

пространства участковых выработок; при погашении тупиковых выработок. Однако, необходимым условием надежной и эффективной работы комплекса КВПБ является наличие компрессорной установки в качестве индивидуального источника сжатого воздуха, который обеспечит комплекс необходимыми параметрами сжатого воздуха по расходу и давлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология закладки и экономические особенности оставления породы в выработанном пространстве подземных предприятий. Под общ. ред. докт. техн. наук С.С. Гребенкина и к.т.н. А.И. Ильина. Донецк, «Регион», 1999, 342 с.
2. Потураев В.Н., Волошин А.И., Пономарев Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов. – К. – Наук. думка, 1989. – 245 с.
3. Волошин А.И., Рябцев О.В., Волошин А.А. Промышленная проверка работы комплекса КВПБ в шахтных условиях. Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дн-ськ, 2000. – вип. 21. – с. 44-47.
4. Волошин А.И., Игнатович Ю.Н., Рябцев О.В. и др. Результаты испытаний вибропневмотранспортной машины непрерывного действия с воздуходувной установкой ВП-70. Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дн-ськ, 2001. – вип. 25. – с. 92-96.
5. Волошин А.И., Игнатович Ю.Н., Рябцев О.В. и др. Обоснование параметров индивидуальной компрессорной установки комплекса КВПБ для отработки угольных пластов прямым ходом с оставлением породы в бутовых полосах. Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. – Дн-ськ, 2000. – вип. 22. – с. 7-13.

УДК 622.648.22

Е.В. Семененко

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПЕРЕНОСЕ ГОЛОВНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

На прикладі гідротранспортного комплексу Вільногірського державного гірничо-металургійного комбінату розглянуто характер зміни параметрів роботи кар'єрного гідротранспортного комплексу при пересуванні головної насосної станції за фронтом гірничих робіт. Запропоновано апроксимації залежностей основних гідравлічних параметрів гідротранспорту від концентрації гідросуміші.

THE MODIFICATION PARAMETERS OF HYDRO-TRANSPORT COMPLEX IN THE TIME OF TRANSFER OF THE MAIN PUMP STATION

On an example of hydro-transport complex of Volnogorsk state mine-metallurgical plant the character of modification parameters of work quarry's hydro-transport complex in the time of transfer of the main pump station beyond the front of mine works was examined. Approximation dependences of the main hydraulic parameters of hydrotransport from concentration of hydro-mixture was offered.

Напорный гидротранспорт широко используется в горнодобывающей промышленности для перемещения сыпучих материалов непосредственно вблизи горных работ, от места добычи к месту обогащения, а также внутри обогатительного цикла [1-4]. Этот вид транспорта характеризуется удобством в эксплуатации, надежностью и высокой производительностью. К недостаткам напорного гидротранспортирования следует отнести относительно высокую энергоемкость процесса и трудности применения в зимний период года [1, 3].

Отличительной особенностью гидротранспортных комплексов, осуществляющих доставку минерального сырья от мест добычи на обогатительное производство, является планомерное изменение их магистралей при перемещении головной насосной станции за фронтом горных работ. В таких условиях для обеспечения процесса гидротранспортирования в сверхкритическом режиме с минимальными энергозатратами необходимо заранее оценивать возможные режимы работы и параметры гидротранспортирования.

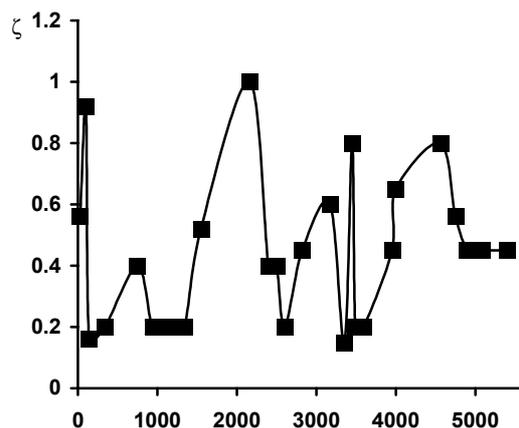
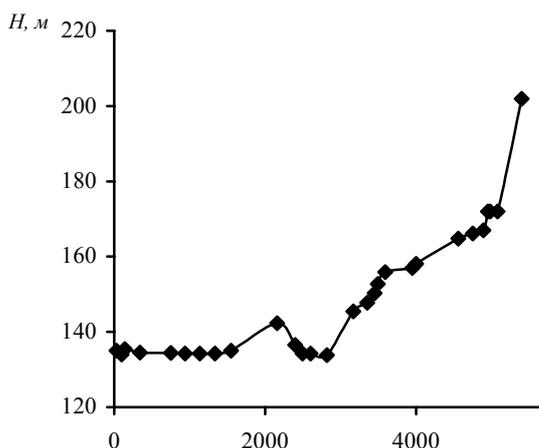
Актуальность предварительного расчета при определении нового положения головной насосной станции определяется тем, что перенос ее на новое место осуществляется не более одного раза в год. Таким образом, в ходе этих расчетов закладываются условия эксплуатации гидротранспортного комплекса в течение длительного периода.

