



УДК 622.271.3

## ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПОРОД, НАМЫТЫХ РАНЕЕ В ГИДРООТВАЛ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОМОНИТОРНОГО РАЗМЫВА И ЗЕМЛЕСОСНЫХ СНАРЯДОВ

Мироненко И.А., Протасов С.И.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

### Аннотация.

Доработка запасов угля на некоторых угольных карьерах Кузбасса требует переукладки пород, ранее намытых в гидроотвал, которые находятся над запасами угля.

На основании анализа изменений физико-механических свойств намывных пород предлагается комплексная технология переукладки гидроотвалов, которая позволила обосновать новый способ их разработки и перемещения.

Сущность этого способа переукладки пород гидроотвалов заключается в том, что безопасность и эффективность ведения горных работ обеспечивается не только за счет использования комплекса гидромеханизированных технологий, каждая из которых применяет технические средства, которые соответствуют физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, но и последовательностью их применения и сочетания.

Повышение эффективности и безопасности горных работ реализуется путем последовательного соединения в одной технологической цепи процессов гидромониторного размыва и процесса разработки пород землесосным снарядом.

Определено условие устойчивой работы гидрокомплекса, когда гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышающая общую концентрацию пульпы, транспортируемой в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса, который установлен на земснаряде. Приведена его математическая запись в виде системы уравнений, решение которой позволяет установить параметры основных процессов.

### Информация о статье

Принята 01 февраля 2019 г.

**Ключевые слова:** разработка пород гидроотвалов, единая технология гидромониторного размыва и разработки пород землесосным снарядом, условие устойчивой работы гидрокомплекса

## TECHNOLOGY OF SOILS WASHED IN THE HYDRO DUMP DEVELOPMENT USING JETTING EROSION AND HYDRAULIC DREDGE

Ilya A. Mironenko, Sergey I. Protasov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

### Abstract.

Final extraction of coal reserves in some coal mines in Kuzbass requires re-laying of rocks previously dumped in the hydraulic mine dump, which are located above coal reserves.

Based on the analysis of changes in the physical and mechanical properties of alluvial rock, a complex technology of re-laying hydraulic waste dumps is proposed, which allowed us to substantiate a new way of developing and moving them.

The essence of this method of re-laying rocks of hydraulic dumps lies in the

### Article info

Received February 01, 2019

**Keywords:** development of hydro dumps rocks, unified technology of jetting erosion and development of rocks by suction



fact that the safety and efficiency of mining operations are ensured not only through the use of a set of hydro-mechanized technologies, each of which uses technical means that correspond to the physical and mechanical properties of rocks of the developed hydraulic dump zones but also the sequence of their application and combination.

Improving the efficiency and safety of mining is implemented by sequential connection in one process chain of jetting erosion processes and the process of developing rocks with a dredging projectile.

The condition for the stable operation of the hydro complex is determined when the hydraulic mixture coming from the hydraulic monitor and the rock additionally developed by the dredger in the form of pulp, which increases the total slurry concentration transported to the new sludge pond, correspond to the capacities of the ground pump installed on dredger. Its mathematical record is given in the form of a system of equations, the solution of which allows one to establish the parameters of the main processes.

### Введение

В Кузбассе согласно «Региональной стратегии развития угольной отрасли до 2025 г.» планируется дальнейшее увеличение объемов добычи угля путем ввода в эксплуатацию новых шахт, разрезов и обогатительных фабрик [1].

Известно, что наиболее эффективно угледобыча осуществляется на разрезах, которые ведут разработку месторождений открытым способом, обеспечивая максимум безопасности. При этом целесообразно осуществить ввод в эксплуатацию тех участков угольных месторождений, которые расположены в непосредственной близости от действующих разрезов, где отработка запасов угля завершается, но уже создана современная техническая база, способная обеспечить устойчивую работу предприятия.

Сравнительно недавно препятствием для реализации этого направления развития угледобычи впервые стало наличие гидроотвалов над угленасыщенной зоной, следовательно, породы, которые там намыты, требуется переуложить в другое место.

### История вопроса

Своеобразным испытательным полигоном в плане разработки и перемещения на новое место пород, ранее намытых в гидроотвал, стал гидроотвал № 3 разреза «Кедровский», который расположен в пойме реки Чесноковка. Он представлял собой сооружение овражно-балочного типа. В 1958 г. после одностороннего обвалования была начата его эксплуатация, которая продолжалась до 1979 г. Намыв гидроотвала производился от дамбы. В период 1970-1972 гг. в породах естественного основания вдоль гидроотвала был построен канал (пульповодная канава), по которому осуществляли выпуск гидросмеси в северо-восточную часть гидроотвала. В последующие годы выпуск пульпы осуществлялся со склона вдоль западной части гидроотвала. Таким образом, за годы эксплуатации выпуск пульпы (намыв) осуществлялся со всех сторон, кроме восточной, и поэтому по всему контуру гидроотвала, кроме восточной его стороны, образовалась песчано-супесчаная зона шириной до 300 м, характеризующаяся грубо дисперсионным составом намывных отложений мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения  $\varphi = 17-27^\circ$ ). Непосредственно за песчано-супесчаной зоной идет зона суглинистых отложений, которая характеризуется наличием пород текучей и мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения  $\varphi = 13-16^\circ$ ) и занимает значительную часть площади гидроотвала. Прудотстойник на протяжении всего периода эксплуатации располагался в средней части сооружения и вдоль восточной стороны гидроотвала, поэтому на этом участке гидроотвала сформировалась глинистая зона с породами текучей и мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения  $\varphi = 5-10^\circ$ ).

