

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Наведено результати використання при модернізації гідротранспортних установок кар'єрів Вільногірського гірничо-металургійного комбінату нових методів розрахунку параметрів гідротранспорту, які враховують полідисперсність розсипу, вміст у ній частинок з різною густиною, а також усталені пульсації тиску та витрати гідросуміші.

FORECASTING OF HYDROTRANSPORT PLANT PARAMETERS AND OPERATING REGIMES DURING MODERNIZATION

The results of using of new calculation methods of hydrotransport parameters during modernization of hydrotransport plants of quarries of Volnogorsk Mining and Smelting Enterprise are adduced. These methods take into account placer's polydispersity, content of particles of different density as well as steady-state pulsations of slurry pressure and discharge.

На территории Украины большая часть запасов полиметаллических руд, содержащих минералы титана, циркон, алюмосиликаты и прочие минералы представлена россыпными месторождениями, разработка которых ведется открытым способом с применением методов гидромеханизации, а обогащение россыпей осуществляется гравитационными методами. В таких технологиях основными процессами гидромеханизации являются гидромониторный размыв и напорное гидротранспортирование. Анализ условий эксплуатации и режимов работы комплексов гидромеханизации на карьерах Вольногорского горно-металлургического комбината (ВГМК) и Иршанского горно-обогатительного комбината (ИГОКа) позволил выделить следующие факторы, приводящие к завышенным расходам воды и электроэнергии. Во-первых, для материалов, составляющих полиметаллические россыпи, характерны не только полидисперсность (табл. 1), но и существенное различие в плотностях частиц (табл. 2), что недостаточно учитывается известными методиками расчета критической скорости и гидравлического уклона [1 – 4]. Во-вторых, существующие методы расчета гидротранспортных систем ориентированы на средние значения параметров при установившемся режиме работы. Однако применение центробежных насосов сопровождается генерированием в трубопроводе установившихся пульсаций давления и подачи, которые провоцируют выпадение транспортируемых частиц на дно потока. В-третьих, при открытой разработке полиметаллических россыпей концентрация и плотность пульпы фактически определяются в процессе пульпообразования, которым управляет оператор гидромониторов без учета процесса гидротранспортирования. В современных условиях выбор рациональных параметров процессов гидромеханизации возможен только при комплексном учете всех этих факторов, что сдерживается отсутствием соответствующей научно-методической

базы. В-четвертых, для условий рассматриваемых предприятий набор методов управления параметрами и режимами работы комплексов гидромеханизации ограничен следующими возможными вариантами: изменение количества используемых насосов, замена насосов, установка рабочих колес другого диаметра, изменение концентрации или производительности комплекса. Одновременно с этим для комплексов гидромеханизации большинства россыпных месторождений характерно накопление значительного объема информации о параметрах и режимах работы оборудования в различных условиях, сформированного за многие годы из данных служб механика, энергетика, контроля измерительного оборудования, ремонтных мастерских, подразделений диспетчеров и мониторинга. Эти данные, в большинстве случаев не подвергаемые научному анализу и обобщению, при соответствующем методическом подходе, могут быть использованы для обоснования технических решений при модернизации комплексов гидромеханизации, ограниченных указанным набором вариантов.

Таблица 1 – Гранулометрический состав россыпей Восточного участка Малышевского месторождения

Границы класса крупности частиц	Массовая доля частиц класса крупности, %		
	Есть все материалы	Нет глины или суглинка	Нет глины и суглинка
менее 0,15 мм	24,10	16,05	7,15
от 0,15 до 3 мм	75,58	83,58	92,43
более 3 мм	0,33	0,37	0,41

Таблица 2 – Распределение плотности частиц по классам крупности для россыпей Восточного участка Малышевского месторождения

Границы класса крупности частиц	Плотность частиц класса крупности, кг/м ³		
	Есть все материалы	Нет глины или суглинка	Нет глины и суглинка
менее 0,15 мм	3036	3229	4005
от 0,15 до 3 мм	2727	2726	2726
более 3 мм	2700	2700	2700

Таким образом, установление закономерностей, учитывающих комплексное влияние на параметры энергоемкости и водопотребления комплексов гидромеханизации полидисперсности транспортируемого материала, содержания в нем частиц различной плотности и установившихся пульсаций давления и расхода гидросмеси, является актуальной научной задачей.

