

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОКОМПЛЕКСА ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАЗРАБОТКИ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ ГИДРОМОНИТОРОМ И ЗЕМЛЕСОСНЫМ СНАРЯДОМ

С.И. Протасов¹, И.А. Мироненко¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия, e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru

Аннотация: Доработка запасов угля на ряде угольных карьеров Кузбасса требует переукладки пород, ранее намывных в гидроотвал, которые находятся над промышленными запасами угля. На основании анализа изменений физико-механических свойств намывных пород авторами предложена комплексная технология переукладки пород гидроотвалов, позволявшая 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 характеризуется применением технических средств, соответствующих физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, а также последовательностью их применения и сочетания. Установлены зависимости, позволяющие определить параметры гидрокомплекса при совместной разработке пород, уложенных ранее в гидроотвал гидромонитором и землесосным снарядом, которые обеспечивают устойчивую работу гидрокомплекса, учитывают свойства пород и организационно-технические факторы. Оценка влияния горнотехнических условий на производительность гидрокомплекса показала, что при увеличении напора на насадке гидромонитора с 1,2 до 2,0 МПа производительность гидрокомплекса увеличивается на 51—84 м³/ч, причем интенсивность повышения с ростом давления снижается, так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором. Для упрощения расчетов при выборе оптимальных параметров исследуемого гидрокомплекса предложена эмпирическая зависимость изменения его производительности от величины удельного расхода воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом.

Ключевые слова: доработка запасов угля, переукладка пород гидроотвала, зоны гидроотвала, гидромеханизация, совместная разработка пород гидромониторным размывом и землесосным снарядом, порядок отработки, баланс параметров оборудования, влияние горнотехнических условий на производительность гидромеханизации.

Для цитирования: Протасов С. И., Мироненко И. А. Исследование влияния горнотехнических условий на производительность гидрокомплекса для совместной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 55–64. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-55-64.

Influence of geotechnical conditions on efficiency of hydraulic system for joint treatment of hydraulic fills by jet gun and suction dredge

S.I. Protasov¹, I.A. Mironenko¹

¹ T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia, e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru

Abstract: At final stages of coal extraction in some open pit mines in Kuzbass, it is required to re-pile earlier hydraulic fills situated above commercial reserves. Based on the analysis of changes in physical and mechanical properties of hydraulically filled rocks, the authors propose an integrated re-fill technology as well as substantiate a new method of hydraulic fill replacement and treatment. In the proposed hydraulic re-fill method, safety and efficiency of mining is ensured both by the set of hydro-mechanized technologies with application of appropriate equipment to fit physical and mechanical properties of rocks in the hydraulic fill zones under treatment, and also by the sequence and combination of these technologies. The relations are found for determining parameters of hydraulic equipment set composed of jet gun and suction dredge for development of earlier hydraulic fill. These parameters should ensure stable operation of the hydraulic equipment set and take into account properties of rocks and organizational and technological factors. According to the estimate of influence exerted by geotechnical conditions on the hydraulic equipment set efficiency, the increase in the pressure head at the jet gun nozzle from 1.2 to 2.0 MPa raises the hydraulic system capacity by 51–84 m³/h. The intensity of the improvement lowers with increasing pressure as with upgrading category (group) of rocks treated by the jet gun. For simplifying calculations in selection of optimal parameters for the hydraulic equipment set, the empirical dependence of its capacity on specific water flow rate during joint development of hydraulic fill by the jet gun and suction dredge is proposed.

Key words: final stage of coal extraction, hydraulic re-fill, hydraulic fill zone, hydromechanization, joint development of rocks by jet gun and suction dredge, operation sequence, balance of equipment parameters, influence of geotechnical conditions on hydromechanization efficiency.

For citation: Protasov S. I., Mironenko I. A. Influence of geotechnical conditions on efficiency of hydraulic system for joint treatment of hydraulic fills by jet gun and suction dredge. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):55-64. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-55-64.