Магистраль гидротранспортного комплекса, который используется для доставки материала от места добычи к месту переработки, можно разделить на две части – основная трасса и карьерная магистраль. Основная трасса соединяет обогатительную фабрику с пульпонасосной станцией на борту карьера. Параметры этой трассы, такие как протяженность, место расположения насосных станций и число поворотов, как правило, не изменяются, в то время как параметры карьерной магистрали варьируются. В частности, насосная станция данной магистрали перемещается вслед за фронтом горных работ, что увеличивает длину карьерного участка трассы, изменяет количество и месторасположения поворотов и других гидравлических сопротивлений.

На Вольногорском государственном горно-металлургическом комбинате (ВГГМК) протяженность основной трассы составляет 5400 м (см. рис. 1.1). На неё располагаются две насосные станции, расстояние между которыми приблизительно равняется 3400 м. Разность геодезических высот начала и конца трассы составляет 63 м. При этом разница геодезических отметок между первой и второй насосными станциями - 15 м, а между второй насосной станцией и обогатительной фабрикой – 48 м.

Карьерная магистраль на ВГГМК имеет длины 2760 м на первой очереди и 2920 м - на второй. При этом в обоих случаях разница геодезических отметок начала и конца магистрали составляет 18 м, и на участке между головной пульпонасосной станцией и станцией на борту карьера насчитывается 11 колен с углом поворота 90°.

Как правило, карьерную магистраль можно разделить на два участка - стационарный и переменный. Длина стационарного участка не изменяется при переносе головной пульпонасосной станции за фронтом горных работ, а переменный участок ежегодно наращивается. Внутри стационарного и переменного участков по своему назначению выделяются три вида трубопроводов внутрикарьерный, наклонный и бортовой. Внутрикарьерный трубопровод обеспечивает перемещение гидросмеси внутри карьерного поля, наклонный - обеспечивает подъем гидросмеси на борт карьера, а бортовой - перемещение гидросмеси по борту карьера.



а - Геодезические отметки трассы

б - Местные гидравлические сопротивления

Рис. 1 – Распределение параметров гидротранспортного комплекса ВГГМК по длине трубопровода.

Как показывает анализ, наклонный и бортовой трубопроводы во всех рассматриваемых магистралях можно считать прямолинейными, при этом, основная масса гидравлических сопротивлений, поворотов и колен сосредоточено на карьерном трубопроводе. Ориентировочные протяженности трубопроводов на упомянутых участках карьерных магистралей ВГГМК указаны в табл. 1. Из анализа таблицы видно, что в результате продвижения головной пульпонасосной станции за фронтом горных работ меньше всего изменяются карьерный и наклонные трубопроводы, а длина бортового изменяется в 1,4-2,5 раза.

Таблица 1 - Параметры участков карьерной магистрали гидротранспортного комплекса

Наименование трубопроводов участков	Переменный участок, м				Стационарный участок, м
	Первая очередь		Вторая очередь		
	2000 г.	2001 г.	2000 г.	2001 г.	
Внутрикарьерный	60	50	60	60	200
Наклонный	80	60	124	140	200
Бортовой	80	300	570	800	1170
Суммарная длина	220	410	754	1000	1570

На карьерных магистралях установлено по одному насосу, каждый из которых оснащен зумпфом глубиной 2,5 м. Насос расположен над зумпфом и отодвинут от него на расстояние 15 м. Всасывающие трубопроводы насосов оборудованы сифонами, которые обеспечивают запуск насоса.

Каждая очередь гидротранспортного комплекса ВГГМК оснащена тремя насосами WBC-54 18×20, которые укомплектованы синхронными двигателями.