Цель – развитие методов прогноза параметров и режимов работы при модернизации комплексов гидромеханизации при открытой разработке россыпных месторождений с учетом зависимости энергоемкости и водопотребления от параметров трубопровода и насосного оборудования.

Анализ более 20 методик расчета параметров гидротранспорта показал, что существующими методиками расчета гидравлического уклона и критической скорости гидротранспортирования россыпей и руд полидисперсность материала

и различие в плотностях его частиц учитываются с недостаточной точностью, не рассматриваются существующие в реальных условиях установившиеся пульсации подачи и давления пульпы, а также не описывается влияние изменения дополнительного гидравлического уклона и критической скорости при понижении температуры гидросмеси с учетом внешнего теплозащитного слоя и внутреннего слоя обледенения. В результате использование этих методик не позволяет адекватно оценивать энергоемкость и водопотребление комплексов гидромеханизации, как при проектировании, так и при модернизации.

Анализ результатов мониторинга параметров и режимов работы комплекса гидромеханизации на карьерах ВГМК за период с 2005 по 2009 г. (табл. 3), а также рассчитанных по их данным величины энергоемкости и водопотребления (табл. 4, 5), позволяет установить связь между этими показателями и техническими параметрами оборудования. При этом, поскольку эксплуатация комплекса гидромеханизации осуществлялась в сверхкритических и бескавитационных режимах, данные мониторинга комплексно учитывают влияние параметров россыпи, особенности работы центробежных насосов и оператора гидромониторов.

Таблица 3 – Характеристики магистралей комплексов гидромеханизации карьеров ВГМК в 2005 – 2009 гг.

Период работы	Длина магистрали установки карьера, м		Насосы, используемые для подачи россыпей карьера	
	"7 Север"	"7 Юг"	"7 Север"	"7 Юг"
с 10.05 по 04.06 г.	8209	8911	WRMAN 20 АН (1 шт.) GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.)	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)
с 05.06 по 04.07 г.	9231	8911	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)
с 04.07 по 10.07 г.	9231	9761	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)
с 11.07 по 01.08 г.	9231	9761	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)
с 02.08 по 05.09 г.	9231	9761	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)
с 06.09 по 07.09 г.	10551	9786	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)

Для характеристики состояния комплекса гидромеханизации, при изменении длины магистрали или установке насосов с рабочими колесами другого диаметра, предлагается использовать величину, равную отношению длины

магистрала, выраженная в пикетах (ПК), т. е. в участках трубопровода длиной по 100 м, к сумме диаметров рабочих колес используемых насосов, выраженных в дюймах, и вычисляемую по формуле (табл. 6 – 8)

$$\Lambda = \frac{L_*}{\sum_{i=1}^N D'_i}, \quad (1)$$

где Λ – величина, характеризующая состояние комплекса гидромеханизации, ПК/"; L_* – длина трубопровода, выраженная в пикетах, ПК; D'_i – диаметр рабочего колеса i -го насоса, "; N – количество используемых насосов.

Таблица 4 – Показатели работы комплекса гидромеханизации карьера "7 Север" в 2005 – 2009 гг.

Наименование Показателей	Период работы					
	с 10.05 по 04.06 г.	с 05.06 по 04.07 г.	с 04.07 по 10.07 г.	с 11.07 по 01.08 г.	с 02.08 по 05.09 г.	с 06.09 по 07.09 г.
Грузопоток, т/ч	648	1063	1058	1014	1052	1060
Подача воды, м ³ /ч	2478	2589	2229	2828	2656	2371
Подача пульпы, м ³ /ч	2709	2969	2606	3189	3031	2749
Потребление электроэнергии, квт·ч	3213	3935	3578	3069	3985	3691
Удельный расход оборотной воды, м ³ /т	3,927	2,426	2,144	2,823	2,555	2,240
Удельный расход электроэнергии, квт·ч/т	5,100	3,701	3,426	4,290	3,838	3,485
Концентрация пульпы, %	0,088	0,129	0,144	0,121	0,125	0,138
Плотность пульпы, т/м ³	1,158	1,233	1,260	1,218	1,225	1,248

Таблица 5 – Показатели работы комплекса гидромеханизации карьера "7 Юг" в 2005 – 2009 гг.