Введение

Для поддержания стабильной добычи угля в Кузбассе требуется периодически осуществлять ввод в эксплуатацию новых участков угольных месторождений. Экономически целесообразно осваивать те из них, которые расположены в непосредственной близости от действующих разрезов, где отработка запасов угля завершается, но создана современная техническая база, способная обеспечить устойчивую работу предприятия. Препятствием для реализации этого направления развития угледобычи иногда становится наличие гидроотвалов над угленасыщенной зоной.

Одним из направлений решения этой задачи является применение подземно-

го способа разработки угольных пластов, которые залегают под гидроотвалом [1–3]. Для этого необходимо геомеханическое обоснование безопасных условий их отработки, которое потребует изучения инженерно-геологического строения намывного массива, выявления потенциально опасных зон в подрабатываемом породном массиве, моделирования возможных оседаний грунта, оценки безопасной глубины отработки угля под гидроотвалом и много других, довольно дорогостоящих исследований, которые не исключают возможность аварийных ситуаций [4–7].

На разрезе «Кедровский» впервые в Кузбассе был получен ценный производственный опыт по разработке и перемеще-

щению на новое место пород, ранее намывых в гидроотвал № 3, с применением гидромониторно-землесосного комплекса, однако в процессе гидромониторной разработки ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала неоднократно происходили оползневые явления, которые приводили к аварийным ситуациям и потерям оборудования [8, 9].

Сейчас подобная задача должна быть решена на разрезе «Черниговец» АО «СДС-Уголь», где под гидроотвалом № 2 находятся промышленные запасы угля.

Новая технология разработки пород, намывых ранее в гидроотвал

Для отработки пород, намывых ранее в гидроотвал № 2 разреза «Черниговец» предлагается использовать новый специальный способ совместной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом, который обеспечит безопасность ведения горных работ, высокую эффективность и устойчивую работу оборудования гидрокомплекса [10–12]. Схема его работы приведена на рис. 1 [10, 13].

На первом этапе работ производят разработку пород третьей зоны III обводненных неконсолидированных глинистых пород земснарядом 1. Для этого осуществляют строительство котлована, который заполняют водой и в который

спускают 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 [10]. Причем первоначальный ввод землесосных снарядов для отработки пород третьей зоны гидроотвала позволит произвести дренаж пород второй зоны гидроотвала и ускоренно ввести в работу гидромониторы или 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

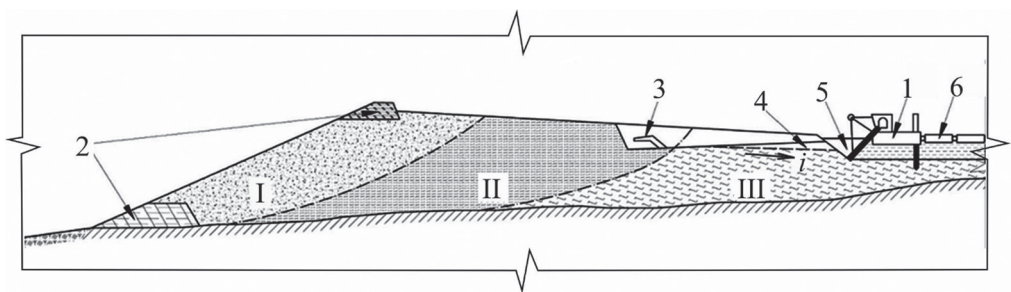


Рис. 1. Схема работы земснаряда с организацией двухступенчатой системы повышения концентрации твердого в гидросмеси

Fig. 1. Flow chart of suction dredge with two-stage increase in concentration of solid in hydraulic mixture

неконсолидированной части пород гидроотвала. Функцию землесоса по транспортированию пульпы из гидромониторного забоя выполняет землесосный снаряд 1, что исключает необходимость применения землесосов и пульпопроводов, но лимитирует производительность гидромониторного размыва (гидромонитора) 3 по породе с целью обеспечения баланса задействованных технических средств для достижения устойчивой, эффективной и безаварийной работы всего 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.