Гидротранспортирование осуществляется по схеме «насос-в-насос» без разрыва струи на промежуточных пульпонасосных станциях. Зумпфом оснащена

только головная пульпонасосная станция, располагаемая в карьере непосредственно у фронта горных работ. Глубина зумпфа составляет 2,5 м, всасывающий патрубок представляет собой вертикальный трубопровод с вырезанным в нижней части боковым отверстием.

Транспортируемый материал содержит частиц класса менее 0,25 мм 26%, частиц класса 0,25-3 мм – 66%, и частиц крупностью более 3 мм – 8%. Каждая из этих фракций определяет гидравлический уклон при течении гидросмеси. Около 60% удельных потерь напора вызвано частицами крупностью менее 0,25 мм, примерно 37% – частицами более 3 мм, и не более 3% – частицами класса 0,25–3 мм.

Для расчета режима работы гидротранспортного комплекса использовались зависимости для определения гидравлических сопротивлений и критических скоростей при течении полидисперсной гидросмеси в горизонтальном трубопроводе, предложенные А. Е. Смолдыревым [1]:

$$V_{kp} = 1,9\sqrt{gD} \sqrt[3]{\frac{\omega S_2 A}{\sqrt{d_{cp}}}} + 6,5\sqrt{fgDS_3 A} ;$$

$$i = i_o(1 + AS_1) + 0,35S_2 A \frac{\omega}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} + fAS_3 ;$$

$$A = \frac{Ar(1 - S_1)}{(1 + ArS_1)}, \quad Ar = \frac{\rho_{\tau} - \rho_0}{\rho_0} ,$$

где: S_1, S_2, S_3 - объемные концентрации соответственно тонких (0 – 0,16 мм), мелких (0,16 – 2 мм) и кусковых (+2 мм) фракций; D – диаметр трубопровода; S – объемная концентрация всех фракции; Ar – параметр Архимеда; ρ_{τ}, ρ_0 – плотности соответственно твердых частиц и жидкой фазы; g – ускорение свободного падения; i_o – гидравлический уклон при движении чистой воды; V – скорость гидросмеси; d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц мелкой фракции, [м]; ω – скорость стесненного падения частиц мелкой фракции; f - обобщенный коэффициент трения частиц о нижнюю стенку трубы.

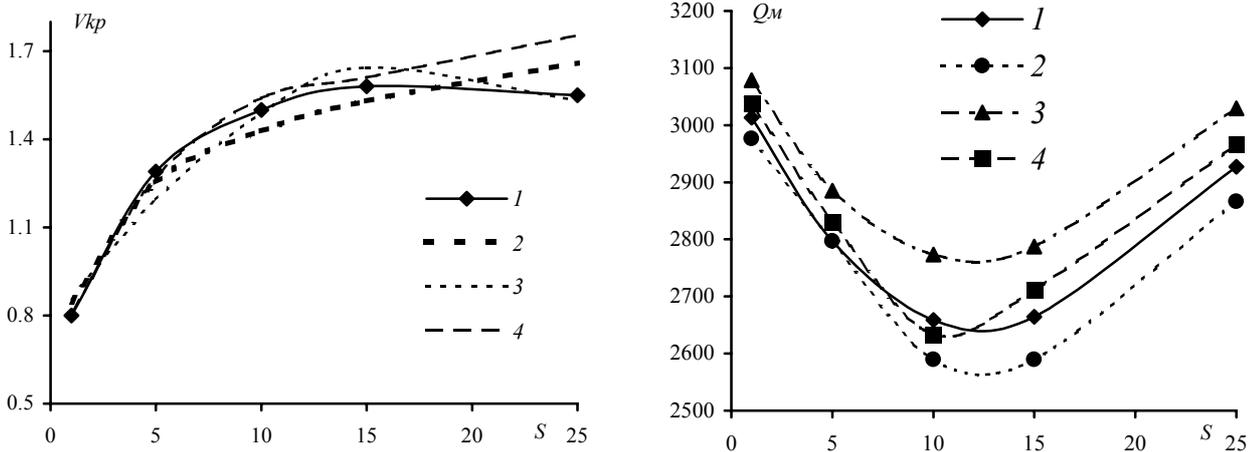
Для определения удельных потерь напора i_o (м/м) использовались формула Дарси-Вейсбаха, а коэффициент λ_0 определяется по эмпирической зависимости Колбрука-Конакова [1-4].

