

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-37-45

УДК 622.268.6 (281.742.2)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
НА УСТОЙЧИВОСТЬ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ
УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

**EVALUATION OF THE EFFECT OF FLOODING THE MINE WORKINGS WITH
WATER ON BOLTS STABILITY AND ON DEFORMATIONS COAL AND ROCK
STRATA**

Цибаев Сергей Сергеевич¹,

старший преподаватель, e-mail: cibaevss@kuzstu.ru

Sergey S. Tsibaev¹, Senior lecturer

Ренев Алексей Агафангелович¹,

доктор техн. наук, зав. кафедрой, e-mail: raa@kuzstu.ru

Alexey A. Renev¹, Dr. Sc.in Engineering, The head of department

Калинин Степан Илларионович²,

доктор техн. наук, руководитель, e-mail: niutk@yandex.ru

Stepan I. Kalinin², Dr. Sc.in Engineering, Director

Зорков Данил Викторович¹,

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: zorghof@rambler.ru

Danil V. Zorkov¹, Candidate Sc.in Engineering, Associate Professor

Филимонов Константин Александрович¹,

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: fka777@rambler.ru

Konstantin A. Filimonov¹, Cand. Sci. in Engineering, Associate Professor

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

²Научно-исследовательское и проектно-конструкторское подразделение – «Угольные технологии Кузбасса», 653039, Россия, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а

²Scientific Research and Engineering Design Department of Kuzbass State Technical University «Ugolnye Tehnologii Kuzbassa», 19a street Nogradskaya, Prokopyevsk, 653039, Russian Federation

Аннотация: Приведены результаты инструментальной и визуальной оценки состояния горных выработок, периферийного 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 усилия 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 0,2 до 2,25 м, 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 80÷85 % и на 49 % в кровле и боках соответственно.

Abstract: The study presents the results of an instrument and visual assessment of the condition of mine workings, peripheral rock strata and anchor support elements exposed to flooding and subsequent 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 fixed in the roof and sides of

the mine workings are given. It has been found that distribution of probability of the holding force of the anchors in blast-holes in the roof of the mine working follows the normal law of distribution. The results of the roof radar survey taken by georadar OKO-2 have been analyzed. It has been identified that the height of rock strata sheeting in the roof of the mine working varies between 0.2 to 2.25 m; comparison to the theoretical height of the roof arch has been made. The assessment of the coal rock massif liability to water saturation has been made, the height of water saturation of the roof rocks has been determined. It has been found that the height of water saturation depends on the rock rigidity arch formed during the time of test. It has been determined that rocks saturation with water leads to decrease in specific cohesion of the binding material of chemical capsules with the borehole walls by 80÷85 % and by 49 % in the roof and sides respectively.

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

Key words: underground mining, maintenance of mine workings, rock bolting, flooding, explosion, rock rigidity.

Трагедия, 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, первоочередной задачей 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, высокой температуры и затоплению. В плано-

марная протяженность затопленных выработок составила 20,195 км (рис. 1).

Обследование выработок производилось по методике [1], разработанной с учётом рекомендаций нормативных документов [2, 3, 8]. По каждой выработке подготавливался акт комиссионного обследования. Фактическое состояние выработок зарисовывалось, оценивалось замерами. Элементы 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.