Обоснование условий эффективной разработки пород гидроотвала

Условие устойчивой работы при реализации способа совместной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом — баланс параметров оборудования. Он достигается в том случае [11, 12, 14, 15], 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 (землесоса), который установлен на земснаряде.

Это условие математически может быть записано в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} Q_{тр} \cdot (1 - m + q_r) + Q_{тс} \cdot (1 - m + q_s) = Q_{г\Sigma} \\ Q_{тс} \cdot q_s = Q_{тр} \cdot (1 - m + q_r) \end{cases} \quad (1)$$

где $Q_{тр}$ — производительность гидромонитора по породе, $\text{м}^3/\text{ч}$; $Q_{тс}$ — производительность земснаряда по породе, $\text{м}^3/\text{ч}$; $Q_{г\Sigma}$ — производительность грунтового на-

соса земснаряда по гидросмеси, $\text{м}^3/\text{ч}$; q_s — удельный расход воды при разработке пород земснарядом, $\text{м}^3/\text{м}^3$; q_r — удельный расход воды при гидромониторном размыве, $\text{м}^3/\text{м}^3$; m — пористость породы, в долях единицы.

Наиболее важным параметром этой технологии [14, 15] является производительность гидрокомплекса, которая определяется величиной подачи грунтового насоса, установленного на земснаряде, т.к. только он в этой технологической цепи осуществляет главную задачу — удаление пород (в виде гидросмеси) из забоя в новый гидроотвал. Следовательно, производительность грунтового насоса земснаряда по породе $Q_{г\Sigma}$ является производительностью всего гидрокомплекса. Известно, что на этот параметр оказывает непосредственное влияние консистенция пульпы, которая при одном и том же значении величины подачи грунтового насоса по гидросмеси весьма существенно влияет на технико-экономические показатели всей технологии. Зависимость производительности гидрокомплекса по твердому (по породе) от величины подачи земснаряда по гидросмеси имеет вид:

$$Q_{г\Sigma} = \frac{Q_{г\Sigma}}{(1 - m + q_s)}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где $Q_{г\Sigma}$ — производительность гидрокомплекса при совместной разработке, $\text{м}^3/\text{ч}$; m — пористость породы, дол. ед.; q_s — удельный расход воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом ($\text{м}^3/\text{м}^3$), который рассчитывается по формуле:

$$q_s = \frac{[(1 - m + 2q_r) \cdot q_s]}{(1 - m + q_s + q_r)}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (3)$$

Подставив формулу (3) в (2), получим зависимость для расчета величины производительности гидрокомплекса по твердому (по породе):

$$Q_{r\Sigma} = Q_{r\Sigma} \cdot \frac{(1 - m + q_3 + q_r)}{\left[(1 - m) \cdot (1 - m + 2q_r) + q_3 \cdot (1 - m + 2q_r) \right]}$$

м³/ч. (4)

Для установления степени влияния факторов, определяющих производительность гидрокомплекса, нужно в математическую зависимость (4) подставить их значения, которые соответствуют различным горнотехническим и организационным условиям функционирования технологии совместной и последовательной

разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом.

