

**С.С. Цибаев, С.И. Калинин, А.А. Ренев, Д.В. Зорков**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА СОСТОЯНИЕ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И ЭЛЕМЕНТОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

Приведены результаты инструментальной и визуальной оценки состояния горных выработок, приконтурного массива горных пород и элементов анкерной крепи, подвергшихся влиянию затопления и последующего осушения в условия шахты «Распадская». Установлена протяженность и срок пребывания выработок в затопленном состоянии. Приведены результаты испытаний прочности закрепления анкерных стержней различного профиля в кровле и боках выработок. Установлено, что распределение вероятности усиления закрепления анкеров в шпурах в кровле выработок подчиняется нормальному закону распределения. Анализируются результаты радиолокационной съемки пород кровли с использованием Георадара ОКО-2. Выявлено, что высота расслоения пород в кровле выработок изменяется от 0,2м до 2,25м, произведено сопоставление с теоретической высотой свода обрушения. Произведена оценка склонности углепородного массива к водонасыщению, установлена высота водонасыщения пород кровли. Установлено, что высота увлажнения зависит от сформировавшегося на период обследования свода устойчивости пород. Установлено, что водонасыщение пород приводит к снижению удельного сцепления скрепляющего состава химических ампул со стенками шпура на 55–67% и на 72% в кровле и боках, соответственно.

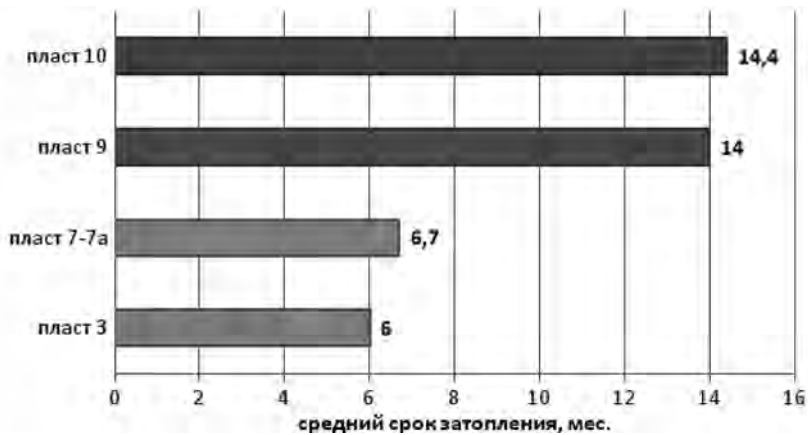
*Ключевые слова:* подземные горные работы, поддержание выработок, анкерное крепление, затопление, взрыв, Распадская, устойчивость.

**Т**рагедия, произошедшая в мае 2010 г. на шахте «Распадская», помимо огромных человеческих жертв, нанесла колоссальный ущерб капитальным фондам самой шахты. В результате воздействия взрывной волны, высокой температуры и затопления, крепление значительной части подземных горных выработок шахты оказалась нарушено. Следует отметить, что работы по ликвидации последствий аварии на шахте ведутся по сей день. Таким образом, первостепенной целью исследования является оценка влияния взрывной волны и затопления на состояние анкерного крепления горных выработок. Объектом исследования выступали подземные горные выработки ш. «Распадская», подвергшиеся воздействию взрывной волны, высо-

кой температуры и затоплению. В плановый объем исследования входили выработки, проведенные по пластам: 3–3а, 7–7а, 9, 10 Суммарная протяженность обследованных горных выработок составила около 60 000 м.

Из общего числа обследуемых выработок, 39 выработок была затоплена водой. Срок пребывания выработок в затопленном состоянии был разный, изменялся от 6 месяцев до 30 месяцев (рис. 1). Суммарная протяженность затопленных выработок составила 20 195 м.

