

ПРОТАСОВ С.И. (Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР»)

ПОКЛОНОВ Д.А. (Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева)

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМОНИТОРОВ ГД-300
НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА**

Приведены результаты экспериментальных исследований нового гидромонитора ГД-300, на основании которых установлена аналитическая зависимость обобщенного коэффициента сопротивления гидромонитора от диаметра применяемых насадок и разработан алгоритм определения диаметра насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции. Применение новых гидромониторов обеспечивает повышение производительности и эффективности гидромеханизации.

Ключевые слова: разрезы Кузбасса, гидромеханизация, испытания гидромониторов

ВВЕДЕНИЕ

Анализ объемов вскрышных пород, разрабатываемых средствами гидромеханизации на угольных карьерах Кузбасса, показывает тенденцию их сокращения в последние годы [6, 7, 8]. Одной из основных причин этого следует считать повышение категории трудности пород для их разработки средствами гидромеханизации, на размыв которых требуется применение высоконапорных гидромониторных струй [9]. Учитывая, что в ближайшие годы в Кузбассе будут вводиться в эксплуатацию новые участки месторождений, в частности Сартакинский-2, перекрытые мощными четвертичными отложениями, разработка которых мощным экскавационным оборудованием затруднена, требуется дальнейшее развитие гидромеханизации. Опыт других регионов страны показывает, что в таких случаях гидромеханизация обеспечивает высокую экономическую эффективность [10–15].

Выполненный анализ [8] показывает, что в настоящее время на разрезах Кузбасса применяются в основном гидромониторы ГМД-250М с насадками диаметром 100 и 110 мм, которые могут обеспечить расход воды на разработку породы до 2000 м³/ч. Один такой гидромонитор не может обеспечить обычные сезонные объемы разработки вскрышных пород. Поэтому для разработки пород применяют два и более рабочих гидромониторов, работающих параллельно,

или несколько отдельных насосно-гидромониторных установок. Это приводит к увеличению числа обслуживающего персонала и, естественно, влияет на себестоимость разработки.

Испытания

По заказу ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» разработаны и изготовлены гидромониторы ГД-300 (ОАО «Завод Гидромаш», г. Новокузнецк) и Т-521 (ООО «Юргинский машзавод», г. Юрга). Разработаны программы и согласованы с Ростехнадзором методики испытаний двух гидромониторов ГД-300 в промышленных условиях разреза «Кедровский» (рис. 1). Одновременно были проведены испытания гидромонитора Т-521 на разрезе «Галдинский».

Обе модели имеют большие по сравнению с ГМД-250М проходные сечения проточных каналов и диаметры насадок. Для них предусматривается использование насадок диаметром 125...175 мм, что позволяет получить расход воды до 5000 м³/ч в зависимости от напора, т.е. в два с лишним раза больше расходов гидромониторов ГМД-250М. Результаты испытаний позволяют однозначно утверждать, что эффективность разработки пород такими гидромониторами существенно выше, по сравнению с гидромониторами ГМД-250М, а технико-экономические показатели работы гидромониторно-землесосных комплексов значительно улучшаются. Гидромонитор





Рис. 1. Гидромонитор ГД-300 производства ОАО «Завод Гидромаш» на разрезе «Кедровский»

отвечает требованиям нормативных документов, поэтому Ростехнадзором выдано разрешение на применение на открытых горных работах.

Для обоснования целесообразности использования таких гидромониторов с целью повышения эффективности гидромеханизированной разработки вскрышных пород был произведен комплекс научных исследований, направленных на выявление их эксплуатационных характеристик, позволяющих произвести оптимизацию параметров технологических схем гидромониторно-землесосных комплексов с целью снижения затрат на разработку вскрышных пород.

Основными эксплуатационными параметрами гидромониторов, как известно, являются напор на входе (или перед его насадкой) и расход воды, которые определяют режим его работы и взаимосвязаны между собой. При изменении напора на входе в

гидромонитор меняется и расход воды. Каждый гидромонитор может иметь бесконечное множество режимов работы в зависимости от напора, создаваемого на входе в него. Совокупность всех возможных режимов работы гидромонитора, т.е. численные значения напора и расхода гидромонитора в конкретных условиях эксплуатации (при определенной насосной станции, создающей напор воды на входе в гидромонитор) отображают конкретный или действительный режим работы гидромонитора. При этом надо учитывать, что для каждой насадки имеется оптимальный напор, при котором удельный расход будет минимальным.