Параметр $Q_{r\Sigma}$ — производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси является технической характеристикой грунтового насоса, который установлен на земснаряде, и принимается на стадии проектирования в зависимости от организационно-технических факторов (требуемого срока отработки пород гидроотвала и их общего объема). Величина q_3 (удельный расход воды, необходимый для разработки пород земснарядом), m (пористость породы) и q_r

Производительность гидрокомплекса при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом
Efficiency of hydraulic equipment set in joint development of hydraulic fills by jet gun and suction dredge

№ серии	№ п/п	Условия работы земснаряда		Условия работы гидромонитора			Удельный расход при совместной разработке q_{Σ} ; м ³ /м ³	Производительность при совместной разработке $Q_{r\Sigma}$; м ³ /ч
		группа породы	удельн. расход q_3 ; м ³ /м ³	группа породы	напор на насадке г/м; МПа	удельн. расход q_r ; м ³ /м ³		
1	1	II	8,5	III	1,2	5,4	6,68	556,33
	2	II	8,5	III	1,4	5,0	6,38	580,55
	3	II	8,5	III	1,6	4,7	6,15	600,60
	4	II	8,5	III	1,8	4,4	5,91	623,05
	5	II	8,5	III	2,0	4,2	5,74	640,00
2	11	III	11,0	III	1,2	5,4	7,36	508,26
	12	III	11,0	III	1,4	5,0	7,01	531,91
	13	III	11,0	III	1,6	4,7	6,73	552,49
	14	III	11,0	III	1,8	4,4	6,44	575,40
	15	III	11,0	III	2,0	4,2	6,25	591,72
3	6	II	8,5	IV	1,2	7,0	7,71	486,62
	7	II	8,5	IV	1,4	6,5	7,41	505,05
	8	II	8,5	IV	1,6	6,0	7,09	526,32
	9	II	8,5	IV	1,8	5,6	6,82	545,70
	10	II	8,5	IV	2,0	5,4	6,68	556,33
4	16	III	11,0	IV	1,2	7,0	8,63	437,64
	17	III	11,0	IV	1,4	6,5	8,26	456,10
	18	III	11,0	IV	1,6	6,0	7,87	477,33
	19	III	11,0	IV	1,8	5,6	7,53	497,51
	20	III	11,0	IV	2,0	5,4	7,36	508,26

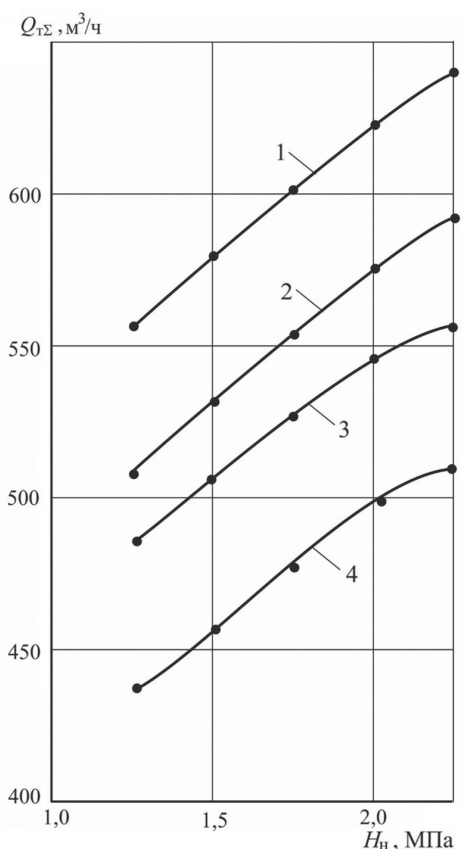


Рис. 2. Изменение производительности гидрокомплекса при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом в условиях гидроотвала № 2 разреза «Черниговец»: 1, 2, 3, 4 – номер серии (горнотехнические условия работы земснаряда и гидромонитора: группа породы, напор на насадке гидромонитора и удельный расход воды)

Fig. 2. Change in capacity of hydraulic equipment set in joint development of hydraulic fills by jet gun and suction dredge in terms of hydraulic fill no. 2 at the Chernigovets open pit: 1, 2, 3, 4—series (geotechnical conditions of jet gun and suction dredge operation: group of rocks, head pressure at the jet gun nozzle and specific water flow rate)

(удельный расход воды при гидромониторном размыве) принимаются в соответствии с горнотехническими условиями эксплуатации [14, 16–18].