Дамба гидроотвала № 3 на момент окончания намыва представляла собой сооружение, состоящее из дамбы первичного обвалования и восьми дамб наращивания общей высотой 53 м. Площадь гидроотвала – 292 га, его емкость – 48 млн. м<sup>3</sup>, а мощность намывных отложений достигала 45 м. В таком состоянии гидроотвал был законсервирован до 2000 г. [2-6].





В 1990 г. при перспективном планировании развития горных работ было принято решение о расконсервации запасов угля в целике под гидроотвалом № 3, т.к. промышленные запасы угля на разрезе составляли 80 млн. т, в том числе 37 млн. т – на основном поле, обеспечивающем основную часть добычи разреза. Этих объемов хватило бы на 18 лет работы предприятия. В то же время на юге участка основного поля горные работы подошли вплотную к границе целика под гидроотвалом, что сдерживало дальнейшее развитие горных работ. Поэтому для увеличения срока службы предприятия и своевременной подготовки запасов руководством разреза было принято решение о проведении комплекса работ по изучению возможности выемки запасов угля под заматыми ранее рыхлыми четвертичными отложениями на площади гидроотвала № 3. В 2000 г. с применением гидромониторно-землесосных комплексов стали разрабатывать породы, которые были уложены в гидроотвал, и их перемещение по трубопроводу в горную выработку участка №5 [3, 4, 7]. В настоящее время уже осуществляется разработка запасов угля из пластов, которые ранее залегали под гидроотвалом № 3.

В результате ведения горных работ при разработке пород гидроотвала был получен ценный производственный опыт, который следует досконально изучить и обобщить. Первое, на что следует обратить внимание – это наличие довольно значительных по размеру деревьев, которые успели вырасти на поверхности гидроотвала и создавали помехи в работе системы гидротранспорта гидрокомплекса разреза (скапливались в зумпфе и осложняли процесс забора гидросмеси грунтовыми насосами).

Подход к решению вопроса о формировании разделительной дамбы для исключения переукладки той его части, которая не препятствует отработке запасов угля, представляет особый интерес. Решить эту инженерно-техническую задачу пытались путем отсыпки на поверхности намывного массива в планируемом месте разделения участков гидроотвала насыпей из полускальных вскрышных пород. Такой способ все-таки не является приемлемым, т.к. ожидаемое продавливание насыпи полускальных пород сквозь намытый массив не произошло. Проникновение, подтвержденное бурением скважин, составило всего 5-6 м, хотя в публикациях говорится, что «...глубина зацепа не превысила 11 м...», при этом утверждается, что «устойчивость данной системы обеспечивается с коэффициентом запаса выше нормативного при результирующем угле наклона 14 град.» [2].

Кроме того, в процессе гидромониторной разработки ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала неоднократно происходили оползневые явления, которые приводили к авариям, потерям оборудования. Только вовремя принятые технологические решения по опережающему размыву гидромонитором первого подступа разрабатываемого массива намывных горных пород и специальная направленность струи гидромонитора при подрезке забоя обеспечили необходимую безопасность ведения горных работ [4, 7].

Подобная задача в настоящее время должна быть решена на АО «Черниговец», где под гидроотвалом №2 находятся промышленные запасы угля. Для их отработки требуется обоснование экономической целесообразности, которое должно определить технологию разработки намывного массива и перемещения водонасыщенных, с низкими показателями прочности и несущей способности пород из гидроотвала №2 в гидроотвал №1.

Предполагается разработать и переместить только западную часть гидроотвала. Ориентировочно должно быть отработано порядка 30 млн. м<sup>3</sup> от общего объема гидроотвала №2, который оценивается величиной более 50 млн. м<sup>3</sup>.

Весьма вероятно, что при проектировании отработки участка Иганинский 2 возникнет необходимость переукладки намывного массива – гидроотвала на реке Еловка мощностью до 30 м, который находится на поле участка горных работ.

Учитывая реальную возможность в ближайшей перспективе возникновения необходимости переукладки четвертичных вскрышных пород, уложенных в гидроотвал на других объектах угледобычи как с целью расконсервации запасов, так и при их рекультивации, возникает необходимость научного обоснования безопасной и экономически эффективной технологии реализации этого направления для всей горнодобывающей промышленности.

Научной базой для решения вопроса о разработке и перемещении четвертичных вскрышных пород, уложенных в гидроотвал, должны быть результаты исследований, которые связаны с изучением сегрегации намываемых пород, формирования их гранулометрического состава в





различных зонах, динамики несущей способности намывных отложений и методов натурального контроля состояния этих массивов.

Исследования намывных техногенных массивов (НТМ) – гидроотвалов и хвостохранилищ горнодобывающих предприятий регулярно проводятся специализированными институтами с 60-х годов прошлого века [4, 5, 6]. Выполнено инженерно-геологическое районирование и установлены закономерности формирования НТМ, что позволило обеспечивать безопасность при их использовании в качестве основания для отсыпки отвалов полускальных пород или с целью рекультивации.