Конечной целью эксплуатационных расчетов насосно-гидромониторных установок является определение действительных режимов работы насосов и гидромониторов. Для этого, помимо напорных характеристик насосов и трубопроводов,



необходимо иметь напорную характеристику гидромонитора, которая представляет собой квадратичную параболу, проходящую через начало координат [1], и описывается зависимостью

$$H_{\text{ГМ}} = R_{\text{ГМ}} Q^2, \quad (1)$$

где $H_{\text{ГМ}}$ – суммарный расход удельной энергии при движении воды в гидромониторе, называемый его сопротивлением, м; $R_{\text{ГМ}}$ – обобщенный коэффициент сопротивления гидромонитора, $\text{с}^2/\text{м}^5$; Q – расход воды через гидромонитор, $\text{м}^3/\text{с}$.

В процессе экспериментальных исследований напорных характеристик

гидромонитора в промышленных условиях филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» были получены численные значения обобщенных коэффициентов сопротивления гидромониторов ГД-300 при различных диаметрах используемых насадок. Испытания производились с насадками диаметром 118, 125, 140 и 160 мм. При этом значения обобщенных коэффициентов сопротивления $R_{\text{ГМ}}$ составили соответственно 518, 399, 276,5 и 168,5. На рис. 2 показаны монтажная схема первичного прибора, а, и общий вид расходомера, установленного на подводящем трубопроводе, б.

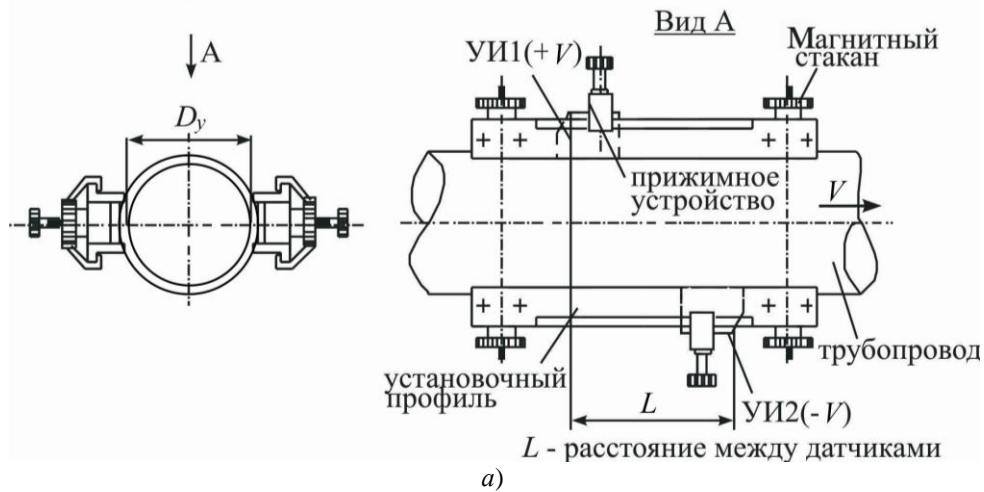


Рис. 2. Монтажная схема первичного прибора, а, и общий вид расходомера, установленного на подводящем трубопроводе, б

Обобщенный коэффициент сопротивления $R_{ГМ}$ характеризует сопротивление гидромонитора $H_{ГМ}$, м, которое представляет собой полный расход удельной энергии водой при движении ее в каналах гидромонитора и равно сумме потерь напора в самом гидромониторе $h_{ГМ}$, м, потерь напора в насадке $h_{НС}$, м, и динамического напора $H_{д}$, м, на выходе из насадки, т.е.

$$H_{ГМ} = h_{ГМ} + h_{НС} + H_{д}. \quad (2)$$

В свою очередь

$$h_{ГМ} = k_{Г} Q^2; \quad (3)$$

$$h_{НС} = \xi_{НС} \left(\frac{V_{НС}^2}{2g} \right); \quad (4)$$

$$H_{д} = \left(\frac{V_{НС}^2}{2g} \right), \quad (5)$$

где $k_{Г}$ – коэффициент потерь напора в гидромониторе; Q – расход воды через гидромонитор, м³/с; $\xi_{НС}$ – коэффициент гидравлического сопротивления насадки; $V_{НС}$ – скорость вылета струи из насадки, м/с.

