремумов в этих зависимостях является показателем того, учитывается или нет в предлагаемых методиках влияние некоторых факторов, например, эффекта снижения гидравлического сопротивления при наличии в транспортируемом материале частиц крупностью менее 100 мкм. Для учета этого фактора в методике Коберника – Войтенко предложено критическую скорость до максимума и после него рассчитывать по разным формулам, что существенно снижает достоверность расчета при малом содержании в материале частиц крупностью менее 100 мкм. Однако в большей части существующих методик (62.5%) существование экстремумов в зависимостях параметров гидротранспорта от концентрации пульпы не учитывается. Доля методик, в которых учитывается существование в этих зависимостях только максимума, составляет 12.5%, а существование максимума и минимума – 25%.

**Фактор № 4 (Способ учета обтекания частиц твердого материала жидкостью).** Во всех методиках расчета гидравлического уклона и критической скорости, кроме методики ЛГИ им. Г.В. Плеханова, свойства транспортируемого материала учитываются практически одинаково – через гидравлическую крупность. В половине методик для определения гидравлической крупности частиц рекомендуются формулы Гончарова, а в 37% методик вместо гидравлической крупности используется коэффициент фиктивного лобового сопротивления. Собственные формулы для расчета гидравлической крупности предлагаются в 6.25% методиках. Учет стесненности обтекания частиц при расчете гидравлической крупности предполагается примерно в 30% методик, в остальных методиках (68.75%) этот фактор не учитывается. При этом не рекомендуется учитывать его произвольно, особенно если формулы в методике содержат экспериментальные константы. До этого нужно уточнить значение этих экспериментальных констант.

**Фактор № 5 (Способ усреднения параметров материала и характеристика его неоднородности).** Практически все сыпучие материалы, перемещаемые напорным гидротранспортом, являются полидисперсными и полифракционными [13 – 17]. Под полидисперсностью материала в статье понимается различие в крупности частиц твердой фазы, то есть, осреднение параметров должно выполняться не по всему материалу, а внутри некоторых классов крупности. Например, в методике Смолдырева таких классов крупности три, а в методике Дмитриева – четыре. Такие материалы в некоторых методиках, например, в методиках Юрьева, Евдокимова, Коберника-Войтенко называются разнородными. Под полифракционностью в статье понимается различие в плотностях частиц твердой фазы. Этот термин взят из теории обогащения полезных ископаемых, где материал сепарируется на фракции по плотности.

Первоначально различие диаметров частиц и плотности транспортируемого материала при расчетах гидравлического уклона и критической скорости учитывалось только путем использования средневзвешенного диаметра. До сих пор в

56.25% существующих методик диаметр частиц твердой фазы усредняется по всему материалу. По всей видимости, такой подход в некоторых случаях не обеспечивал требуемой точности расчетов, потому как Юфин ввел понятие однородных и неоднородных материалов, используя для этого терминологию, существующую в механике грунтов. Для однородных материалов расчетные формулы были известны, а для неоднородных в эти формулы вводились дополнительные коэффициенты, зависящие от гранулометрических характеристик материала, таких, как диаметры фиктивных частиц, соответствующих различным долям на интегральной кривой гранулометрического состава, и их соотношения, называемые коэффициентами разнородности, или неоднородности. На сегодняшний день такой подход используется в 32.25% известных методик расчета. Однако, как впоследствии было обнаружено, этот подход не учитывает эффект снижения гидравлического сопротивления и критической скорости за счет наличия в транспортируемом материале частиц крупностью менее 100 мкм. Исторически было предложено три способа решения этой проблемы. В первом случае транспортируемый материал стали разделять на частицы крупностью менее и более 100 мкм. При этом процесс гидротранспортирования рассматривался как взвешивание частиц крупностью более 100 мкм в суспензии тонких частиц в воде. Во втором случае в транспортируемом материале выделялись стандартные фракции, для которых были известны осредненные величины коэффициентов фиктивного лобового сопротивления. Границы этих фракций определялись стандартной системой сит, а вклад каждой такой фракции в величины гидравлического уклона и критической скорости считался прямо пропорциональным ее массовой доле. В третьем случае частицы транспортируемого материала разделялись на классы крупности, границы которых определялись различиями в процессах перемещения частиц напорным потоком пульпы. Однако до сих пор в 26.67% существующих методик транспортируемый материал никак не дифференцируется, используются только средне-взвешенные характеристики.

Если фактору полидисперсности транспортируемого материала в процессе развития гидротранспортных систем уделялось внимание исследователей, то фактор различия плотностей компонентов транспортируемого материала практически не рассматривался. Отдельными попытками можно считать методики Юфина и Нурка для расчета гидравлических уклонов и критических скоростей при гидротранспортировании песков в глинистых суспензиях, а также методику Мотинова, в которой отдельно учитываются плотности отходов и породы.