Наименование Показателей	Период работы					
	с 10.05 по 04.06 г.	с 05.06 по 04.07 г.	с 04.07 по 10.07 г.	с 11.07 по 01.08 г.	с 02.08 по 05.09 г.	с 06.09 по 07.09 г.
Грузопоток, т/ч	614	1047	935	993	976	977
Подача воды, м ³ /ч	2228	2775	2372	3166	2641	2386
Подача пульпы, м ³ /ч	2447	3149	2706	3520	2990	2734
Потребление электроэнергии, квт·ч	3036	4383	3824	4425	3977	3657
Удельный расход оборотной воды, м ³ /т	3,793	2,669	2,630	3,213	2,759	2,445
Удельный расход электроэнергии, квт·ч/т	5,148	4,204	4,189	4,453	4,142	3,755
Концентрация пульпы, %	0,093	0,120	0,125	0,105	0,117	0,128
Плотность пульпы, т/м ³	1,167	1,216	1,225	1,189	1,211	1,230

Для комплексов гидромеханизации обоих карьеров с увеличением значения Λ величины грузопотока, концентрации и плотности пульпы возрастают,

удельные расходы оборотной воды и электроэнергии – снижаются. При этом зависимости объема потребленной электроэнергии, подачи воды и пульпы от величины Λ имеют максимумы, которые реализуются для комплекса гидромеханизации карьера "7 Юг" около значения 0,6025 ПК/" (см. табл. 8), а для карьера "7 Север" – между 0,5698 и 0,6033 ПК/" (см. табл. 7).

Таблица 6 – Значения параметра Λ для комплексов гидромеханизации карьеров ВГМК за период с 2005 по 2009 гг.

Карьер	Длина магистрала, м	Насосы, используемые для подачи россыпей	Значение Λ , ПК/"
"7 Север"	8209	WRMAN 20 АН (1 шт.) GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.)	0,5005
	9231	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)	0,5698
	9231	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)	0,6033
	10551	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)	0,6896
"7 Юг"	8911	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)	0,5501
	9761	GIW WBC18×20 (HD) (3 шт.)	0,6025
	9761	GIW WBC18×20 (HD) (2 шт.) GIW LSA 18×20-44(45) (1 шт.)	0,6388

Таблица 7 – Показатели работы комплекса гидромеханизации карьера "7 Север" в зависимости от значения параметра Λ

Наименование показателей	Значение Λ , ПК/"			
	0,5005	0,5698	0,6033	0,6896
Грузопоток, т/ч	648	1038	1055	1060
Подача воды, м ³ /ч	2478	2709	2442	2371
Подача пульпы, м ³ /ч	2709	3079	2819	2749
Потребление электроэнергии, квт·ч	3213	3502	3781	3691
Удельный расход оборотной воды, м ³ /т	3,927	2,624	2,350	2,240
Удельный расход электроэнергии, квт·ч/т	5,100	3,996	3,632	3,485
Концентрация пульпы, %	8,8	12,5	13,5	13,8
Плотность пульпы, т/м ³	1,158	1,225	1,242	1,248

Таблица 8 – Показатели работы комплекса гидромеханизации карьера "7 Юг" в зависимости от значения параметра Λ

Наименование показателей	Значение Λ , ПК/"		
	0,5501	0,6025	0,6388
Грузопоток, т/ч	830	964	976
Подача воды, м ³ /ч	2502	2769	2513
Подача пульпы, м ³ /ч	2798	3113	2862
Потребление электроэнергии, квт·ч	3710	4125	3817
Удельный расход оборотной воды, м ³ /т	3,231	2,922	2,602
Удельный расход электроэнергии, квт·ч/т	4,676	4,321	3,948
Концентрация пульпы, %	10,6	11,5	12,2
Плотность пульпы, т/м ³	1,191	1,207	1,220

Расхождения между показателями работы комплексов гидромеханизации карьеров "7 Юг" и "7 Север", и соответствующими данными табл. 7 и 8, обусловлены разницей геодезических отметок трасс трубопроводов, а также особенностями работы узлов пульпоприготовления. Однако для обоих комплексов тенденция изменения всех параметров одинакова – с увеличением значения Λ удельные потребления воды и электроэнергии убывают, что подтверждает эффективность проведенных модернизаций этих комплексов.