С учетом (3), (4) и (5) зависимость (2) преобразуется к виду

$$H_{ГМ} = k_{Г} Q^2 + \frac{\xi_{НС} + 1}{2g} V_{НС}^2.$$

Выразим $V_{НС}$ в уравнении (6) через расход воды Q , м³/с, и диаметр насадки $d_{НС}$, м,

$$V_{НС} = \frac{4Q}{\pi d_{НС}^2}. \quad (7)$$

С учетом (7) получаем

$$H_{ГМ} = \left(k_{Г} + \frac{0,0827 \xi_{НС} + 1}{d_{НС}^4} \right) Q^2.$$

Таким образом, в соответствии с зависимостью (1)

$$R_{ГМ} = k_{Г} + \frac{0,0827 \xi_{НС} + 1}{d_{НС}^4}.$$

Учитывая, что величина потерь напора в самом гидромониторе, определяемая коэффициентом $k_{Г}$, пренебрежимо мала по сравнению с динамическим напором воды на выходе из насадки, зависимость (9) можно привести к виду

$$R_{ГМ} = k \cdot d_{НС}^{-4}, \quad (10)$$

где k – эмпирический коэффициент.

Обработка экспериментальных данных позволила установить аналитическую зависимость обобщенного коэффициента сопротивления гидромонитора ГД-300 от диаметра применяемых насадок [2] (рис. 3) и численное значение эмпирического коэффициента k , которое оказалось равным 0,10, т.е.

$$R_{ГМ} = 0,10 d_{НС}^{-4}. \quad (11)$$

Величина относительной ошибки⁽⁶⁾ при расчете по установленной полуэмпирической зависимости составляет 3,82 %, средноквадратическое отклонение – 10,31 %, а

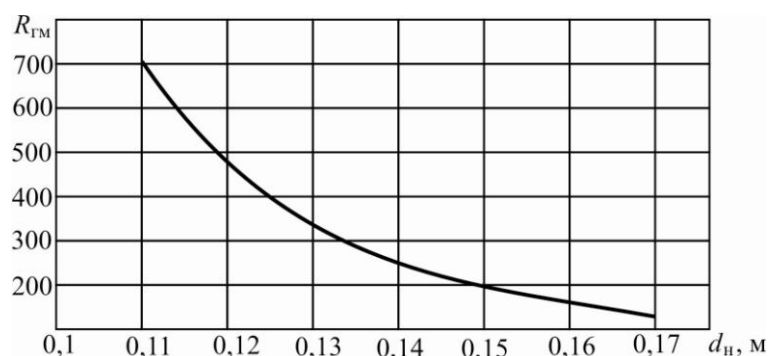


Рис. 3. Аналитическая зависимость изменения обобщенного коэффициента сопротивления гидромонитора ГД-300 от диаметра применяемых насадок



коэффициент вариации всего 3,0 %, что вполне удовлетворительно для расчетов такого рода [3].

После выбора насадок производят определение и анализ действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки [4]. Если режимы работы не удовлетворяют каким-либо требованиям, предъявляемым к ним, то выбор насадок надо скорректировать, увеличивая или уменьшая их диаметры.

Если с помощью изменения диаметра насадок невозможно получить желаемый режим работы гидромониторов, то необходимо изменять структуру насосных станций, то есть нужно применять другие типы насосов или их количество в последовательном и параллельном соединении [5].

Блок-схема алгоритма определения диаметра насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции представлена на рис. 4.

Оценка эффективности применения новых гидромониторов

Гидромеханизованный способ отработки вскрышных пород на разрезе «Краснобродский» применяется на Новосергеевском поле (участок «Разген»), расположенном в северо-западной части Прокопьевско-Киселевского геолого-экономического района Кузбасса. Породы Краснобродской свиты – это суглинки и серые супеси с зеленоватым, голубоватым, коричневым оттенками, пластичные, иногда запесоченные, с охристыми пятнами гидроокислов железа горизонтально и косослоистые. В породах свиты, особенно у подошвы, значительна примесь песчаного и гравийного материала. Общий объем рыхлых отложений в границах участка гидромеханизации составляет 78 млн м³. С учетом недобора и существующих навалов общий объем рыхлых отложений,

подлежащих удалению гидромеханизованным способом, равен 68 млн м³ (87 %). По трудности разработки рыхлые четвертичные отложения относятся к V группе. Мощность наносов на участке гидромеханизации составляет от 5 до 25 м. Годовая мощность участка гидромеханизации 2000 тыс. м³ наносов.