Обследование выработок производилось по установленной методике [1], по каждой выработке подготавливался акт комиссионного обследования. Фактическое состояние выработок зарисовывалось, оценивалось замерами. Эле-

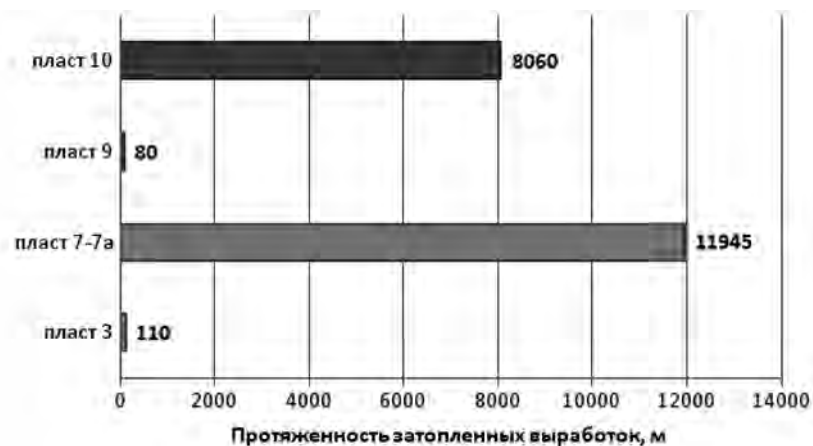


**Рис. 1. Распределение среднего срока затопления подземных горных выработок ш. «Распадская» по пластам, мес.**

менты анкерной крепи осматривались визуально, затяжка гаек проверялась гаечным ключом или динамометрическим ключом КДМ-5. Нагружение анкеров производилось штанговывергивателем ПКА-3 или ПКА-1. Размеры измерялись рулеткой ВНИМИ, а также современными измерительными рулетками [2, 3].

Оценка влияния затопления выработок водой на состояние выработок и анкерной крепи производилась путем нагружения анкеров штанговывергивателем и оценкой по усилию нагру-

жения фактических значений удельного сцепления скрепляющего состава со стенками шпура и с телом анкерного стержня. По удельному сцеплению скрепляющего состава со стенками шпура оценивалось состояние массива, по удельному сцеплению скрепляющего состава со стержнем анкера оценивались фактические когезионные свойства скрепляющего состава. Дополнительно проводилось обследование выработок радиолокационным методом с использованием Георадара ОКО-2 [2].



**Рис. 2. Распределение протяженности затопленных горных выработок ш. «Распадская» по пластам, м**

Усилия закрепления анкеров оценивались с помощью прибора ПКА-3, по результатам нагружения анкеров в кровле и боках выработок по пластам 9, 10, 7-7а, 3, были составлены статистические ряды. По данным статистических рядов построены кривые распределения вероятности усилий нагружения анкеров (рис. 3, рис. 4, рис. 5). Установлено, что распределение вероятности усилия закрепления анкеров в шпурах в кровле и боках выработок подчиняется нормальному закону распределения:

$$P_i = \frac{1}{\sigma_x \cdot 2\pi} \cdot e^{-\frac{(x_i - m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (1)$$

где:  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение усилий закрепления от математического ожидания;  $x_i$  – значение усилий нагружения анкеров (исследуемый параметр);  $m_x$  – математическое ожидание (среднее значение) исследуемого параметра.

Математическое ожидание  $m_x = 97,05$  кН; Дисперсия  $D_x = 68,1$  кН<sup>2</sup>; Среднее квадратическое отклонение  $\sigma_x = 8,25$  кН.

Кривая распределения усилий закрепления в шпурах кровли анкеров из круглого стального профиля приведена на рис. 4. Математическое ожидание усилия закрепления анкеров стального круглого профиля составляет 72,75 кН, среднее квадратическое