### Результаты и обсуждение

Установлено, что в соответствии с процессом сегрегации, происходящем при намыве гидросмеси, в гидроотвале формируются три основные зоны с определенным гранулометрическим составом и физико-механическими свойствами пород [2, 4, 6, 8, 9]. Первой непосредственно у дамбы, с которой проводился намыв, формируется зона песчано-супесчаных пород. За ней следуют соответственно вторая и третья зоны, где располагаются суглинистые и глинистые фракции вскрышных горных пород.

На следующем этапе исследования инженерно-геологического районирования намывных массивов были направлены на уточнение закономерности изменения физико-механических свойств пород как в плане, так и внутри намывной толщи. Каждая зона была разделена на инженерно-геологические элементы (подзоны) по глубине в зависимости от консистенции пород. Была доказана четкая зависимость механических характеристик пород от их физического состояния, которое характеризуется показателем их консистенции; это представлено в [2, 6].

Для отложений суглинистой зоны характерно постепенное снижение влажности с глубиной от 27-40 % (подзона текучих осадков) до 22-26 % (подзона туго-пластичных пород). Также внутри подзоны происходит изменение и других параметров, характеризующих физико-механические свойства суглинистых пород – повышаются: плотность от 1,80-1,92 до 2,00-2,02 т/м<sup>3</sup>, сцепление от 0,015-0,026 до 0,04-0,078 МПа, угол внутреннего трения от 14 до 22 град.

При выборе технологии разработки обводненных четвертичных пород для перестроения всего гидроотвала необходимо учитывать тот факт, что безопасность и экономичность ведения горных работ может гарантироваться только при применении комплекса различных технологий, каждая из которых предназначена для эффективной разработки пород определенных физико-механических свойств в приемлемых горнотехнических условиях.

Многолетний опыт ведения горных работ средствами гидромеханизации доказал, что наиболее эффективно обводненные неконсолидированные породы разрабатываются с применением землесосных снарядов, песчано-супесчаные, плотные (в целике) – гидромониторно-землесосными комплексами, а взорванные глинистые и выветрелые полускальные породы - с предварительным экскаваторным рыхлением в навал с последующим размывом высоконапорной струей гидромониторов [10, 11].

Главным критерием, который определяет условия эффективной и безопасной эксплуатации оборудования при разработке пород, намывных в гидроотвал, следует считать величину несущей способности рабочей площадки, т.е. поверхности каждой из указанных выше зон гидроотвала. Для выбора возможных вариантов технических решений выполнения горных работ при отработке и перемещении пород гидроотвала, а также для определения рациональных условий их эксплуатации следует прежде всего установить несущую способность поверхности каждой из трех основных его зон.

В соответствии с физико-механическими свойствами намывных отложений величина максимальной несущей способности основания каждой зоны гидроотвала определяется по формуле Прандтля-Рейснера в зависимости от угла внутреннего трения и величины сцепления пород для каждой зоны гидроотвала при условии, что величина приложенного к основанию уплотняющего давления равна 0 (массив не уплотнялся) [8, 9]. Результаты расчета несущей способности основания намывных пород гидроотвала №2 разреза «Черниговец» и удельный расход воды на их разработку представлены в табл. 1.





Таблица 1. Значения несущей способности основания намытых пород гидроотвала №2 разреза «Черниговец» и удельный расход воды на их разработку

№ п/п	Наименование параметров	Зоны гидроотвала					
		Песчано- супесчаная, зона 1		Суглинистая, зона 2		Глинистая, зона 3	
		min	max	min	max	min	max
1	Сцепление, МПа	0,013	0,055	0,035	0,063	0,003	0,015
2	Угол внутр. трения, φ, град.	25	32	14	23	0	3,0
3	Максимальная несущая способность основания* Р <sub>пр</sub> /с	21,4	40,9	10,9	17,6	5,0	9,0
4	Несущая способность основания намытых пород, кг/см <sup>2</sup>	2,84	22,94	3,89	11,31	0,15	1,38
5	Удельный расход воды при применении земснаряда, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	11,0		8,5		6,5	
6	Удельный расход воды при применении гидромониторно-землесосного комплекса, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	8,1		6,3		----	
7	Удельный расход воды при применении гидрокомплекса с экскаваторным рыхлением под струю гидромонитора, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	6,3		5,4		----	

\* - Максимальная несущая способность основания определена в соответствии с формулой Прандтля-Рейснера [9, 23]:

$$P_{пр}/c = [(α + ctgφ)(1 + sinφ)exp(π tg φ) - ctg(1 - sin φ)] / (1 - sin φ),$$

где Р<sub>пр</sub> - предельное критическое значение несущей способности основания, МПа;

φ - угол внутреннего трения, град.

c - сцепление пород, МПа;

α - коэффициент, определяемый из соотношения q<sub>1</sub>=α c,

q<sub>1</sub> - предварительно приложенное к основанию уплотняющее давление, МПа.

Известно, что несущая способность поверхности в 1,5 кг/см<sup>2</sup> достаточна для применения оборудования на гусеничном ходу, а при 2,0 кг/см<sup>2</sup> она позволяет использовать некоторые виды колесной техники.

Для обеспечения работы землесосных снарядов величина несущей способности основания значения не имеет, т.к. он разрабатывает породу, находясь на плаву.