Проведенные расчеты показали, что в условиях работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза «Краснобродский» необходимо заменить два гидромонитора ГМД-250М с насадками 110 мм на один ГД-300 с насадкой 160 мм.

С целью определения экономической эффективности расчет затрат на систему водоснабжения произведен на одну гидротранспортную установку. Так для разреза «Краснобродский» эффективность удваивается, т.к. проектом предусматривается эксплуатация двух гидротранспортных установок. В соответствии с вышепредставленными расчетами сравнение затрат осуществляется по двум вариантам: на обеспечение работы двух (в работе) гидромониторов ГМД-250М с насадками диаметром 110 мм и одного (в работе) гидромонитора ГД-300 с насадкой 160 мм. Результаты расчета экономической эффективности приведены в табл. 1.

В результате определения диаметра насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции, стало известно значение величины действительного напора воды перед гидромонитором $H_{гмд} = 191,7$ м. Учитывая коэффициент потери напора в гидромониторе (для гидромонитора ГД-300 – $k_r = 26,6$), действительный расход воды гидромонитора $Q_{гмд} = 3780$ м³/ч и напор перед каждым гидромонитором $H_{гмд} = 191,7$ м, можно установить фактическую величину потерь напора в нем



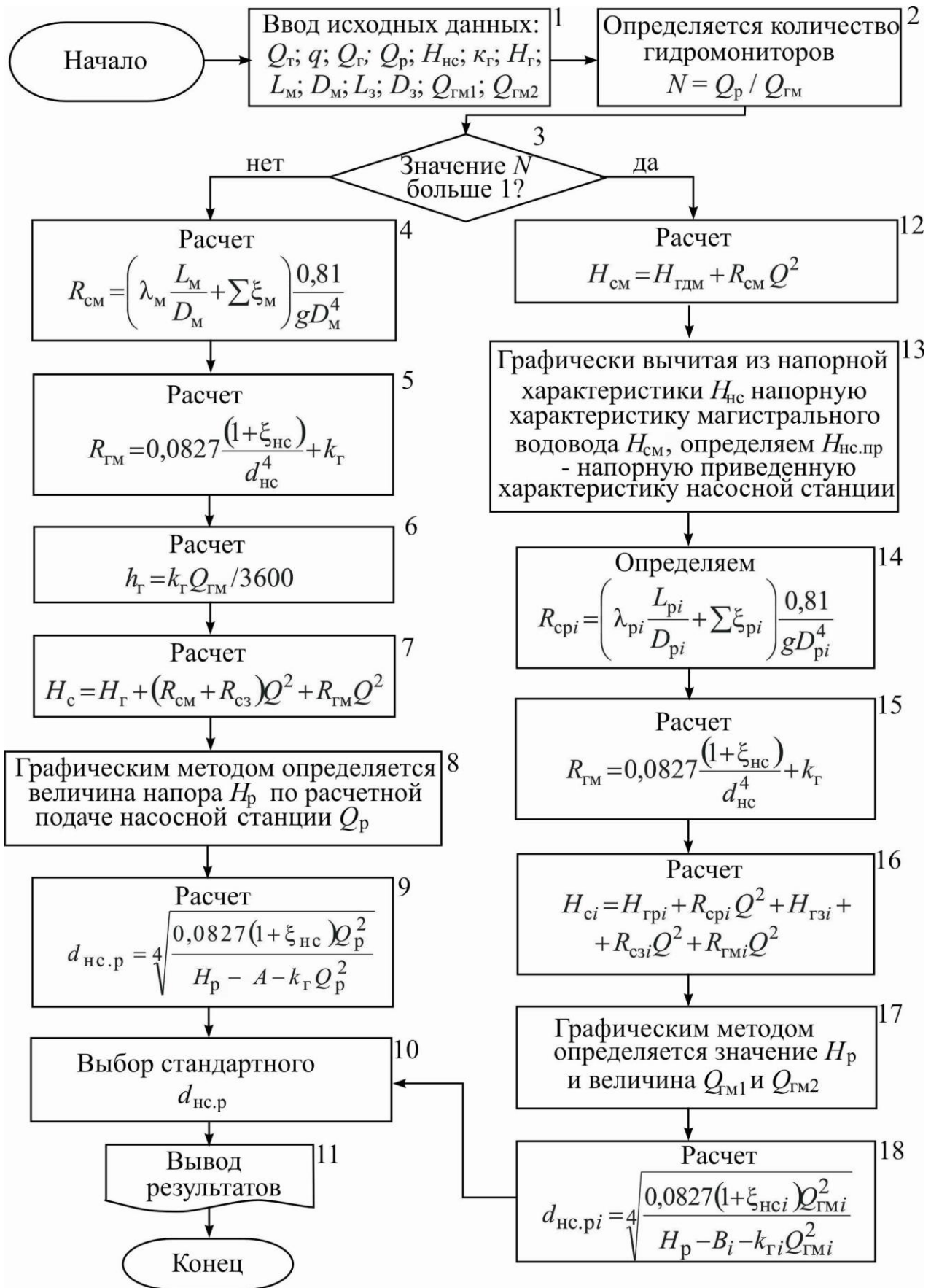


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения диаметра насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции



Результаты расчета экономической эффективности

Затраты на гидромониторно-землесосный комплекс	Существующий вариант гидрокомплекса с двумя ГМД-250М		Предлагаемый вариант гидрокомплекса с одним ГД-300	
	объем инвестиций, тыс. руб.	годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб.	объем инвестиций, тыс. руб.	годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб.
На одну гидротранспортную установку ГР-4000/71	5695,23	2085,855	3944,14	1040,81
Для разреза «Краснобродский» при двух гидротранспортных установках	11 390,46	4171,71	7888,28	2081,62
Экономический эффект для разреза «Краснобродский»	–	–	3502,18	2090,09

$$h_T = k_T \cdot Q_{ГМД} / 3600^2 =$$

$$= 2,6 \cdot 3780 / 3600^2 = 29,33 \text{ м}$$