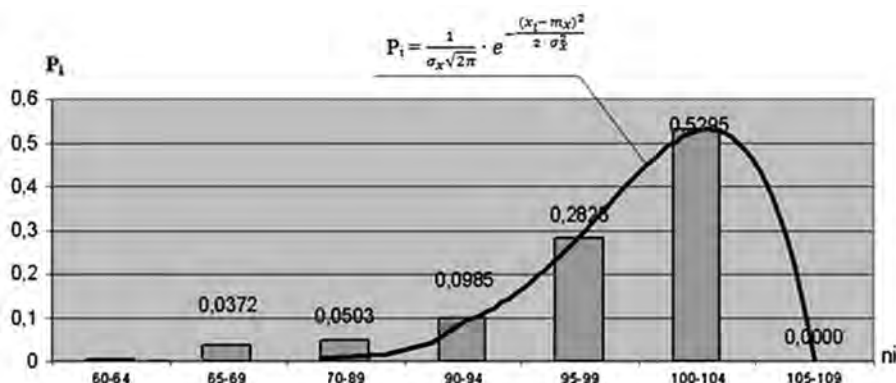


Рис. 3. Кривая распределения вероятности усилия нагружения анкеров винтового профиля

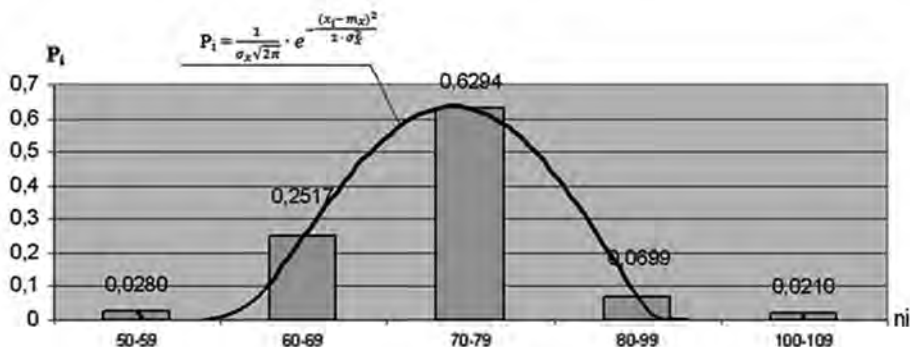
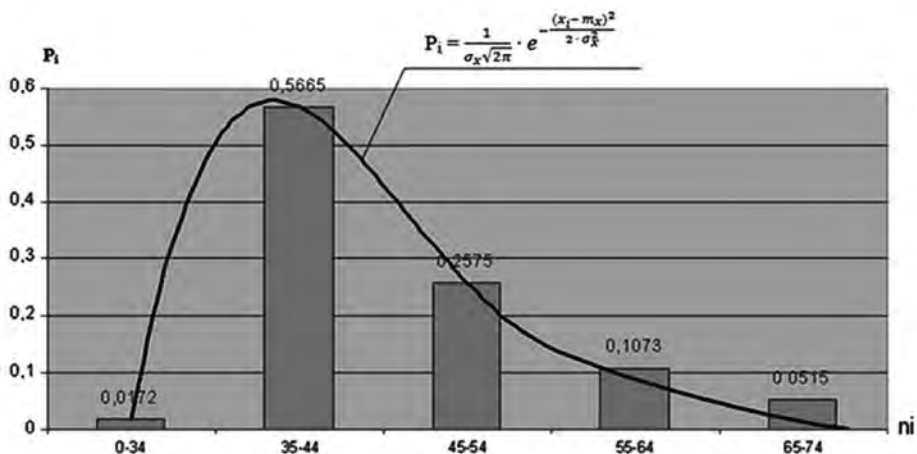


Рис. 4. Кривая распределения вероятности усилия нагружения анкеров стального круглого профиля



**Рис. 5. Кривая распределения вероятности усилия нагружения сталеполимерных анкеров в шпурах боков выработок**

отклонение 7,69 кН;  $m_x = 72,75$  кН,  $D_x = 59,1$  кН<sup>2</sup>,  $\sigma_x = 7,69$  кН.