Результаты расчетов показывают, что величина критической скорости наиболее сильно зависит от содержания частиц крупностью более 3 мм. Так, для частиц класса более 3 мм критическая скорость в 2 раза больше, чем для частиц 0,25–3 мм. Проведенные исследования расчетных критических скоростей показывают, что для условий гидротранспортного комплекса ВГГМК, зависимость критической скорости от концентрации, при транспортировании материала рассматриваемого фракционного и гранулометрического состава, может быть аппроксимировано одной из следующих функцией (см. рис. 2):

$$V_{kp} = 0,2529 \ln(S) + 0,846 \quad V_{kp} = -0,0028S^2 + 0,1009S + 0,7606, \quad (1)$$

$$V_{kp} = 0,002S^3 - 0,01S^2 + 0,1692S + 0,6481 \quad (2)$$

Выражения (1), (2), позволяют аппроксимировать данную зависимость с высокими значениями R^2 (от 0,945 до 0,9965) в диапазоне концентраций до 25% (рис. 2).



1 – расчетная зависимость; 2 – логарифмическая аппроксимация; 3 – квадратичная аппроксимация; 4 – кубическая аппроксимация.
а – Критическая скорость, м/с

1 – первая очередь новая трасса; 2 – вторая очередь новая трасса; 3 – первая очередь старая трасса; 4 – вторая очередь старая трасса.
б – Расход гидросмеси, м³/ч

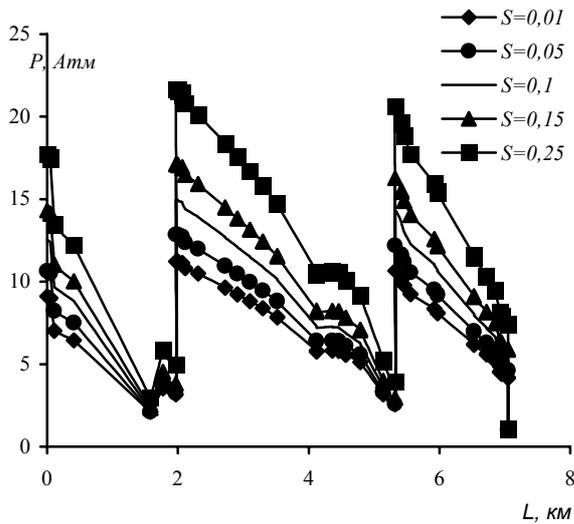
Рис. 2 – Зависимость гидродинамических параметров гидротранспортного комплекса от концентрации гидросмеси.

Результаты статистической обработки зависимостей подачи гидротранспортного комплекса от концентрации гидросмеси (рис. 2), показывают, что для приблизительного расчета производительности гидротранспортного комплекса по твердому материалу можно использовать такие формулы:

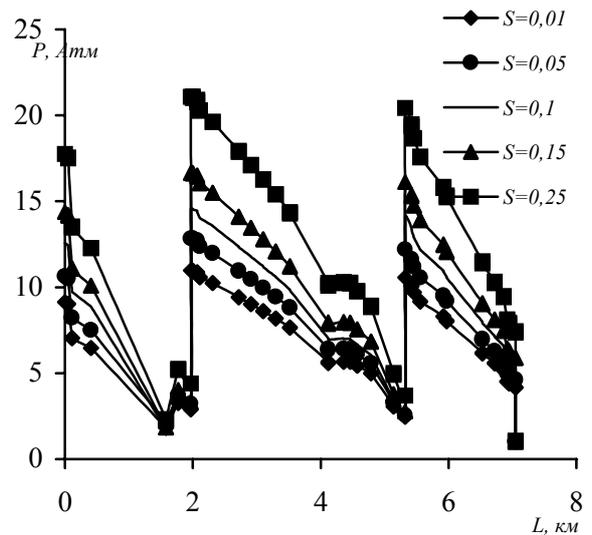
$$Q_T = 0,002S^3 - 44,572S^2 + 2321,7S, \quad (3)$$