Поскольку все рассмотренные методики разработаны для моно- и полидисперсных материалов одной плотности, они неприменимы для полифракционных полидисперсных материалов, когда каждый класс крупности содержит несколько фракций различных по плотности частиц. Это затрудняет эффективное применение гидротранспорта для отведения отходов обогащения и при разработке техногенных месторождений, поскольку различие в плотности частиц имеет важное и, на наш взгляд, определяющее значение. Особенно это актуально при гидротранспорте углей, которые характеризуются распределением по классам крупности и по фракциям плотности [13]. Оценка отклонения диаметров и плотностей частиц каждого ви-

да от средневзвешенных величин для рядовых углей шахт Донецкой области (см. табл. 2, рис. 1 и 2) [13, 18] показывает, что средняя относительная ошибка, обусловленная таким способом осреднения диаметра частиц, изменяется в пределах от 77 до 173 %, а при осреднении плотности частиц – от 10 до 16 %.

Таблица 2 – Характеристика рядовых углей шахт Донецкой области

Название шахты	Марка угля	Средневзвешенное значение		Стандарт, %	
		$d_s$ , мм	$\rho_s$ , кг/м <sup>3</sup>	$d_s$	$\rho_s$
"Трудовская"	Д	19,16	1600	99,76	16,46
им. "Челюскинцев"	ДГ	18,92	1605	110,02	16,08
им. Абакумова	ДГ	16,99	1614	114,03	15,90
"Южнодонбасская № 1"	ДГ	5,48	1532	88,50	16,31
"Южнодонбасская № 3"	Г	23,08	1569	100,50	16,86
"Куйбышевская"	Г	12,43	1548	144,33	16,10
"Лидиевка"	Г	22,02	1607	125,72	16,76
"Октябрьский Рудник"	Г	10,00	1560	145,50	16,54
им. А.А. Скочинского	Ж	10,07	1548	121,29	16,58
им. Горького	К	13,92	1608	135,55	15,95
Моспинская	Т	8,98	1628	167,47	15,77
"Бутовская"	Г	13,07	1481	125,96	15,43
ш/у "Чайкино"	Ж	7,43	1518	148,57	16,40
им. В.М. Бажанова	К	8,78	1601	130,77	16,70
им. В.И. Ленина	К	13,25	1620	162,11	16,09
"13 - бис"	К	10,52	1626	158,37	15,66
"Калиновская Восточная"	К	8,20	1628	133,86	16,09
"Северная"	К	12,83	1590	150,95	16,82
им. С.М. Кирова	К	9,43	1656	134,78	15,28
"Ясиновская Глубокая"	ОС	9,13	1619	134,77	16,75
им. С.М. Кирова	Т	10,75	1680	113,00	14,71
"Холодная Балка"	Т	9,04	1642	115,62	15,44
"Центральная"	Г	20,94	1597	105,82	15,98
им. Г.М. Димитрова	Г	25,09	1530	88,38	16,30
"Родинская"	Г	13,30	1479	77,18	14,93
им. А.Г. Стаханова	Г	19,33	1558	110,82	16,40
"Украина"	ДГ	16,97	1662	119,47	14,76
"Кураховская"	ДГ	16,09	1621	123,84	15,85
"Россия"	Г	12,56	1646	130,86	15,58
"Добропольская"	Г	13,96	1638	139,28	15,96
"Алмазная"	Г	12,94	1660	131,07	10,51
"Белицкая"	Г	13,25	1676	127,07	15,10
"Белозерская"	Г	29,05	1597	78,36	16,58
"Новодонецкая"	Г	17,17	1641	126,93	15,62

Продолжение табл. 2

Название шахты	Марка угля	Средневзвешенное значение		Стандарт, %	
		$d_s$ , мм	$\rho_s$ , кг/м <sup>3</sup>	$d_s$	$\rho_s$
ш/у им. В.И. Ленина	К	9,80	1600	160,22	16,04
им. А.А. Гагарина	К	12,67	1531	153,18	15,80
ш/у им. М.И. Калинина	ОС	4,95	1609	173,07	15,77
им. Ф.Э. Дзержинского	Ж	11,38	1623	118,48	16,20
"Северная"	Ж	10,14	1593	129,24	15,98
"Горезская"	Ж	11,46	1551	116,23	16,25