В том случае, когда требуется оптимизировать параметры комплексной гидромеханизированной технологии совместной разработки пород гидроотвалов гид-

ромонитором и землесосным снарядом, следует использовать в качестве фактора дополнительного регулирования величину давления воды на насадке гидромонитора. Для этого воспользуемся нормативной величиной удельного расхода воды, который необходим для разработки пород гидромониторным размывом [16–19] и показывает изменение этого параметра в зависимости от величины давления воды на насадке гидромонитора.

Подставляя числовые значения выше перечисленных факторов, которые учитывают горнотехнические и организационные условия работы принятого оборудования при переукладке гидроотвала № 2 разреза «Черниговец», можно установить степень их влияния на производительность гидрокомплекса. Результаты расчета приведены в таблице.

Для иллюстрации диапазона изменения производительности исследуемого гидрокомплекса при разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом от горнотехнических и организационных условий работы принятого оборудования по переукладке пород гидроотвала № 2 разреза «Черниговец» построены графические зависимости, которые представлены на рис. 2.

Анализ графических зависимостей показывает, что при увеличении напора на насадке гидромонитора с 1,2 до 2,0 МПа производительность гидрокомплекса увеличивается на 51–84 m^3/h , причем интенсивность повышения с ростом давления снижается, так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором.

С целью упрощения расчетов при выборе оптимальных параметров такого гидрокомплекса установлена эмпирическая зависимость изменения производительности гидрокомплекса непосредственно от величины удельного расхода

воды при совместной разработке пород гидромонитором и земснарядом:

$$Q_{r\Sigma} = 3330 / q_{\Sigma}^{0,94}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5)$$

График зависимости представлен на рис. 3, который построен в соответствии с данными таблицы.

Сопоставление величин производительности гидрокомплекса по породе, рассчитанных по формулам (3) и (4), с эмпирическими расчетами по формуле (5), позволило статистически оценить полученную зависимость [20–22]:

- среднее линейное отклонение — 2,30 м³/ч;
- среднеквадратическое отклонение — 2,49%;
- относительная ошибка — 0,42%;
- коэффициент вариации — 0,46%.

Результаты исследований

Таким образом, установленные зависимости 1–4 позволяют определить параметры гидрокомплекса при совместной разработке пород гидротвалов гидромонитором и землесосным снарядом, обеспечивают устойчивую работу — баланс параметров оборудования. При этом учитываются организационно-технические факторы (требуемый срок отработки пород гидротвала и их общий объем)

и свойства пород (пористость, а также величины удельного расход воды, необходимые для разработки пород гидромониторным размывом и земснарядом).

Установлено, что при увеличении напора на насадке гидромонитора с 1,2 до 2,0 МПа производительность гидрокомплекса увеличивается на 51–84 м³/ч, причем интенсивность повышения с ростом давления снижается, так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором.

С целью упрощения расчетов для выбора оптимальных параметров исследуемого гидрокомплекса установлена эмпирическая зависимость изменения его производительности от величины удельного расхода воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом.

Статистическая оценка полученной зависимости характеризует высокую степень достоверности результатов расчета по эмпирической формуле (5).

Заключение

Выполненные исследования позволили установить зависимости, позволяющие определить рациональные параметры гидрокомплекса для новой тех-

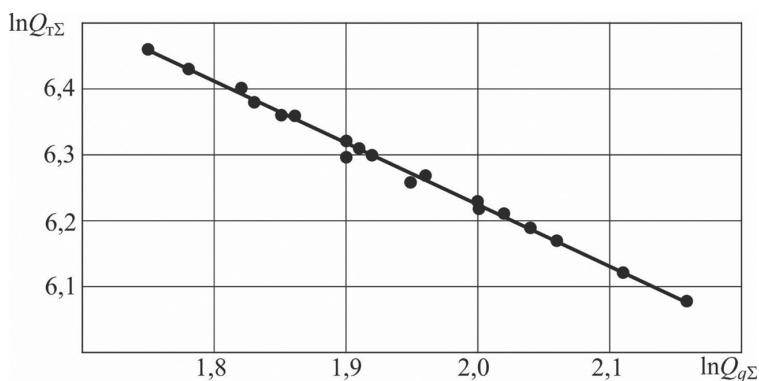


Рис. 3. Эмпирическая зависимость изменения производительности гидрокомплекса от величины удельного расхода воды при совместной разработке пород гидромонитором и земснарядом