Бока выработок закрепляются сталеполимерными анкерами типа АВР-16, АВР-20, АСП-20, а так же распорными анкерами ШК-1м. На рис. 5 приведена кривая распределения вероятности усилия закрепления анкерных стержней в боках выработок. В боках выработок усилие закрепления сталеполимерных анкеров составляет: математическое ожидание  $m_x = 45,38$  кН, дисперсия  $D_x = 89,1$  кН<sup>2</sup>, среднеквадратическое отклонение  $\sigma_x = 9,44$  кН.

По математическим ожиданиям определяются удельные сцепления химического состава ампул со стенками шпуров и со стержнем анкера используются формулы (33). Удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура определяется по формуле

$$\tau_{ш} = \frac{m_x}{\pi \cdot d_{ш} \cdot \ell_{з.а} \cdot K_{ш}}, \quad (2)$$

$$\tau_{ш} = \frac{m_x}{\pi \cdot d_{ан} \cdot \ell_{з.а} \cdot K_{ш}},$$

где:  $\ell_{з.а}$  – длина закрепления анкера принимается равным 1 м;  $K_{ш}$  – вводится коэффициент шпура, в связи с ухуд-

шением состояния выработок,  $K_{ш} = 0,6$ ;  $d_{ш}$  – диаметр шпура, принимаем 30 мм;  $d_{ан}$  – диаметр анкерного стержня, принимаем равным 20 мм,  $m_x$  – среднее фактическое усилие закрепления анкерных стержней в шпурах, кН.

По удельному сцеплению скрепляющего состава со стенками шпура оцениваются состояние вмещающих пород, по удельному сцеплению скрепляющего состава со стержнем анкера оценивается состояние скрепляющего состава, его когезионные свойства после воздействия взрыва, высокой температуры и затопления [3].

Результаты расчетов, выполненных по формулам (2), приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура при анкерах типа АВР-20 – 1,7 МПа, при анкерах АСП-20 – 1,29 МПа. В нормальных неаварийных условиях ожидаемое удельное сцепление должно быть не менее 3,8–4 МПа [3] со стенками шпура и не менее 8,9 МПа [3] со стержнем анкера. В боках удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура составило 0,8 МПа, со стержнем анкера 2,7 МПа. Фактические показатели оказались так же

Таблица 1

**Удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура и со стержнем анкера**

Тип анкера	$m_x$ (кН)	$l_{з.а}$ (м)	$\tau_{ш}$ (МПа)	$\tau_c$ (МПа)	Примечание
Породы кровли					
Анкер из стального проката винтового профиля	97	1	1,7	2,57	в нормальных условиях $\tau_{ш} = 3,8-4$ МПа, $\tau_c = 8,9$ МПа
Анкер из стального проката круглого профиля	73	1	1,29	1,93	в нормальных условиях $\tau_{ш} = 3,8-4$ МПа, $\tau_c = 8,9$ МПа
Уголь в боках					
Анкер из стального проката круглого пропрофиля	45	0,5	0,8	2,7	в нормальных условиях $\tau_{ш} = 3,8-4$ МПа, $\tau_c = 8,9$ МПа

ниже ожидаемых значений удельных сцеплений.

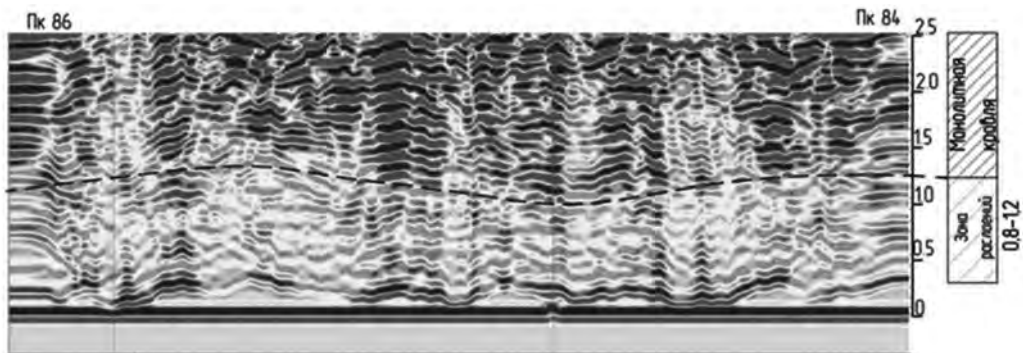
Снижение удельного сцепления сравнительно с ожидаемыми вызвано снижением усилий нагружения анкеров. По методике обследования [1] выработок усилие нагружения анкеров в кровле принималось 0,7 от несущей способности анкера и 0,5–0,6 от несущей способности анкера в боках выработок. Безусловно, на снижение удельного сцепления скрепляющего состава с породами, углем и стержнем, оказало влияние затопление выработок водой.