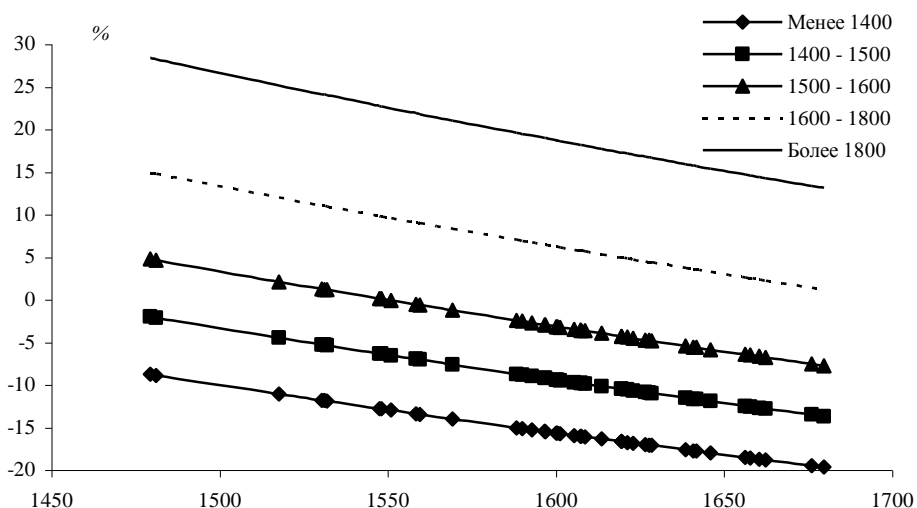


Рис. 1 – Относительное отклонение плотности классов крупности рядового угля от среднего значения в зависимости от средневзвешенной плотности (кг/м<sup>3</sup>) углей шахт Донецкой области

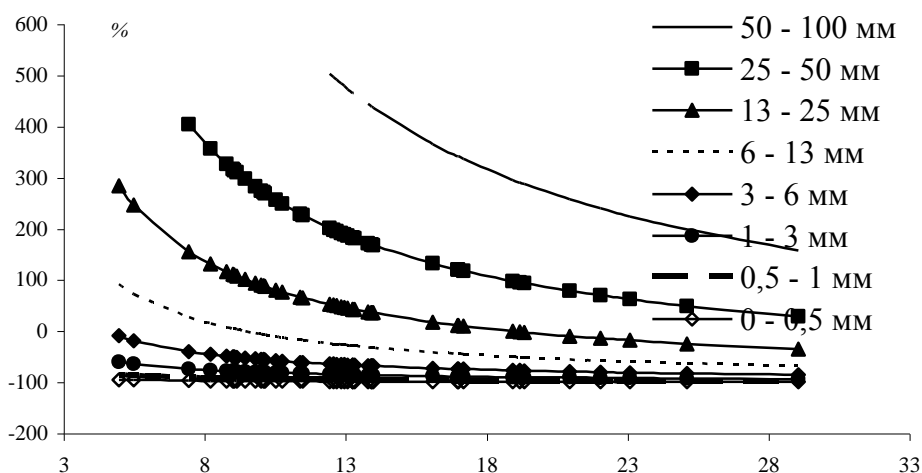


Рис. 2 – Относительное отклонение диаметров частиц классов крупности рядового угля от среднего значения в зависимости от средневзвешенного диаметра частиц (мм) для углей шахт Донецкой области

При этом относительное отклонение плотностей отдельных фракций от среднего значения плотности может составлять до 30 % (см. рис. 2 и 3), что приводит к значительным погрешностям при расчетах параметров гидротранспорта. Так как величины критической скорости и гидравлического уклона определяются в первую

очередь в зависимости от плотности транспортируемого материала во всех методиках расчета, то именно фактором плотности частиц твердой фазы обусловлено широкое распространение гидротранспорта на россыпных месторождениях, на угледобывающих и углеобогащательных предприятиях и ограниченное его использование на железорудных ГОКах и гранитных карьерах. Этим же фактором определяется широкое использование гидротранспорта для доставки исходных песков на переработку и отвода отходов обогащения, а также ограниченное его использование для транспортирования концентратов. Характерный пример превалирования фактора плотности над фактором крупности частиц – гидротранспорт углей может осуществляться при крупности кусков более 3 см, а вот сведения о гидротранспорте железорудных концентратов крупностью более 2 мм авторам не известны.

#### **4. Выводы, отражающие решение научной задачи.**

Результаты анализа существующих методик расчета параметров гидротранспорта позволяют сделать вывод о том, что в большей части методического обеспечения при расчете критической скорости используется выражение для гидравлического уклона совместно с условием наступления критического режима; не учитываются зависимости фактических параметров от их критических значений; описываются зависимости параметров гидротранспорта в узком диапазоне концентраций или без учета существенной нелинейности; используется осреднение параметров материала по классам крупности без учета различий в плотности отдельных фракций; не учитывается влияние различия диаметров и плотностей частиц на процесс межфазного взаимодействия; при расчете гидравлической крупности частиц используются формулы Гончарова без учета фактора стесненности.