Результаты расчета показали, что прочностные свойства пород песчано-супесчаной и суглинистой зон позволяют использовать там гидромониторно-землесосные комплексы и гидрокомплекс с предварительным экскаваторным рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора.

Несущая способность основания третьей зоны гидроотвала однозначно определяет возможность осуществить безопасное функционирование принятой гидротехнологии только при применении землесосных снарядов. При этом их применение должно обеспечить первоначальную отработку пород третьей зоны гидроотвала, где располагаются суглинистые и глинистые фракции вскрышных горных пород. Кроме того, с учетом специальной организации их работы (нахождение на плаву) будет позволено произвести дренаж пород второй зоны гидроотвала и ускоренно ввести гидромониторно-землесосные комплексы.

Для разграничения области применения гидрокомплексов при разработке пород гидроотвала в зонах 1 и 2 целесообразно воспользоваться другим критерием – удельным расходом воды, который потребуется для разработки намытых пород. В соответствии с физико-механическими свойствами намытых пород распределение грунтов на группы по трудности разработки их гидромониторами и землесосными снарядами [12, 13] определяет величину удельного расхода воды при применении сравниваемых гидрокомплексов (см. табл. 1).



Очевидно, что гидрокомплекс с предварительным экскаваторным рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора, позволяет значительно снизить количество воды, находящееся в обороте, однако применение экскаватора обуславливает дополнительные издержки. Только на стадии экономической оценки технико-экономическим сравнением конкретных вариантов можно достоверно определить оптимальный состав гидрокомплекса.

Таким образом, на первом этапе исследования принципиально обоснована комплексная технология переукладки пород гидроотвалов, которая позволила обосновать новый способ их переукладки [14]. Он включает формирование траншеи на границе подлежащих и не подлежащих отработке намытых в гидроотвал пород, формирование оградительной дамбы, перемещение намытых в гидроотвал пород за оградительную дамбу, отличающийся тем, что гидроотвал разделяют на три зоны с характерными физико-механическими свойствами пород каждая, для отработки которых применяют комплекс гидромеханизированных технологий, при этом сначала в эксплуатацию вводится по меньшей мере один землесосный снаряд для разработки обводненных неконсолидированных глинистых пород третьей зоны. После того, как глубина горных выработок в третьей зоне намыва позволит обеспечить самотек гидросмеси от гидромонитора к земснаряду, производят гидромониторный размыв суглинистых пород второй зоны. Далее для отработки песчано-супесчаных пород первой зоны, включая породы дамб обвалования, используют гидрокомплекс с экскаваторной выемкой пород и перемещением их в навал с последующим размывом струей гидромонитора. Образующуюся при этом гидросмесь используют для формирования разделительной дамбы и оградительной дамбы на не подлежащей перемещению части гидроотвала при недостаточной степени консолидации ранее намытых пород. Затем землесосным снарядом формируют разделительную дамбу. Для этого по линии, которая разделяет намытые в гидроотвал породы на подлежащие и не подлежащие отработке, земснарядом формируют прорезь (траншею). Ее замыкают гидросмесью пород первой зоны гидроотвала, а извлеченную при этом породу в виде гидросмеси намывают за оградительную дамбу, которую при достаточной степени консолидации ранее намытых пород в не подлежащей перемещению части гидроотвала формируют из их поверхностного слоя.

Сущность нового способа переукладки пород гидроотвалов заключается в том, что цель – безопасность и эффективность ведения горных работ – обеспечивается не только за счет использования комплекса гидромеханизированных технологий, каждая из которых применяет технические средства, которые соответствуют физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, но и последовательностью их применения и сочетания. При этом необходимо отметить, что основным направлением повышения эффективности технологии гидромеханизации является повышение концентрации твердого в гидросмеси [15]. При апробации данного направления в Кузбассе успешно прошли испытания способ гидромониторно-землесосной разработки, включающий организацию дополнительного внутрizaбойного цикла водоснабжения [16]. В состав гидрокомплекса был введен специальный насос, осуществляющий забор частично осветленной гидросмеси из поверхностного слоя забойного зумпфа, который подавал ее на дополнительный гидромонитор, расположенный непосредственно в забое. Размываемая им порода обеспечивала повышение концентрации гидросмеси, транспортируемой по пульповоду на гидроотвал. Однако способ оказался малоэффективным из-за того, что гидромонитор и водяной насос не реализуют свою производительность в полной мере в силу того, что часто простаивают при выполнении дополнительных предупредительных и внеплановых ремонтов. Это происходит потому, что повышение концентрации гидросмеси достигается за счет организации внутреннего цикла водоснабжения в забое (внутрizaбойного цикла), что приводит к тому, что водяной насос, осуществляющий забор воды из поверхностного слоя зумпфа, выполняет ее подачу на дополнительный гидромонитор недостаточно осветленной. В результате происходит ускоренный износ насадки гидромонитора и рабочего колеса водяного насоса и, как следствие, появляются более частые простои для выполнения планово-предупредительных и внеплановых ремонтов. Использование в качестве насосов, осуществляющих забор воды из поверхностного слоя зумпфа, землесосов не обеспечивает необходимую величину напора на насадке гидромонитора для эффективного размыва породы. Стоит отметить, что простои оборудования являются особенно значимым фактором снижения эффективности способа в силу сезонности применения гидромеханизации на карьерах.