Наиболее полно радиолокационным методом было произведено обследование выработок пласта 9 в блоке

№ 4 [2]. Результаты обследования конвейерного уклона 4–9, находящегося в зоне затопления, приводятся ниже.

Принцип действия Георадара основан на излучении сверхширокополосных наносекундных импульсов, приеме сигналов, отраженных от границ раздела сред, обработке принятых сигналов с последующим измерением временных интервалов отраженными импульсами. То есть, в работе Георадара заложены классические принципы радиолокации [4, 6].

Георадарные исследования выполнялись по системе параллельных профилей. Длина одиночных профилей составляла до 100 м. Расстояние между профилями принималась до 10 см.



**Рис. 6. Радарограмма обследования приконтурных слоев кровли в конвейерном уклоне 4–9 на участке ПК86-ПК84. Зона расслоения кровли 0,8–1,2 м, относительно равномерная по толщине. Прослеживаются признаки разупрочнения вышележащих пород. Наблюдаются признаки обводненности**

Результаты обследования состояния пород в кровле показывают следующее: по всей длине уклона произошло отслоение нижних слоев пород кровли от основного массива, высота отслоенных и обрушенных пород изменяется от 0,1 м до 0,6 м, средняя 0,3 м [4]; высота расслоения пород непостоянна, на отдельных участках породы непосредственной кровли расслоены на высоту до 1,2–1,5 м, на значительной части участков породы увлажнены (рис. 6) [4].

На участках с увлажненными породами иногда наблюдаются отслоения пород и их обрушение, прочные свойства пород на этих участках снижают-

ся. Таким образом, водонасыщения пород приводит к снижению прочностных свойств пород. Снижаются сопротивление пород сжатию, растяжению. Снижаются упругие свойства, а так же сцепление и угол внутреннего трения пород [7].

Водонасыщение определяется многими факторами, из которых к основным следует отнести: влагоемкость, которая определяется естественной пористостью пород. Увлажнение пород при затоплении сопровождается декомпрессионным расширением пород в связи с их разупрочнением. Породы увеличиваются в объеме (набухают), при этом происходит закрытие

Таблица 2

**Гидрогеологические свойства коренных пород**

Показатели физико-механических свойств	Песчаники	Переслаивание алевролитов с песчаниками	Алевролиты	Аргиллиты	Гравелиты	Конгломераты
Коэффициент крепости по Протоdjяконову	7–16/ 10,6(28)	5–14/ 7,3(22)	1,5–12,0/ 6,7(52)	3–5/ 4(2)		7–8/ 7,5 (2)
Пористость общая, %	1,212–7,1/ 3,78(27)	0,97–6,45/ 3,26(23)	0,19–8,11/ 4,68(52)	2,33–5,71/ 4,02(2)		3,48–4,26/ 3,87(2)
Естественная влажность, %	0,58–2,64/ 1,50(27)	0,91–3,47/ 1,93(23)	1,14–3,47/ 2,13(49)	2,76–3,02/ 2,89(2)		0,99–1,06/ 1,02(2)
Водопоглощение, %	0,34–1,93/ 1,15(28)	0,67–1,69/ 1,19(18)	0,35–1,67/ 1,03(33)	2,11(1)		0,9–1,25/ 1,07(2)

Таблица 3

**Гидрогеологические свойства углей пластов**

Показатели физико-механических свойств	Пл.15 в.п.	Пл.11	Пл.9	Пл.7-7а	Пл.6-6а	Пл.3-3а
1	2	3	4	5	6	7
Признаки размокания		Размокает	Не размокает	Размокает	Не размокает	
Влажность, %	2,0		2,1	1,5	2,2	
Удельная плотность, г/см <sup>3</sup>			1,46		2,35	2,57
Объемная плотность, %			1,32		2,06	2,42
Общая пористость, %			9,59		8,54	5,9
Водопоглощение, %	0	6,9	5,5	14,2	9,8	



трещин, породы массив становится как бы более монолитным, но менее прочным и устойчивым [7].