и напор на размыв

$$H_n = H_{ГМД} - h_T = 191,7 - 29,33 \approx 162 \text{ м.}$$

Результаты исследований позволяют обосновывать основные параметры технологической схемы отработки забоя гидромонитором ГД-300, а учитывая величину

сезонной производительности 2070 тыс. м³/год, параметры блока, их количество и скорость подвигания фронта горных работ за сезон.

Рекомендуемые для условий разреза «Краснобродский» параметры технологических схем гидромониторно-землесосного комплекса с гидромонитором ГД-300 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры технологических схем гидромониторно-землесосного комплекса с гидромонитором ГД-300 для условий разреза «Краснобродский»

Наименование технологического параметра	Обозначение и величина
Действительный напор, развиваемый гидромонитором, мм вод. ст.	$H_d = 159,7$
Часовая производительность забойной гидротранспортной установки по гидросмеси по твердому, м ³ /ч	$Q_p = 540$
Сезонная производительность гидроустановки (участка), тыс.м ³ /год	2070
Высота разрабатываемого уступа, м	$h = 20$
Коэффициент приближения гидромонитора к забюю	$\varepsilon = 0,4$
Безопасное расстояние от гидромонитора до забоя, м	$l_{min} = 8$
Шаг передвижки гидромонитора, м	$S = 21$
Длина рабочего участка струи гидромонитора, м	$L_p = 37$
Ширина заходки гидромонитора, м	$A = 46$
Ширина разрабатываемого блока, м	$l = 230$
Длина блока, разрабатываемого на одно положение забойного зумпфа, м	$L = 460$
Глубина забойного зумпфа, м	$h_z = 6$
Ширина и длина забойного зумпфа (не менее), м	$\alpha \approx b = 5$
Суммарная длина фронта, обрабатываемая за сезон одной гидротранспортной установкой, м	$L_\phi = 900$
Скорость подвигания фронта работ на гидроучастке, м/сезон	$v_\phi = 230$



ВЫВОДЫ

Результаты выполненных исследований показывают, что определенные экспериментально напорные характеристики гидромониторов ГД-300 и установленные закономерности изменения основных параметров насосно-гидромониторных установок, позволяют оптимизировать технологические схемы гидромониторно-землесосных комплексов и тем самым существенно понизить себестоимость гидровскрыши и улучшить экономические показатели угледобычи.