Оценка влияния затопления выработок водой

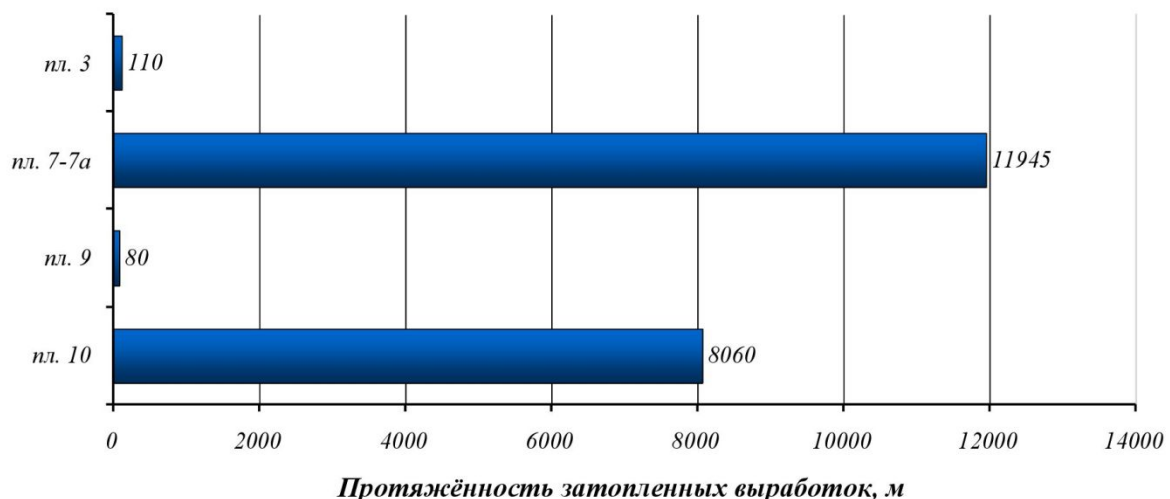


Рис. 1. Распределение протяженности затопленных горных выработок ш. «Распадская» по пластам

Fig. 1. The distance allocation of flooded mine workings according location

вый объем исследования входили выработки, проведенные по пластам 3-3а, 7-7а, 9, 10. Суммарная протяженность обследованных горных выработок составила около 60 км.

Из общего числа обследуемых выработок, 39 выработок были затоплены водой. Срок пребывания выработок в затопленном состоянии был разный, изменялся от 6 месяцев до 30 месяцев. Сум-

на состояние выработок и анкерной крепи производилась путём нагружения анкеров штанговывергивателем и оценкой по усилию нагружения 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 сцепле-

нию скрепляющего состава со стержнем анкера оценивались фактические когезионные свойства скрепляющего состава. Дополнительно проводилось обследование выработок радиолокационным методом с использованием георадара ОКО-2 [4].

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

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

где: σ_x – среднее квадратическое отклонение усилий закрепления от математического ожидания; x_i – значение усилий нагружения анкеров (исследуемый параметр); m_x – математическое ожи-

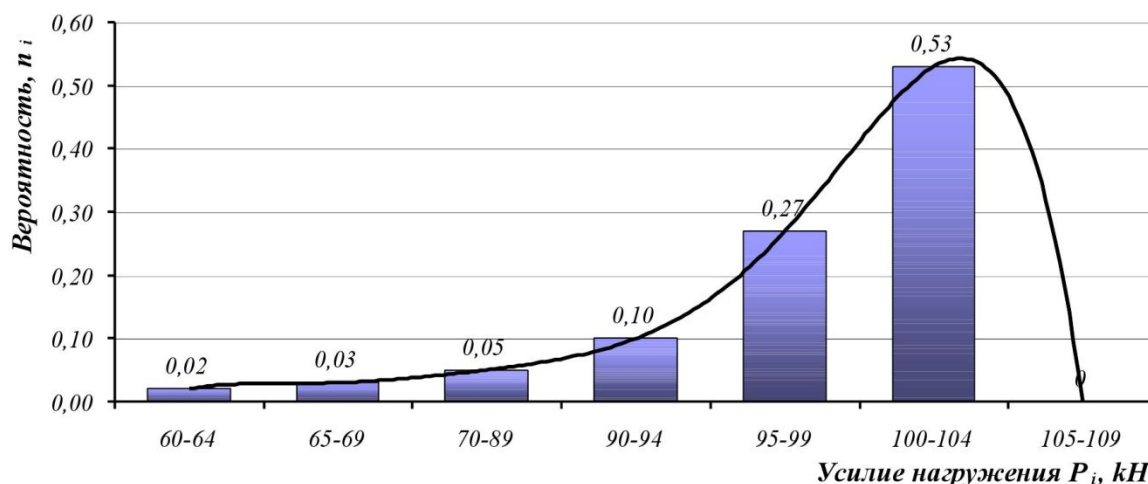


Рис. 2. Кривая распределения вероятности усилия нагружения анкеров винтового профиля в кровле выработки

Fig. 2. The steel bolt (inch thread) loading distribution line in workings roof

построены кривые распределения вероятности усилий нагружения анкеров (рис 2, 3, 4). Установлено, что распределение вероятности усилия закрепления анкеров в шпурах в кровле и боках выработок подчиняется нормальному закону распределения:

дание (среднее значение) исследуемого параметра.

Кровля обследуемых выработок закреплена сталеполимерными анкерами типа АВ-20 винтового профиля и АСП-20 круглого профиля.