Кроме того, применение способа гидромониторно-землесосной разработки при переукладке пород гидроотвалов является недостаточно безопасным. Указанный недостаток заключается в том, что применение гидромонитора для размыва неконсолидированных пород гидроотвала является опасным по причине возможности образования в забое оползней или выпоров и, как следствие, возникновения аварий и выхода из строя оборудования.

В этой связи предлагается одновременно осуществить повышение эффективности и безопасности горных работ при переукладке пород гидроотвалов за счет повышения концентрации твердого в гидросмеси, перемещаемой по магистральному пульповоду к новому месту укладки путем последовательного соединения в одной технологической цепи процессов гидромониторного размыва пород и процесса разработки обводненных неконсолидированных пород землесосным снарядом. При этом формирование гидросмеси, транспортируемой по пульповоду в гидроотвал, осуществляется последовательно в две стадии. На первой стадии работающий на технически чистой воде гидромонитор, который устанавливают на верхнем уступе, состоящем из консолидированных пород, производит их размыв. Гидросмесь от него самотеком по пульповодной канаве направляют в забой земснаряда, который разрабатывает породу и дополнительно увеличивает концентрацию пульпы (вторая стадия), перемещаемой по напорному пульповоду к новому месту укладки. Использование гидросмеси от гидромонитора вместо воды для обеспечения работы земснаряда и дополнительная порода, разработанная земснарядом, позволяют повысить концентрацию твердого в гидросмеси, транспортируемой в новый гидроотвал.

Безопасность горных работ достигается за счет того, что земснаряд разрабатывает неконсолидированные глинистые породы гидроотвала, а гидромонитор работает на технически чистой воде и устанавливается на верхнем уступе, состоящем из консолидированных пород, причем эти породы неэффективно разрабатывать земснарядом.

Схема работы земснаряда с организацией двухступенчатой системы повышения концентрации твердого в гидросмеси приведена на рис. 1.

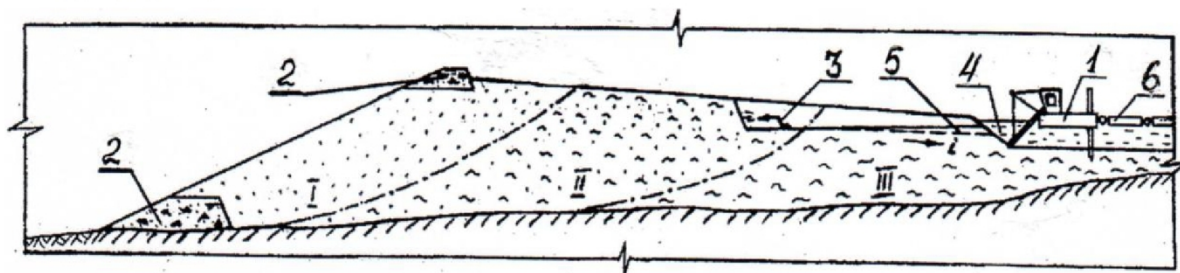


Рис. 1. Схема работы земснаряда с организацией двухступенчатой системы повышения концентрации твердого в гидросмеси

На первом этапе работ производят разработку пород третьей зоны III обводненных неконсолидированных глинистых пород земснарядом 1 (см. рис. 1) [14, 19]. Для этого осуществляют строительство котлована, который заполняют водой и спускают в него землесосный снаряд, один или несколько, в зависимости от требуемой производительности. Разработка землесосным снарядом обводненных неконсолидированных глинистых пород гидроотвала в третьей зоне обеспечивает необходимую безопасность ведения горных работ [12, 13]. Причем первоначальный ввод землесосных снарядов для отработки пород третьей зоны гидроотвала позволит произвести дренаж пород второй зоны гидроотвала и ускоренно ввести в работу гидромониторно-землесосные комплексы.

После того, как в третьей зоне гидроотвала выработанное пространство 4 позволит обеспечить самотечный гидротранспорт пульпы из гидромониторного забоя 3, производят размыв пород второй зоны (см. рис. 1). В этом случае гидросмесь по пульповодной канаве 5 с уклоном  $i$  перемещается в выработанное пространство 4, откуда ее забирают землесосным снарядом 1 и транспортируют к месту складирования, сначала по плавучему пульповоду 6, а затем по магистральному пульповоду в новый гидроотвал. Такая последовательность и сочетание гидромеханизированных технологий исключает возможность возникновения аварии и выхода из строя





гидротранспортного оборудования при оползнях или выпорах, которые образуются в результате размыва гидромониторами неконсолидированной части пород гидроотвала. Функцию землесоса по транспортированию пульпы из гидромониторного забоя выполняет землесосный снаряд 1. Это ограничивает производительность гидромониторного размыва 3 (гидромонитора) по породе для соблюдения условия баланса задействованных технологий и достижения устойчивой, наиболее эффективной и безаварийной работы комплекса. Кроме того, предлагаемая совместная разработка пород земснарядом и гидромониторным размывом исключает необходимость системы возврата воды в забой земснаряда, как это бывает при традиционном способе их применения.