Fig. 3. Empirical dependence of change in capacity of hydraulic equipment set on specific water consumption in joint operation of jet gun and suction dredge

нологии совместной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом, которые обеспечивают устойчивую работу комплекса, учитывают свойства пород, а также организационно-технические факторы.

Это позволяет обосновать оптимальные параметры работы исследуемого гидрокомплекса в конкретных горнотехнических условиях и тем самым обеспечить наилучшие технико-экономические показатели гидромеханизированной раз-

работки пород, уложенных ранее в гидроотвал, под которым находятся промышленные запасы угля, пригодные для открытой разработки.

Высокоэффективное применение рекомендуемой технологии совместной разработки пород гидромонитором и землесосным снарядом возможно и на других объектах открытой разработки месторождений полезных ископаемых при достаточно большой мощности четвертичных отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kutepov Y.I., Mironov A.S., Sablin M.V., Borger E.B.* Substantiation of Safe Conditions During Under-mining of Hydraulic Waste Disposal / E3S Web Conf. IIIrd International Innovative Mining Symposium. 2018. Vol. 41. 5 p.

2. *Kutepov Y.Y., Protosenya A. G.* Geomechanical problems during the hydraulic fills operation in the areas of influence of open pit and underground mining / Scientific Reports on Resource Issues 2016: Proc. of Freiberg — St. Petersburg Colloquium of young scientists. 2016. No 11, pp. 99–103.

3. *A. M. Suchowerska Iwanec A. M., Carter J. P., Hambleton J. P.* Geomechanics of subsidence above single and multi-seam coal mining // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016, no. 3, Vol. 8, pp. 304–313.

4. *Cao S., Song W., Deng D., Lei Y., Lan G.* Numerical simulation of land subsidence and verification of its character for an iron mine using sublevel caving // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. No 2 (26), pp. 327–332.

5. *Khoa H. D. V.* Numerical simulation of spudcan penetration using coupled Eulerian-Lagrangian method / Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics: 14th Conference, Japan. 2014. pp. 199–204.

6. *Newman C., Agioutantis Z., Boede G., Leon J.* Assessment of potential impacts to surface and sub-surface water bodies due to longwall mining // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27(1), pp. 57–64.

7. *Li Y., Peng S. S., Zhang J.* Impact of longwall mining on groundwater above the longwall panel in shallow coal seams // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015. No 3 (7). pp. 298–305.

8. *Федосеев А. И., Вегнер В. Р., Протасов С. И., Бахаева С. П.* Опыт отработки намывных четвертичных пород с площади бывшего гидроотвала №3 ОАО «Разрез Кедровский» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2004. — № 3. — С. 268–273.

9. *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.

10. *Федотенко В. С., Протасов С. И., Мироненко И. А., Кононенко А. Е.* Патент РФ на изобретение №2661950. МПК E21C 41/26. Способ переукладки гидроотвала. № 2017111157; Заявлено 03.04. 17; Опубл. 23.07.18; БИ № 21. 2 с.

11. *Федотенко В. С., Протасов С. И., Мироненко И. А., Кононенко А. Е.* Патент РФ на изобретение №2681772. МПК E21C 41/26. Способ гидромеханизированной переукладки пород. № 2018118218; Заявлено 17.05.18; Опубл. 12.03.19; БИ № 8. 2 с.