Естественная трещиноватость оказывает влияние на водонасыщение пород. С повышением трещиноватости влагонасыщение пород возрастает. Существенное влияние оказывают проницаемость пород, характеризуется коэффициентом проницаемости или коэффициентом фильтрации. Гидрогеологические характеристики пород приведены в табл. 2 и 3.

Оценка гидрогеологических свойств пород Распадского месторождения показывает, что вмещающие породы угольных пластов склонны к водонасыщению.

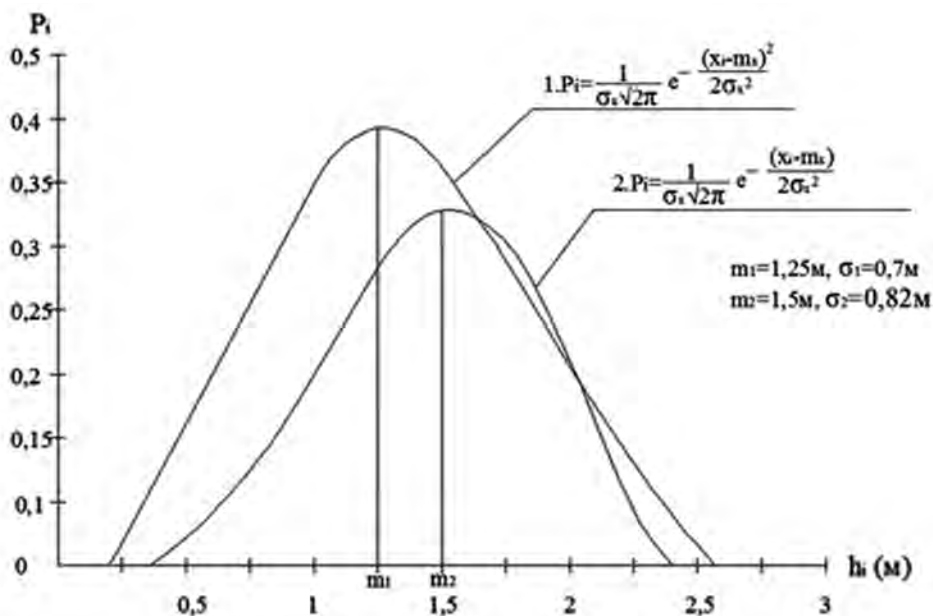
Из табл. 3 видно, что гидрогеологические свойства углей пластов ОАО «Распадская» имеют существенное различие, угли отдельных пластов относятся к категории гидрофобных (пласты 9, 11), признаки угля пластов к размоканию отсутствуют. породы

пластов 3–3а, 7–7а, 9, 10 склонны к водонасыщению.

Проведенными обследованиями подготовительных и капитальных выработок по пластам 10, 9, 7–7а, 3–3а установлено, что расслоение пород и высота свода обрушения пород, рассчитанного по фактическим параметрам выработок, имеют близкую сходимость (рис. 7).

Высота расслоения пород в кровле выработок изменяется от 0,2 м до 2,25 м, (кривая 2), рассчитанная высота свода обрушения в выработках изменяется от 0,15 м до 2,8 м (кривая 1 на рис. 7).

Среднее значение высоты расслоения пород в кровле составляет 1,5 м средняя высота свода обрушения 1,25 м. Кроме того, обследования выработок показывают, что при затоплении выработок влагонасыщение пород в кровле происходит в основном в пределах высоты сформировавшегося свода обрушения в кровле выработок.