Разработанные авторами рекомендации по эксплуатации оборудования обеспечивают согласование параметров систем водоснабжения и гидротранспортирования гидромониторно-землесосного комплекса разреза «Краснобродский». Расчет экономической эффективности показал, что замена гидромониторов ГМД-250М на ГД-300 для обеспечения работы гидротранспортной установки разреза «Краснобродский» обеспечивает сокращение объема инвестиций на 3502,18 тыс. руб. и уменьшение годовых эксплуатационных расходов на 2090,09 тыс. руб.

Библиографический список

1. Шелоганов В.И., Павленко Г.В. Экспериментальные исследования характеристик гидромонитора ГМД-250М // Изв. вузов. Горный журнал – 1995. – №1. – С. 71-74.
2. Поклонов Д.А. Экспериментальное исследование напорных характеристик гидромонитора ГД-300 // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. - №5 – С. 51-53.
3. Мазмишвили А.И. Способ наименьших квадратов. – М.: Недра, 1968. – 440 с.
4. Шелоганов В.И., Кононенко Е.А. Насосные установки гидромеханизации: Учеб. пособие. – М.: МГГУ, 1999.
5. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: Недра, 1982.

6. Чаплыгин В.В. К вопросу применения гидромеханизации на разрезах Кузбасса // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – №1.
7. Чаплыгин В.В., Демченко А.В. Состояние и возможности гидромеханизации на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельный выпуск. – 2015. – № 11. – С. 410-418.
8. Протасов С.И., Поклонов Д.А. Гидрокомплексы угольных разрезов Кузбасса // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – №1(63). – С. 19-21.
9. Поклонов Д.А., Литвин Ю.И., Протасов С.И. Определение необходимых диаметров насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2012. – № 4. – С. 52-55.
10. Никитин А.В., Кисляков В.Е. Результаты исследования скорости и объема водонасыщения глинистых песков россыпных месторождений при их подготовке к обогащению // Журнал Сибирского университета. Серия: Техника и технология. – Красноярск, 2009. – Т. 2. – № 4. – С. 359-367.
11. Кононенко Е.А., Деревяшкин И.В., Садыков А.А. Направления совершенствования системы водоснабжения карьера Калининградского Янтарного комбината // Современные наукоемкие технологии. – М., 2015. – №12. – С. 225-229.
12. Обоснование выбора системы оперативного контроля технологических параметров при гидромеханизированной разработке месторождений / В.П. Дробаденко, И.И. Бутов, М.И. Буянов, О.А. Луконина // Маркшейдерия и недропользование, 2014. – С. 17-21.
13. Багазеев В.К., Валиев Н.Г. Гидромеханизация: Учеб. пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2006.
14. Oparin V.N. The sound subsoil management in surface coal mining in terms of the Kansk-Achinsk coal basin / V.N. Oparin, V.I.Cheskidov, A.S. Bobylsky, A.V.Reznik // Journal of Mining Science. – 2012. – Т. 48. – № 3. – С. 585-594.
15. Yaltanets I.M. Proektirovanie otkrytykh gidromekhanizirovannykh i drazhnykh razrabotok mestorozhdenii: ucheb. posobie (Hydraulic and Dredging Open Mineral Mining Engineering: Educational Aid). – М: MSU, 2003.