12. *Федотенко В. С., Протасов С. И., Мироненко И. А., Кононенко А. Е.* Патент РФ на изобретение. № 2691252. МПК E21C 41/26. Способ гидромеханизированной переукладки пород. № 2018135003; Заявлено 03.10.18; Опубл. 11.06.19; БИ № 17. 2 с.

13. *Мироненко И. А., Протасов С. И.* Проблемы переукладки гидроотвалов четвертичных вскрышных пород / VII Международная научно-практическая конференция «Инновацион-

ные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» 10–11 апреля 2018: сборник докладов. — Екатеринбург: УГУ, 2018. — С. 22–25.

14. Мироненко И. А., Протасов С. И. Принципы выбора вариантов технических решений для разработки и перемещения пород гидроотвала на новое место // Вестник КузГТУ. — 2019. — № 1. — С. 59–65.

15. Мироненко И. А., Протасов С. И. Технология разработки пород, намывных ранее в гидроотвал, с применением гидромониторного размыва и землесосных снарядов // Техника и технология горного дела. — 2019. — № 1. — С. 24–32.

16. СНиП IV-2-82, СНиП IV-5-84 Распределение грунтов на группы по трудности разработки их гидромониторами и землесосными снарядами.

17. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах: Утв. М-вом угольной пром-сти СССР 29.09.78. — М.: Недра, 1982. — 405 с.

18. Деревяшкин И. В., Кононенко Е. А., Демченко А. В. Гидромеханизация открытых горных работ. Гидромониторно-землесосные комплексы, учебное пособие. — М.: ИНФРА, 2016. — 149 с.

19. Протасов С. И., Кононенко Е. А., Самусев П. А., Литвин Ю. И. Повышение эффективности работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза путем согласования режимов работы его основных систем. — Кемерово: КузГТУ, 2015. — 155 с.

20. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 1977. — 479 с.

21. Длин А. М. Математическая статистика. — М.: Сов. наука, 1958. — 466 с.

22. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1973. — 366 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Kutepov Y. I., Mironov A. S., Sablin M. V., Borger E. B. Substantiation of Safe Conditions During Under-mining of Hydraulic Waste Disposal. *E3S Web Conf. IIIrd International Innovative Mining Symposium*. 2018. Vol. 41. 5 p.

2. Kutepov Y. Y., Protosenya A. G. Geomechanical problems during the hydraulic fills operation in the areas of influence of open pit and underground mining. *Scientific Reports on Resource Issues 2016: Proc. of Freiberg — St. Petersburg Colloquium of young scientists*. 2016. No 11, pp. 99–103.

3. A. M. Suchowerska Iwanec A. M., Carter J. P., Hambleton J. P. Geomechanics of subsidence above single and multi-seam coal mining. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016, no. 3, Vol. 8, pp. 304–313.

4. Cao S., Song W., Deng D., Lei Y., Lan G. Numerical simulation of land subsidence and verification of its character for an iron mine using sublevel caving. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. No 2 (26), pp. 327–332.

5. Khoa H. D. V. Numerical simulation of spudcan penetration using coupled Eulerian-Lagrangian method. *Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics: 14th Conference*, Japan. 2014. pp. 199–204.

6. Newman C., Agioutantis Z., Boede G., Leon J. Assessment of potential impacts to surface and sub-surface water bodies due to longwall mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017. Vol. 27(1), pp. 57–64.

7. Li Y., Peng S. S., Zhang J. Impact of longwall mining on groundwater above the longwall panel in shallow coal seams. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2015. No 3 (7). pp. 298–305.

8. Fedoseev A. I., Vegner V. R., Protasov S. I., Bakhaeva S. P. Experience in the development of alluvial quaternary rocks from the area of the former hydraulic dump No. 3 of OAO Kedrovsky Open-cast Mine. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2004, no 3, pp. 268–273. [In Russ].