**Рис. 7. Распределение вероятности высоты свода разрушения пород кровли в выработках:** 1 – теоретический расчет высоты свода обрушения; 2 – кривая вероятности высоты расслоения пород в кровле выработок

Исследования состояния приконтурных слоев кровли радиолокационным методом с использованием Георадара ОКО-2 показали, что породы кровли пластов ОАО «Распадская» склонны к водонасыщению. При обследовании конвейерного уклона 4–9 увлажнение пород отмечалось по длине уклона на высоте от 1 м до 2,5 м [4]. Установлено, что высота увлажнения зависит от сформировавшегося на период обследования свода устойчивости пород. Средняя высота увлажнения пород составляет 1,25–1,5 м. На увлажненных участках редко отмечается трещиноватость пород, что по видимому, связано с водонасыщением и набуханием пород, а это вызывает расширение их и перекрытие имеющихся трещин [7].

Установлено, что увлажнение пород при затоплении выработок сопровождается декомпрессионным расши-

рением пород в связи с разуплотнением пород, породы увеличиваются в объеме за счет набухания. Массив становится более монолитным, но менее прочным и устойчивым.

Снижение удельного сцепления скрепляющего состава с породами и углем, а также со стержнем анкерной крепи вызвано не только воздействием влаги на породы, на снижение сцепления оказало влияние снижение усилия нагружения анкеров на 35–40% от несущей способности анкеров. Установлено, что водонасыщение пород приводит к снижению удельного сцепления скрепляющего состава химических ампул со стенками шпура на 55–67% и на 72% в кровле и боках, соответственно.

Снижение прочных свойств пород под влиянием влагонасыщения необходимо учитывать при восстановлении и перекрепке выработок после откачки воды и осушения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика обследования и оценки состояния подготовительных выработок, закрепленных анкерной крепью и работоспособности анкерной крепи по истечении 5 лет эксплуатации выработок.* – Прокопьевск: КузГТУ, 2007. – 11 с.

2. *Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах.* Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 г. №31354.

3. *Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России.* – СПб.: ВНИМИ, 2000. – 70 с.

4. *Отчет по научно-исследовательской работе «Провести обследование состояния приконтурных слоев пород в горных выработках пласта 9, блок № 4, закрепленных анкерной крепью в условиях ОАО «Распадская» радиолокационным методом с помощью*

Георадара ОКО-2». – Прокопьевск: филиал КузГТУ, 2014. – 29 с.

5. *Методические рекомендации по расчету параметров сталеполимерных (сталеминеральных) анкеров для подвески монорельсовых дорог в выработках, закрепленных анкерной крепью.* – Кемерово: КузГТУ, 2008. – 31 с.

6. *Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (Георадар «ОКО-2»).* Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. – Раменское, 2009. – 93 с.

7. *Кутепова Н.А., Кутепов Ю.И.* Изучение закономерностей развития гидромеханических процессов с целью прогноза деформаций земной поверхности при затоплении угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 2 – С. 142–154. **ИИАС**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Цибаев Сергей Сергеевич*<sup>1</sup> – ассистент кафедры, e-mail: crazyzero@rambler.ru,  
*Калинин Степан Илларионович* – доктор технических наук, профессор, руководитель НИ ПКП «УТК» Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева» (г. Прокопьевск), e-mail: niutk@yandex.ru,  
*Ренев Алексей Агафангелович*<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор, e-mail: raa.rmpi@kuzstu.ru,

*Зорков Данил Викторович*<sup>1</sup> – старший преподаватель, e-mail: zorghoff@rambler.ru,

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева.