Условие устойчивой работы гидрокомплекса при реализации этой технологии – баланс параметров оборудования – достигается в том случае, когда гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышающая общую концентрацию пульпы, транспортируемую в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса (землесоса), который установлен на земснаряде. Это условие математически может быть записано в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} Q_{\text{гт}} \cdot (1 - m + q_{\text{г}}) + Q_{\text{гз}} \cdot (1 - m + q_{\text{з}}) = Q_{\text{гс}} \\ Q_{\text{гз}} \cdot q_{\text{з}} = Q_{\text{гт}} \cdot (1 - m + q_{\text{г}}) \end{cases} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{гт}}$  – производительность гидромонитора по породе,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{\text{гз}}$  – производительность земснаряда по породе,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{\text{гс}}$  – производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$q_{\text{з}}$  – удельный расход воды при разработке пород земснарядом,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$q_{\text{г}}$  – удельный расход воды при гидромониторном размыве,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$m$  – пористость породы, в долях единицы.

Система уравнений позволяет получить заявленный результат в двух возможных случаях формирования комплекса. Первый – когда известна производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси  $Q_{\text{гс}}$ , тогда для него выбирают производительность гидромонитора по породе  $Q_{\text{гт}}$ , их тип и количество. Второй случай – если требуется обеспечить определенный годовой объем разрабатываемых пород гидроотвала (срок его переукладки), что определяет необходимость эксплуатации нескольких гидромониторов, то становится известна величина их суммарной производительности по породе  $Q_{\text{гт}}$ , а из системы уравнений определяют необходимую производительность земснаряда по гидросмеси  $Q_{\text{гз}}$ , т.е. выбирают их тип и количество.

В первом случае, когда известна производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси  $Q_{\text{гс}}$ , решая систему уравнений относительно величины производительности гидромониторного размыва по твердому – основного параметра процесса размыва пород гидромонитором, получим формулу для ее расчета:

$$Q_{\text{гт}} = (Q_{\text{гс}} \cdot q_{\text{з}}) / [(1 - m + q_{\text{г}}) \times (1 - m + 2q_{\text{з}})], \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет при воспроизведении данного способа переукладки пород гидроотвалов определить производительность гидромониторного размыва, которая соответствует производительности грунтового насоса, установленного на земснаряде, и учитывает горнотехнические условия работы, обеспечивая устойчивую работу оборудования всего комплекса.

Во втором случае, когда известна величина производительности гидромониторов по породе  $Q_{\text{гт}}$ , определяем необходимую производительность земснаряда по гидросмеси:

$$Q_{\text{гз}} = (Q_{\text{гт}} / q_{\text{з}}) \cdot [(1 - m + q_{\text{г}}) \times (1 - m + 2q_{\text{з}})], \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3)$$

Формула 3 позволяет при воспроизведении заявляемого способа переукладки пород гидроотвалов определить производительность земснаряда, его тип и количество, а также учитывает горнотехнические условия работы, обеспечивая устойчивую работу оборудования всего комплекса.





Дальнейший расчет параметров процессов, таких как суммарная производительность гидрокомплекса по породе  $Q_{г\pm}$ , производительность земснаряда по породе  $Q_{т\pm}$ , расход и напор технически чистой воды для гидромонитора, удельный расход воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом  $q_{\pm}$  и т.п., которые необходимы при выполнении проекта ведения горных работ, а также выбор оборудования и значений величин удельных расходов воды в зависимости от горнотехнических условий работы производят по хорошо известным специалистам методикам [17, 18, 20, 21, 22].

В результате предлагаемая технология позволит одновременно осуществить повышение эффективности и безопасности ведения горных работ при переукладке пород гидроотвалов на новое место, обеспечивая доступ к георесурсам.

### Выводы

В статье предлагается технология разработки пород, ранее намытых в гидроотвалы, препятствующие открытой разработке законсервированных под ними запасов угля, объединяющая в себе достоинства процессов гидромониторного размыва и разработки пород землесосным снарядом, обеспечивающих одновременно повышение эффективности и безопасности горных работ.

Определено условие устойчивой работы гидрокомплекса, когда гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышающая общую концентрацию пульпы, транспортируемой в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса, который установлен на земснаряде. Приведена математическая запись этого условия в виде системы уравнений, решение которой позволяет установить параметры основных процессов.

### Список источников

1. Расклад на 20 лет. Перспективы развития добычи угля до 2035 г. // Уголь Кузбасса. – 2016. – №1. – С. 4-8.
2. Кузнецова, И.В. Изучение физико-механических свойств намывных горных пород в основании отвальных насыпей при развитии оползневых деформаций подподошвенного типа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №5. – С. 58-62.
3. Федосеев, А.И. Опыт отработки намывных четвертичных пород с площади бывшего гидроотвала №3 ОАО «Разрез Кедровский» / А.И. Федосеев, В.Р. Вегнер, С.И. Протасов, С.П. Бахаева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №3. – С. 268-273.
4. Исследование геомеханических процессов техногенных массивов / С.П. Бахаева [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2005. – №3. – С. 41-43.
5. Гальперин, А.М. Мониторинг и освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, В.С. Круподеров, О.Д. Семенов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №2. – С. 7-18.
6. Кутепов, Ю.И. Изучение инженерно-геологических условий гидроотвалов Кузбасса на различных этапах существования / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, А.Х. Саркисян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №5. – С. 145-149.
7. Мironenko, И.А. Проблемы переукладки гидроотвалов четвертичных вскрышных пород / И.А. Мironenko, С.И. Протасов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. Сб. докладов VII Междунар. научно-практ. конф. – Екатеринбург, 2018. – С. 22-25.
8. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А.М. Гальперин [и др.] // М.: «Горная книга», 2012. – 336 с.
9. Ферстер, В. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов: учебное пособие для вузов. Т. 1. Насыпные и намывные массивы / В. Ферстер, А.М. Гальперин, Х. Шеф // М.: Изд-во МГГУ, 2006. – 391 с.
10. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: Недра, 1982. – 405 с.
11. Нурок, Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Недра, 1979. – 549 с.