На рис. 2 представлена кривая распределения усилий закрепления анкеров кровли винтового профиля в шпурах. Математическое ожидание усилия закрепления составило 97,05 кН, средне-

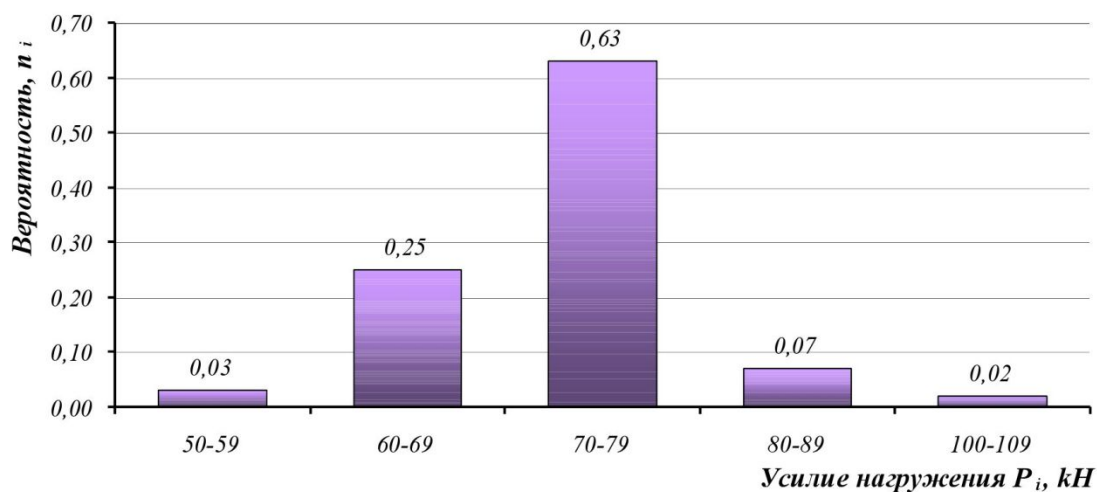


Рис. 3. Кривая распределения вероятности усилия нагружения анкеров стального круглого профиля в кровле выработки

Fig. 3. The steel bolt (metric thread) loading distribution line in workings roof

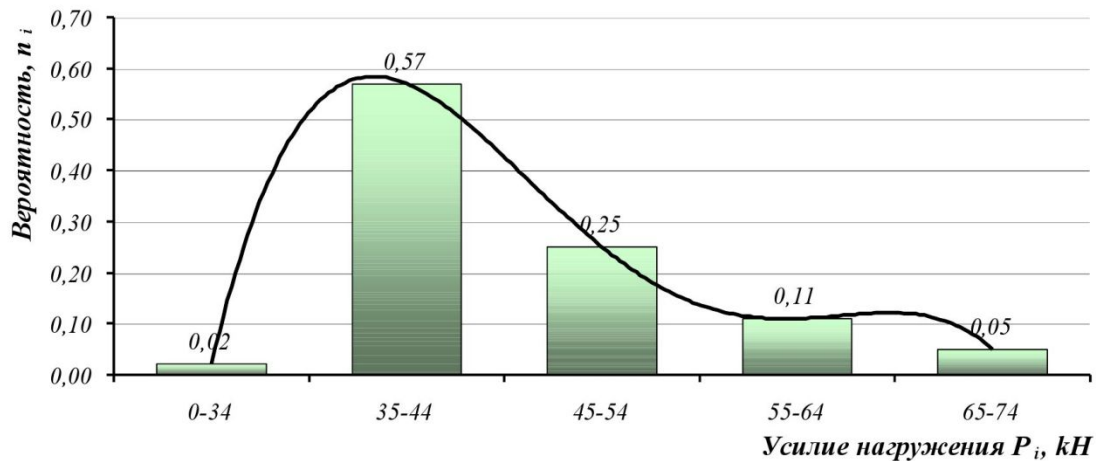


Рис. 4. Кривая распределения вероятности усилия нагружения сталеполимерных анкеров в шпурах боков выработок
 Fig. 4. The steel bolt loading distribution line in workings walls

квадратическое отклонение 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 составило 73,05 кН, среднеквадратическое отклонение 7,69 кН.

Бока выработок закреплены сталеполимерными анкерами типа АВР-16, АВР-20, АСП-20, а также распорными анкерами ШК-1М. На рис. 4 приведена кривая распределения вероятности усилия закрепления сталеполимерной анкерной крепи в боках выработок. Математическое ожидание усилия закрепления анкеров стального круглого профиля составило 45,37 кН, среднеквадратическое отклонение 9,44 кН.