“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 2, pp. 14-21	
Title:	Experimental studies and rationale for the use of jetting DG-300 on the cuts of Kuzbass
Author 1	Name&Surname: Sergey I. Protasov Company: Innovation Firm «KUZBASS-NIIOGR» Work Position: Professor Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences Contacts: protasov@kuzbass-niogr.ru
Author 2	Name&Surname: Daniil A. Poklonov Company: TF Gorbachev Kuzbass State Technical University Scientific Degree: PhD student Contacts: psi.rmpio@kuzstu.ru
Abstract:	The results of experimental studies of the new jetting DG-300, on the basis of which set of generalized analytical dependency jetting resistance ratio of the diameter of nozzles used and developed an algorithm for determining the diameter of the jetting nozzles, taking into account the mode of operation of the pumping station. Application of new jetting improves performance and efficiency jetting.
Keywords:	cuts of Kuzbass, hydromechanization, jetting test
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sheloganov V.I., Pavlenko G.V. Jeksperimental'nye issledovanija harakteristik gidromonitora GMD-250M [<i>Experimental studies jetting characteristics of the KMT-250M</i>] // Math. universities. Mining Journal. – 1995. – No. 1. – pp. 71-74. 2. Poklonov D.A. Jeksperimental'noe issledovanie napornyh harakteristik gidromonitora GD-300 [<i>Experimental study of pressure jetting characteristics of the DG-300</i>] // Surveying and subsoil. – 2013. – No. 5 – pp. 51-53. 3. Mazmishvili A.I. Sposob naimen'shih kvadratov. [<i>The method of least squares.</i>] – M.: Nedra, 1968. – 440 p. 4. Sheloganov V.I., Kononenko E.A. Nasosnye ustanovki gidromehanizacii: Ucheb. posobie. [<i>Pumping units jetting: Proc. allowance.</i>] – M.: MGGU, 1999. 5. Tipovye tehnologicheskie shemy vedenija gornyh rabot na ugol'nyh razrezah. [<i>Typical technological scheme of mining at coal mines.</i>] – M.: Nedra, 1982. 6. Chaplygin V.V. K voprosu primeneniya gidromehanizacii na razrezah Kuzbassa [<i>To a question on the use of jetting sections Kuzbass</i>] // Mine Surveying and subsoil. – 2015. – No. 1. 7. Chaplygin V.V., Demchenko A.V. Sostojanie i vozmozhnosti gidromehanizacii na razrezah Kuzbassa [<i>The state and the possibility of jetting on cuts of Kuzbass</i>] // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). A separate release. – 2015. – No. 11. – pp. 410-418. 8. Protasov S.I., Poklonov D.A. Hidrokompleksy ugol'nyh razrezov Kuzbassa [<i>Hydro coal mines in Kuzbass</i>] // Mine Surveying and subsoil. – 2013. – No. 1(63). – pp. 19-21. 9. Poklonov D.A., Litvin Ju.I., Protasov S.I. Opredelenie neobhodimyh diametrov nasadok gidromonitorov s uchetom rezhima raboty nasosnoj stancii [<i>Determining the required jetting nozzle diameters given mode of operation of the pumping station</i>] // Herald KuzGTU. – Kemerovo, 2012. – No. 4. – pp. 52-55. 10. Nikitin A.V., Kisljakov V.E. Rezul'taty issledovanija skorosti i ob#ema vodonasyshhenija glinistyh peskov rossypnyh mestorozhdenij pri ih podgotovke k obogashheniju [<i>Results of speed research and the volume of water saturation of clay sand placer deposits during their preparation for enrichment.</i>] // Siberian Journal of the University. Series: Engineering and technology. – Krasnojarsk, 2009. – Vol. 2. – No. 4. – pp. 359-367. 11. Kononenko E.A., Derevjashkin I.V., Sadykov A.A. Napravlenija sovershenstvovaniya sistemy vodosnabzhenija kar'era Kaliningradskogo Jantarnogo kombinata [<i>Areas of improvement of water supply system Career Kaliningrad Amber Plant</i>] // Modern high technologies. – M., 2015. – No. 12. – pp. 225-229. 12. Obosnovanie vybora sistemy operativnogo kontrolja tehnologicheskikh parametrov pri



- gidromehanizirovannoj razrabotke mestorozhdenij [*Rationale for the operational control of technological parameters of the system at hydromechanized mining*] / V.P. Drobadenko, I.I. Butov, M.I. Bujanov, O.A. Lukonina // Mine Surveying and subsoil, 2014. – pp. 17-21.
13. Bagazeev V.K., Valiev N.G. *Gidromehanizacija: Ucheb. posobie. [Hydromechanization: Proc. allowance.]* – Ekaterinburg: USMU, 2006.
14. Oparin V.N. The sound subsoil management in surface coal mining in terms of the Kansk-Achinsk coal basin / V.N. Oparin, V.I.Cheskidov, A.S. Bobylsky, A.V.Reznik // Journal of Mining Science. – 2012. – Vol. 48. – No. 3. – pp. 585-594.
16. Yaltanets I.M. *Proektirovanie otkrytykh gidromekhanizirovannykh i drazhnykh razrabotok mestorozhdenii: ucheb. posobie [Hydraulic and Dredging Open Mineral Mining Engineering: Educational Aid]*. – M: MSU, 2003.