$$Q_T = 0,0402S^4 + 3,2095S^3 - 59,232S^2 + 2345,9S \quad (4)$$

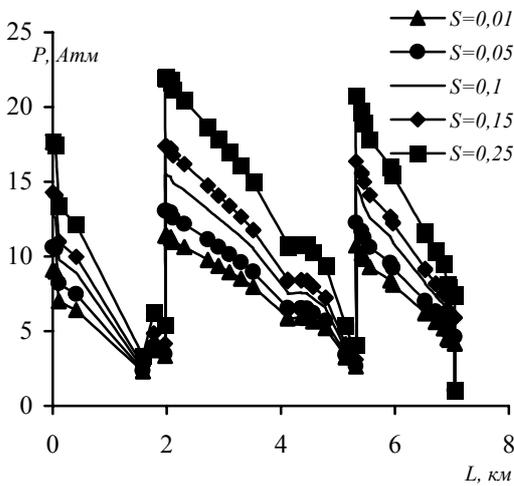
Были проведены расчеты параметров и режимов работы первой и второй очередями гидротранспортного комплекса ВГГМК. Расчет проводился для пяти значений концентраций гидросмеси из диапазона 1...25%, отдельно для старого и нового положения головной насосной станции (см. таб. 1). По результатам расчета строили графические зависимости распределения давления по длине трубопровода (рис. 3).