Для прогноза параметров и режимов работы комплексов гидромеханизации на карьерах предложены следующие величины:

$$\psi = \frac{Q_0}{G}; \quad \mu = \frac{N_{\Sigma}}{G}; \quad q = \frac{N_{\Sigma}}{Q_0}; \quad G = \rho_S Q_S, \quad (2)$$

где N_{Σ} – суммарная мощность насосов комплекса гидромеханизации; Q_0 – объемное потребление воды для нужд пульпообразования и гидротранспортирования; G – грузопоток; ρ_S – средневзвешенная плотность россыпи; Q_S – объемная подача твердого материала.

Аппроксимация зависимостей величин (2) от значения Λ позволяет предложить следующие формулы для их прогноза при модернизации комплекса (рис. 1 – 3):

$$\psi = r_S \psi_*; \quad \mu = r_N \mu_*; \quad q = r_Q q_*; \quad (3)$$

$$r_S = \frac{0.043}{\Lambda^{4.649}}; \quad r_N = \frac{0.065}{\Lambda^{4.096}}; \quad r_Q = 1.338 \Lambda^{0.387}, \quad (4)$$

где ψ_* , μ_* , q_* – значения удельных величин для базового состояния комплекса гидромеханизации; ψ , μ , q – значения удельных величин для проектируемого состояния комплекса гидромеханизации.

Формулы (1) – (4) позволяют оценить как изменяться энергоемкость и водопотребление комплекса гидромеханизации в результате модернизации, например, после удлинения трубопровода при перемещении головной ПНС вслед за фронтом горных работа или после замены насоса, или же обосновать выбор диаметров рабочих колес и количества насосов, позволяющих обеспечить требуемые значения этих параметров после модернизации.

Таким образом, на основе результатов мониторинга параметров и режимов работы комплекса гидромеханизации на карьерах ВГМК за период с 2005 по 2009 г., впервые предложен инженерный метод прогноза параметров и режимов работы комплекса гидромеханизации при его модернизации, что позволяет достоверно рассчитывать параметры энергоемкости и водопотребления процесса транспортирования материалов различного гранулометрического состава с существенной разницей в плотностях.