12. Ялтанец, И. М. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Часть 1-3. Гидромеханизированные и подводные горные работы: Учебник для вузов. – М.: Мир горной книги, 2009. – Кн. 1: Разработка пород гидромониторами и землесосными снарядами. – 546 с.
13. Бессонов, Е.А. Технология и механизация гидромеханизированных работ: справочное пособие. – М.: Центр, 1999.
14. Патент РФ на изобретение №2661950. Способ переукладки гидроотвала / В.С. Федотенко, И.А. Мироненко, С.И. Протасов, А.Е. Кононенко. – МПК<sup>6</sup> E21C 41/26. – 2017111157; Заявлено 03.04.17; Оpubл. 23.07.18; Бюл. № 21. – 2 с.
15. Кононенко, Е.А. Возможности и перспективы гидромеханизации на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва. 2004. – № 7. – С. 152-158.
16. А.С. СССР № 1742479. Способ гидромониторно-землесосной разработки / Г. В. Павленко, Е. А. Кононенко, В. И. Шелоганов, В. В. Шелепов, А. Ю. Камышниченко. – МПК E21C41/00, 45/00. – Оpubл. 23.06.92. – Бюл. №23. – 5 с.
17. Протасов, С.И. Повышение эффективности работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза путем согласования режимов работы его основных систем: учеб. пособие / С.И. Протасов, Е.А. Кононенко, П.А. Самусев, Ю.И. Литвин. – Кемерово: КузГТУ. – 2015. – 155 с.
18. Деревяшкин, И.В. Гидромеханизация открытых горных работ. Гидромониторно-землесосные комплексы: учебное пособие / И.В. Деревяшкин, Е.А. Кононенко, А.В. Демченко. – М.: ИНФРА, 2016. – 149 с.
19. Мироненко, И.А. Обоснование места складирования пород при переукладке из гидроотвала №2 разреза «Черниговец» / И.А. Мироненко, А.В. Донич // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018. Материалы XVII Междунар. научно-практ. конф., 22-23 ноября 2018 г. Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2018. – С. 113.1-113.9.
20. Нормы технологического проектирования угольных разрезов. Раздел «Гидромеханизация вскрышных работ на разрезах». – Новосибирск: Сибгипрошахт, 1983.
21. Нурок, Г.А. Гидротранспорт горных пород / Г.А. Нурок, Ю.В. Бруякин, В.В. Ляшевич. – М., 1974. – 168 с.
22. Гальперин, А.М. Гидромеханизированные природоохранные технологии / А.М. Гальперин, Ю.Н. Дьячков. – М.: Недра, 1993.
23. Гальперин, А.М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, Ю.В. Кириченко, А.В. Киянец, А.В. Крючков, В.С. Круподеров, В.В. Мосейкин, В.П. Жариков, В.В. Семенов, Х. Клапперих, Н. Тамашкович, Х. Чешлок // М.: Изд-во «Горная книга», 2012. – 336 с.

## References

1. Rasklad na 20 let. Perspektivy razvitiya dobychi uglya do 2035 g. // Ugol' Kuzbassa. – 2016. – №1. – S. 4-8.
2. Kuznecova, I.V. Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv namyvnykh gornyx porod v osnovanii otval'nykh nasypej pri razvitiі opolznevykh deformacij podpodoshvennogo tipa // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2011. – №5. – S. 58-62.
3. Fedoseev, A.I. Opyt otrabotki namyvnykh chetvertichnykh porod s ploshchadi byvshego gidrootvala №3 ОАО «Razrez Kedrovskij» / A.I. Fedoseev, V.R. Vegner, S.I. Protasov, S.P. Bahaeva // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2004. – №3. – S. 268-273.
4. Issledovanie geomekhanicheskikh processov tekhnogennykh massivov / S.P. Bahaeva [i dr.] // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2005. – №3. – S.41-43.
5. Gal'perin, A.M. Monitoring i osvoenie tekhnogennykh massivov na gornyx predpriyatiyah / A.M. Gal'perin, YU.I. Kutepov, V.C. Krupoderov, O.D. Semenov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2011. – №2. – S. 7-18.
6. Kutepov, YU.I. Izuchenie inzhenerno-geologicheskikh uslovij gidrootvalov Kuzbassa na razlichnykh etapakh sushchestvovaniya / YU.I. Kutepov, N.A. Kutepova, A.H. Sarkisyan // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2004. – №5. – S. 145-149.
7. Mironenko, I.A. Problemy pereukladki gidrootvalov chetvertichnykh vskryshnykh porod / I.A. Mironenko, S.I. Protasov // Innovacionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdenij. Sb. dokladov VII Mezhdunar. nauchno-prakt. konfer. – Ekaterinburg, 2018. – S. 22-25.
8. Osvoenie tekhnogennykh massivov na gornyx predpriyatiyah / A.M. Gal'perin [i dr.] // М.: «Горная книга», 2012. – 336 с.
9. Fyorster, V. Tekhnogennyye massivy i ohrana prirodnykh resursov: uchebnoe posobie dlya vuzov. T. 1. Nasypnye i namyvnye massivy / V. Fyorster, A.M. Gal'perin, H. Shef // М.: Изд-во МГГУ, 2006. – 391 с.