## EVALUATION OF THE EFFECT OF FLOOD ON SURROUNDING MASSIF AND BOLTING STATE

Tsibaev S.S.<sup>1</sup>, Assistant of Chair, e-mail: crazyzero@rambler.ru,  
Kalinin S.I., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of Scientific-Research Planning and Designing Office «UTK» Prokopyevsk branch  
of Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev,  
653033, Prokopyevsk, Russia, e-mail: niutk@yandex.ru,

Renov S.S.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: raa.rmpi@kuzstu.ru,

Zorkov D.V.<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: zorghoff@rambler.ru,

<sup>1</sup> Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 650000, Kemerovo, Russia.

---

*Herein there are the results of a tool and visual assessment of condition of excavations, border massif of rocks and anchor support elements influenced by flooding and further drainage under conditions of Raspadskaya mine. The extent and term of the mine being under flooded condition has been determined. The results of the durability tests of anchoring rods of various profiles are given for the roofs and sides of the mine working. It has been figured out that distribution of probability of the hardening force of the anchors in blast-holes in the roof of the mine working meets the normal law of distribution. There are analyzed results of radar shooting of the roof taken by Georadar OKO-2's. It has been figured out that the height of rock breaking of the roof of the mine working changes 0.2 m to 2.25 m; comparison to the theoretical height of the roof arch has been made. The assessment of tendency of the coal massif to water saturation has been made, the height of water saturation of the roof rocks has been determined. It has turned out that the height of moistening depends on the arch stability of rocks formed during the time of test. It has been determined that water saturation of the rocks leads to decrease in specific cohesion of the fastening structure of chemical ampoules with shot walls on 55–67% and on 72% in the roof and sides, respectively.*

*Key words: underground mining, the maintenance of mine workings, bolt, flood, explosion, Raspadskaia, resistance.*

## REFERENCES

1. *Metodika obsledovaniya i otsenki sostoyaniya podgotovitel'nykh vyrabotok, zakreplennykh ankernoï krep'yu i rabotosposobnosti ankernoï krep'i po istechenii 5 let ekspluatatsii vyrabotok* (The survey procedure of mine workings conditions supported by bolts and about bolt work conditions after 5 years exploitation) Prokopyevsk, KuzGTU, 2007, 11 p.

2. *Instruktsiya po raschetu i primeneniyu ankernoï krep'i na ugol'nykh shakhtakh*. Zaregistrovano v Minyuste Rossii 19.02.2014 g. №31354 (Technical rules about anoring calculation and application on coal mines (Recorded by Ministry of Justice of Russia 19.02.2014 №31354)).

3. *Instruktsiya po raschetu i primeneniyu ankernoï krep'i na ugol'nykh shakhtakh Rossii* (Technical rules about anoring calculation and application on russian coal mines). Saint-Petersburg, VNIMI, 2000, 70 p.

4. *Otchet po nauchno-issledovatel'skoi rabote «Provesti obsledovanie sostoyaniya prikonturnykh sloev porod v gornykh vyrabotkakh plasta 9, blok no 4, zakreplennykh ankernoï krep'yu v usloviyakh OAO «Raspadskaya» radiolokatsionnym metodom s pomoshch'yu Georadara OKO-2»* (Scientific research report «The radiolocating survey of surrounding massif and mining workings state supported by anchoring in conditions of seam № 9 area 4 of Raspadskaia coal mine by means of Georadar OKO-2's»), Prokopyevsk, KuzGTU, 2014, 29 p.

5. *Metodicheskie rekomendatsii po raschetu parametrov stalepolimernykh (stalemineral'nykh) ankerov dlya podveski monorel'sovykh dorog v vyrabotkakh, zakreplennykh ankernoï krep'yu* (Procedural recommendations for bolts parameters calculation which support a monorail railway in mine workings supported by bolts), Kemerovo, KuzGTU, 2008, 31 p.

6. *Radiotekhnicheskii pribor podpoverkhnostnogo zondirovaniya (Georadar «OKO-2»)*. Tekhnicheskoe opisanie. Instruktsiya po ekspluatatsii (Technical specifications and instruction manual for radio device for subsurface sounding (Georadar «OKO-2»), Ramenskoe, 2009, 93 p.

7. Kutepova N.A., Kutepov Yu.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2012, no 2, pp. 142–154.