9. Kuznetsova I. V. The study of the physicomechanical properties of alluvial rocks at the base of dump embankments during the development of landslide deformations of the bottom sole type. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 5, pp. 58–62. [In Russ].

10. Fedotenko V. S., Protasov S. I., Mironenko I. A., Kononenko A. E. *Patent RU 2661950*. МПК E21S 41/26. 23.07.18.

11. Fedotenko V. S., Protasov S. I., Mironenko I. A., Kononenko A. E. *Patent RU 2681772*. МПК E21S 41/26. 12.03.19.

12. Fedotenko V. S., Protasov S. I., Mironenko I. A., Kononenko A. E. *Patent RU 2691252*. MPK E21S 41/26. 11.06.19.
13. Mironenko I. A., Protasov S. I. The problems of relaying of the quail pits of the quater-nary overburden. *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Innovatsionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy»* April 10–11, 2018: proceedings. Ekaterinburg, UGGU, 2018, pp. 22–25. [In Russ].
14. Mironenko I. A., Protasov S. I. Principles of choice of technical solutions for the development and movement of hydraulic dump rocks to a new location. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019, no 1, pp. 59–65. [In Russ].
15. Mironenko I. A., Protasov S. I. Technology of development of rocks, previously washed in the hydraulic dump, with the use of jetting erosion and suction dredgers. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2019, no 1, pp. 24–32. [In Russ].
16. *Raspredelenie gruntov na gruppy po trudnosti razrabotki ikh gidromonitorami i zemlesosnymi snaryadami SNIp IV-2-82, SNIp IV-5-84* [Distribution of soils into groups according to the difficulty of developing them with hydro jetters and suction dredgers. Construction norms and regulations SNIp IV-2-82, SNIp IV-5-84].
17. *Tipovye tekhnologicheskie skhemy vedeniya gornyykh rabot na ugol'nykh razrezakh*: Utv. M-vom ugol'noy prom-sti SSSR 29.09.78 [Typical technological schemes of mining operations in coal mines: Approved. M-tion of the coal industry of the USSR 29.09.78], Moscow, Nedra, 1982, 405 p.
18. Derevyashkin I. V., Kononenko E. A., Demchenko A. V. *Gidromekhanizatsiya otkrytykh gornyykh rabot. Gidromontorno-zemlesosnye komplekсы, uchebnoe posobie* [Hydromechanization of open pit mining. Hydromon-tor-land-pine complexes, Educational aid], Moscow, INFRA, 2016, 149 p.
19. Protasov S. I., Kononenko E. A., Samusev P. A., Litvin Yu. I. *Povyshenie effektivnosti raboty gidromontorno-zemlesosnogo kompleksa razreza putem soglasovaniya rezhimov raboty ego osnovnykh sistem* [Increase of the operating efficiency of the jetting-suction-complex complex of the section by coordinating the operating modes of its main systems], Kemerovo, KuzGTU, 2015, 155 p.
20. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of probability and mathematical statistics], Moscow, Vysshaya shkola, 1977, 479 p.
21. Dlin A. M. *Matematicheskaya statistika* [Mathematical statistics], Moscow, Sov. nauka, 1958, 466 p.
22. Ventseľ E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya veroyatnostey* [Theory of probability], Moscow, Nauka, 1973, 366 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Протасов Сергей Иванович*¹ — канд. техн. наук, профессор, действительный член Академии горных наук,

e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru,

*Мироненко Илья Александрович*¹ — аспирант,

e-mail: ilya.mironenko.86@bk.ru,

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.

Для контактов: Протасов С.И. e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.I. Protasov*¹, Cand. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru,

Member of the Academy of Mining Sciences,

*I.A. Mironenko*¹, Graduate Student,

e-mail: ilya.mironenko.86@bk.ru,

¹ T. Gorbachev Kuzbass State Technical University,

650000, Kemerovo, Russia.

Corresponding author: S.I. Protasov, e-mail: psi.rmpio@kuzstu.ru.