10. Tipovye tekhnologicheskie skhemy vedeniya gornyh rabot na ugol'nyh razrezakh. – M.: Nedra, 1982. – 405 s.
11. Nurok, G.A. Processy i tekhnologiya gidromekhanizatsii otkrytyh gornyh rabot. – M.: Nedra, 1979. – 549 s.
12. YAltanec, I. M. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya otkrytyh gornyh rabot. CHast' 1-3. Gidromekhanizirovannye i podvodnye gornye raboty: Uchebnik dlya vuzov. – M.: Mir gornoj knigi, 2009. – Kn. 1: Razrabotka porod gidromonitorami i zemlesosnymi snaryadami. – 546 s.
13. Bessonov, E.A. Tekhnologiya i mekhanizatsiya gidromekhanizirovannyh rabot: spravocnoe posobie. – M.: Centr, 1999.
14. Patent RF na izobretenie №2661950. Sposob pereukladki gidrootvala / V.S. Fedotenko, I.A. Mironenko, S.I. Protasov, A.E. Kononenko. – MPK6 E21S 41/26. – 2017111157; Zayavleno 03.04.17; Opubl. 23.07.18; Byul. № 21. – 2 s.
15. Kononenko, E.A. Vozmozhnosti i perspektivy gidromekhanizatsii na kar'erakh // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2004 vyhodnye dannye – nomer, stranicy
16. Sposob gidromonitorno-zemlesosnoj razrabotki. avtory A.S. SSSR № 1742479, MPK E21S41/00, 45/00, opubl. 23.06.92, byul. №23.
17. Protasov, S.I. Povyshenie ehffektivnosti raboty gidromonitorno-zemlesosnogo kompleksa razreza putem soglasovaniya rezhimov raboty ego osnovnyh sistem: ucheb. posobie / C.I. Protasov, E.A. Kononenko, P.A. Samusev, YU.I. Litvin. – Kemerovo: KuzGTU. – 2015. – 155 s.
18. Derevyashkin, I.V. Gidromekhanizatsiya otkrytyh gornyh rabot. Gidromontorno- zemlesosnye komplekсы: uchebnoe posobie / I.V. Derevyashkin, E.A. Kononenko, A.V. Demchenko. – M.: INFRA, 2016. – 149 s.
19. Mironenko, I.A. Obosnovanie mesta skladirovaniya porod pri pereukladke iz gidrootvala №2 razreza «Chernigovec» / I.A. Mironenko, A.V. Donich // Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2018. Materialy XVII Mezhdunar. nauchno-prakt. konf., 22-23 noyabrya 2018 g. Kemerovo [EHlektronnyj resurs] / FGBOU VO «Kuzbas. gos. un-t im. T.F. Gorbacheva. – Kemerovo, 2018. – S. 113.1-113.9.
20. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya ugol'nyh razrezov. Razdel «Gidromekhanizatsiya vskryshnyh rabot na razrezakh». – Novosibirsk: Sibgiproshaht, 1983.
21. Nurok, G.A. Gidrotransport gornyh porod / G.A. Nurok, YU.V. Bruyakin, V.V. Lyashevich. – M., 1974. – 168 s.
22. Gal'perin, A.M. Gidromekhanizirovannye prirodoohrannye tekhnologii / A.M. Gal'perin, YU.N. D'yachkov. – M.: Nedra, 1993.
23. Gal'perin, A.M. Osvoenie tekhnogennyh massivov na gornyh predpriyatiyah / A.M. Gal'perin, YU.I. Kutepov, YU.V. Kirichenko, A.V. Kiyanec, A.V. Kryuchkov, V.S. Krupoderov, V.V. Mosejkin, V.P. ZHarikov, V.V. Semenov, H. Klapperih, N. Tamashkovich, H. CHeshlok // M.: Izd-vo «Gornaya kniga», 2012. – 336 s.

#### Авторы

**Мироненко Илья Александрович,**  
аспирант кафедры открытых горных работ,  
e-mail: ilya.mironenko.86@bk.ru

**Протасов Сергей Иванович,**  
канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры  
открытых горных работ  
e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева

#### Authors

**Ilya A. Mironenko,**  
PhD Student of Open Pit Mining Department  
e-mail: ilya.mironenko.86@bk.ru

**Sergey I. Protasov,**  
Candidate of Technical Sciences, Associated Profes-  
sor, Professor of Open Mining Department,  
e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

#### Библиографическое описание статьи

Мироненко, И.А. Технология разработки пород, намытых ранее в гидроотвал, с применением гидромониторного размыва и землесосных снарядов / И.А. Мироненко, С.И. Протасов // Тех-ника и технология горного дела. – 2019. – № 1 (4). – С. 24-34.

#### Cite this article

Mironenko I.A., Protasov S.I. (2019) Technology of soils washed in the hydro dump development using jetting erosion and hydraulic dredge, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(4):24.