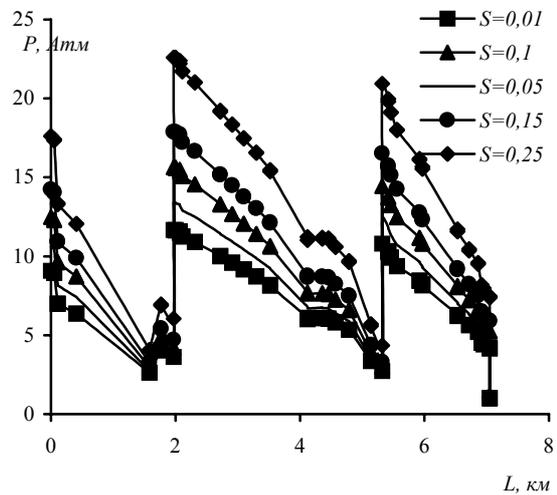
а - существующая трасса второй очереди



б - предполагаемая трасса второй очереди



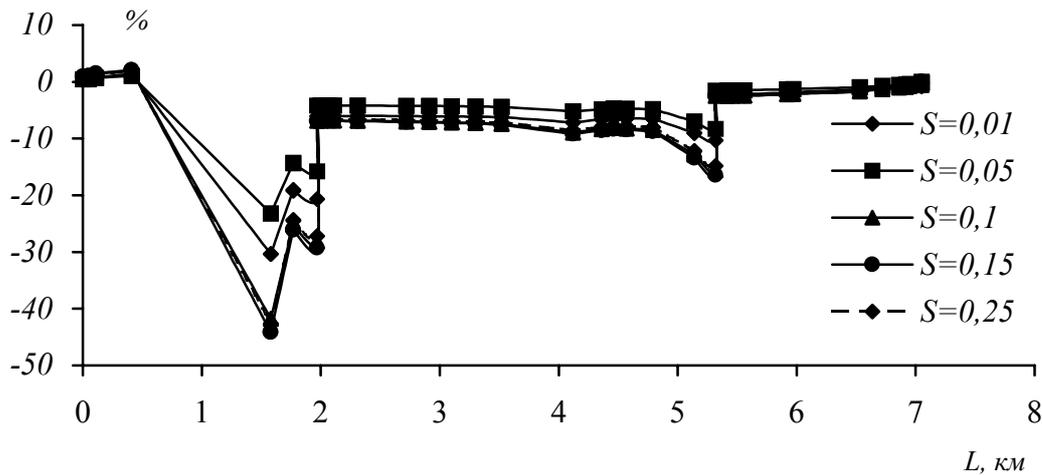
а - существующая трасса первой очереди



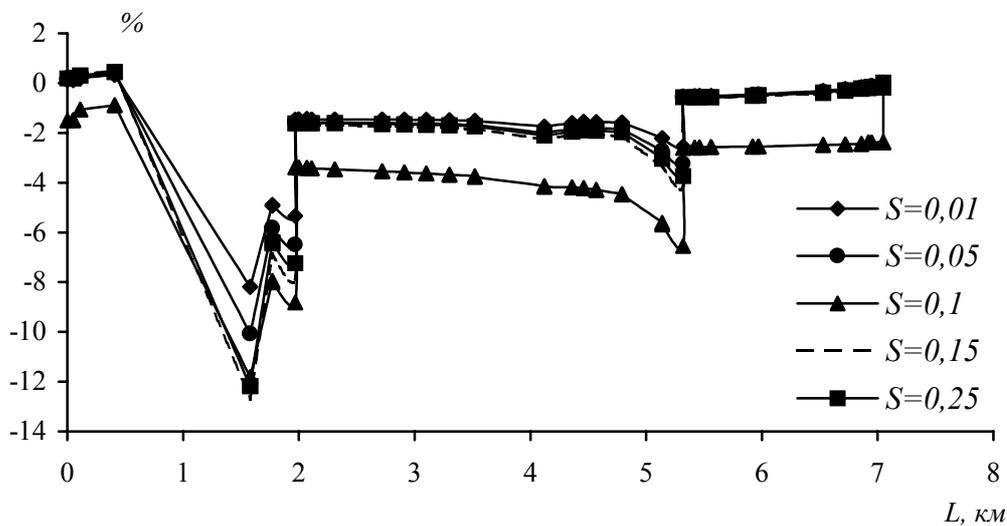
б - предполагаемая трасса первой очереди

Рис. 3 – Распределение давления по трассе гидротранспортного комплекса.

В ходе расчета определяли рабочий режим комплекса, то есть величины суммарного напора насосов и подачу установки. Кроме этого для каждого варианта находилась критическая скорость гидротранспортирования, суммарные потери напора на трение и на местные гидравлические сопротивления. Для наглядности изменения распределения давления по длине гидротранспортного комплекса, при переносе головной насосной станции для каждого варианта вычисляли относительные изменения данной величины (рис. 4).



а – вторая очередь



б - существующая трасса

Рис. 4 – Относительное изменение давления по трассе гидротранспортного комплекса при смещении головной насосной станции

Анализ результатов расчетов показывает, что перенос головной насосной станции вызывает снижение давления в магистрали, при этом наиболее сильно изменяется давление на участке между головной насосной станцией и пульпо-насосной на борту карьера (рис. 4). Относительное снижение давления на этом участке достигает для второй очереди 40%, а для первой – 12%. Помимо этого, при передвижении головной насосной станции, давление наиболее сильно изменяется перед насосами гидротранспортного комплекса. При этом, чем ближе расположен насос к концу магистрали, тем это изменение меньше.

Результаты расчетов показывают, что значение критической скорости достигает максимума при концентрациях около 15%, при этом дальнейшее повышение концентрации сопровождается незначительным уменьшением данной величины.

Анализ зависимости скорости гидросмеси в трубопроводе гидротранспортного комплекса от концентрации показывает, что транспортирование рассматриваемых россыпей с низкими концентрациями энергетически не оправдано. При концентрациях гидросмеси менее 10%, рабочая скорость движения гидросмеси превосходит минимум в 2,5 раза критическое значение, а при концентрациях менее 5% - в 3-5 раза. Одновременно, для концентраций более 15%, при такой же производительности гидротранспортного комплекса, это соотношение не превышает 3.

Зависимость расхода гидросмеси от концентрации, во всех исследованных случаях, носит экстремальный характер. Минимальная производительность гидротранспортного комплекса наблюдается в диапазоне концентраций гидросмеси 10...15%, где данная величина снижается в среднем на 13% по сравнению со значениями на концах исследуемого промежутка.

Перемещение головной насосной станции за фронтом горных работ изменяет режим работы всего гидротранспортного комплекса. При выборе ее нового положения необходимо учитывать целый ряд факторов, таких как: сверхкритический режим течения гидросмеси; отсутствие кавитационных явлений во всасывающих трубопроводах и проточных частях насосов; обеспечение регламентированной производительности гидротранспортного комплекса в пределах рабочей области эксплуатируемых насосов.

Выбор рационального режима работы гидротранспортного комплекса определяется возможными вариантами расположения головной насосной станции. Так при значительном ее удалении от пульпонасосной на борту карьера повышается вероятность критических режимов работы, а при близком расположении – возникают кавитационные явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смолдырев А.Е. Гидравлический и пневматический транспорт на угольных предприятиях. - М.: Укртегиздат, 1956. - 291 с.
2. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. - М.: Недра, 1991. - 304 с.
3. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ.-М.: Недра, 1985.-583 с.
4. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.