Наиболее рациональными направлениями модернизации существующих методик расчета параметров гидротранспорта являются уточнение зависимости параметров гидротранспорта от концентрации, гранулометрического и плотностного составов твердой фазы и адаптация методик для применения ПЭ и ПВХ труб и ГДАВ.

В первом случае требуется установление нелинейной зависимости гидравлического уклона и критической скорости от концентрации гидросмеси в широком диапазоне с учетом одновременного влияния гранулометрического состава и различной плотности транспортируемых частиц. Во втором – установление зависимости дополнительного гидравлического уклона и критического гидравлического уклона от коэффициента гидравлического сопротивления, а также учет влияния полидисперсности транспортируемого материала и различной плотности транспортируемых частиц на процесс флокуляции под действием ГДАВ.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин – Днепропетровск: Изд-во «Новая идеология», 2006. – 416 с.
2. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горнообогащательных комбинатов: РСН 275-75. – К.: Госстрой УССР, 1975. – 180 с.
3. Блюсс Б.А., Шурыгин В.Д., Семенов Е.В. Опыт эксплуатации и модернизации гидротранспортного комплекса на Вольногорском ГМК // Горный журнал. – №2. – С. 61 – 63.
4. Шурыгин В.Д., Семенов Е.В. Применение полиэтиленовых труб для напорного гидротранспорта россыпей и руд // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2007. – №3(21). – С. 18 – 22.
5. Семенов Е.В., Никифорова Н.А. Влияние гидродинамически активных добавок на параметры гидротранспорта // Гірнична електромеханіка та автоматика: Науково-технічний збірник / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 79. – С. 111 – 116.



6. Семененко Е.В., Бобров В.Б., Никифорова Н.А. Влияние гидродинамически активных добавок на предельные параметры системы гидротранспорта отходов // Научно-технический сборник «Разработка рудных месторождений». – Кривой Рог. – Вып. 92. – 2008. – С. 115 – 119.
7. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Д.: Січ, 2001. – 224 с.
8. Юфин А.П. Гидромеханизация. – М.: Стройиздат, 1965. – 496 с.
9. Силин Н.А., Коберник С.Г. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов. – К.: Изд-во АН Украинской ССР, 1962.
10. Гидротранспорт (вопросы гидравлики) / Н.А. Силин, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик, В.Ф. Очеретько. – К.: Наук. думка, 1971. – 158 с.
11. Силин Н.А., Витошкин Ю.К. Гидротранспорт угля по трубам. – К.: Из-во АН УССР, 1964 – 87 с.
12. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.
13. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогатительных фабрик. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – 855 с.
14. Шурыгин В.Д., Семененко Е.В. Особенности расчета параметров и проведения мониторинга гидротранспортных систем ВГМК // Науч. - техн. сб. «Разработка рудных месторождений». – 2006. – Вып. 1(90). – С. 43 – 48.
15. Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта исходных и техногенных россыпей // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №3(109). – Ч. 2. – 2007. – С. 137 – 143.
16. Блюсс Б.А., Семененко Е.В. Расчет параметров трубопроводных систем для транспортирования технологических пульп // Обогащение руд. – 2008. – №1. – С. 29 – 34.
17. Semenenko E. Calculation of pulping and hydrotransport parameters of polydisperse materials with different density // 14<sup>th</sup> International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles, June, 23-27, 2008, Saint Petersburg, Russia. – P.p. 272 – 279.
18. Рого К.Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справ. Пособие. – К.: Техніка, 1987. – 128 с.

**УДК 622.74:621.928.2**

И.П. Хмеленко, аспирант (ИГТМ НАН Украины)

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРОХОТА ДЛЯ ТОНКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ**

Запропоновано конструкцію грохота для класифікації тонких класів гірської маси, розроблено рекомендації щодо його експлуатації. Приведено результати випробувань грохота ГНВС-М на Павлоградській ЦЗФ і Курахівській ЦЗФ

### **RESULTS OF INDUSTRIAL TESTS OF SCREEN FOR THIN CLASSIFICATION**

Construction of screen for classification thin classes of mining mass is offered, recommendations for its exploitation are developed. The test data of a screen SDES - M on Pavlograd's CCF and Kyhahov's CCF are given

Одной из актуальных проблем обогащения полезных ископаемых является выделение тонких классов крупности на последних стадиях получения концентрата. Это позволяет увеличить выход готового продукта и уменьшить консервирование полезного ископаемого в шламохранилищах и илонакопителях, которые по сути являются техногенными месторождениями. По скромным подсчетам в отстойниках и илонакопителях Украины находится более 115 млн. тонн угольных шламовых различной зольности (в пределах 45-70 %) и крупности (в пределах 2-0,04 мм). В связи с этим постоянно ведутся