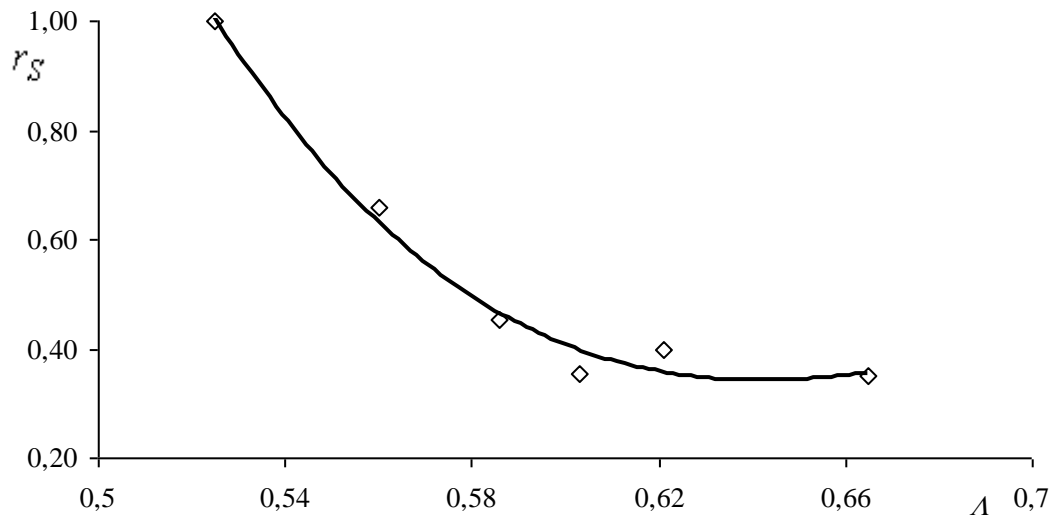


Рис. 1 - Зависимость величины r_S от параметра Λ для условий ВГМК

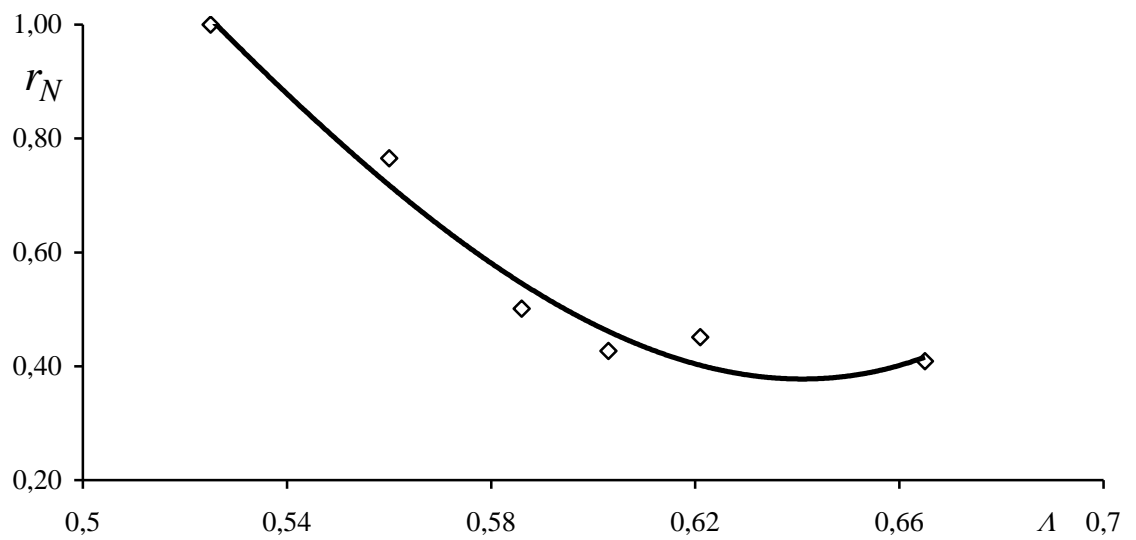


Рис. 2 - Зависимость величины r_N от параметра Λ для условий ВГМК

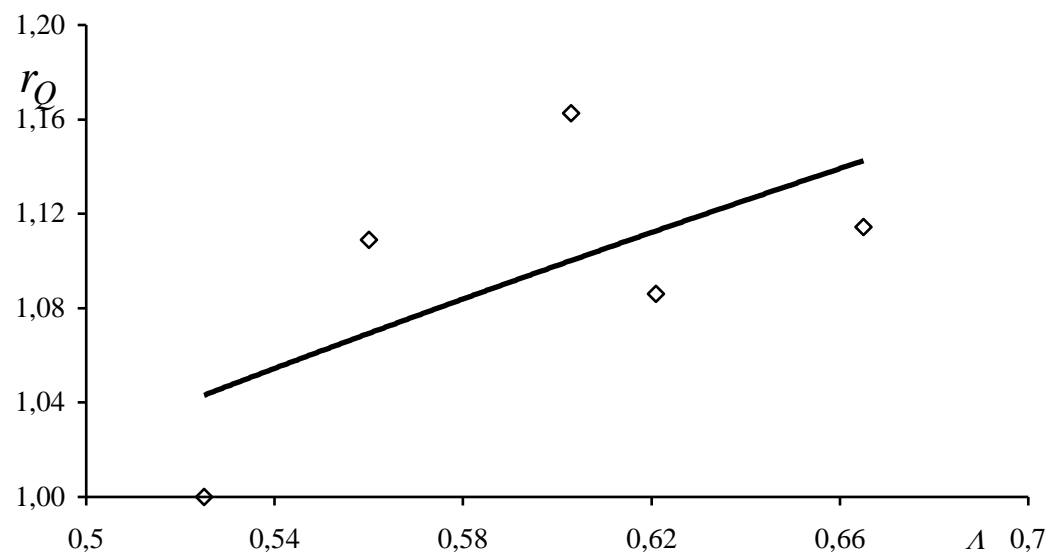


Рис. 3 - Зависимость величины r_Q от параметра Λ для условий ВГМК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Д.: Новая идеология, 2006. – 416 с.
2. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
3. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 390 с.
4. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.