По математическим ожиданиям определяются удельные сцепления химического состава ампул

со стенками шпуров и со стержнем анкера. Удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура определяется по формуле:

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

Удельное сцепление скрепляющего состава со стержнем анкера определяется по формуле:

$$\tau_{\text{с}} = \frac{m_x}{\pi \cdot d_{\text{ан}} \cdot l_{\text{з.а}} \cdot K_{\text{ш}}}, \quad (3)$$

где $l_{\text{з.а}}$ – длина закрепления анкера; $K_{\text{ш}}$ – вводится коэффициент шпура, в связи с ухудшением состояния выработок ($K_{\text{ш}} = 0,6$); $d_{\text{ш}}$ – диаметр шпу-

Таблица 1 - Удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура и со стержнем анкера
 Table 1 - Polyurethane compound adhesion with hole and bolt

Тип анкера	m_x , кН	$l_{\text{з.а}}$, (м)	$\tau_{\text{ш}}$, МПа	$\tau_{\text{с}}$, МПа	Примечание
Породы кровли					
Анкер из стального проката винтового профиля	97	1	1,71	2,57	В нормальных условиях $\tau_{\text{ш}} = 8,2$ МПа $\tau_{\text{с}} = 8,9$ МПа
Анкер из стального проката круглого профиля	73	1	1,29	1,93	В нормальных условиях $\tau_{\text{ш}} = 8,2$ МПа $\tau_{\text{с}} = 8,9$ МПа
Уголь в боках					
Анкер из смешанного профиля	45	0,5	1,59	2,38	В нормальных условиях $\tau_{\text{ш}} = 2,8-3,4$ МПа $\tau_{\text{с}} = 8,9$ МПа

ра, 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 оценивалось состояние вмещающих пород, а по удельному сцеплению скрепляющего состава со стержнем – состояние скрепляющего состава, его когезионные свойства после воздействия взрыва, высокой температуры и затопления. При интерпретации результатов оценки состояния анкерного крепления учитывались современные исследования в этой области [9–14].

Результаты расчетов, выполненных по формулам (2), приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что удельное сцепление скрепляющего состава составляет со стенками шпура при использовании анкеров типа АВР-20 – 1,71 МПа, при анкерах АСП-20 – 1,29 МПа. В нормальных неаварийных условиях ожидаемое удельное сцепление должно быть не менее 8,2 МПа со стенками шпура и не менее 8,9 МПа со стержнем анкера [5]. В боках удельное сцепление скрепляющего состава со стенками шпура составило 1,59 МПа, со стержнем анкера – 2,38 МПа. Фактические показатели оказались так же ниже ожидаемых значений удель-

ных сцеплений.

Безусловно, на снижение удельного сцепления скрепляющего состава с породами, углем и стержнем, оказало влияние затопление выработок водой. Установлено, что водонасыщение пород приводит к снижению удельного сцепления скрепляющего состава химических ампул со стенками шпура на 80÷85 % и на 49 % в кровле и боках соответственно.

Исследование состояния приконтурных слоев кровли, оценка расслоения пород, их водонасыщение, производились радиолокационным методом с использованием георадара ОКО-2. В работе георадара заложены классические принципы радиолокации [4, 6]. 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. Георадарные исследования выполнялись по системе параллельных профилей. Длина одиночных профилей составляла до 100 метров. Расстояние между профилями принималась до 10 см.

Таблица 2 - Физико-механические свойства коренных пород
 Table 2 - Physical-mechanical properties of bedrocks

Физико-механические свойства	Песчаники	Переслаивание алевролитов с песчаниками	Алевролиты	Аргиллиты	Конгломераты
Коэф. крепости по Протодякову	$\frac{7 \div 16}{10,6}$	$\frac{5 \div 14}{7,3}$	$\frac{1,5 \div 12,0}{6,7}$	$\frac{3 \div 5}{4}$	$\frac{7 \div 8}{7,5}$
Пористость общая, %	$\frac{1,21 \div 7,1}{3,78}$	$\frac{0,97 \div 6,45}{3,26}$	$\frac{0,19 \div 8,11}{4,68}$	$\frac{2,33 \div 5,71}{4,02}$	$\frac{3,48 \div 4,26}{3,87}$
Естественная влажность, %	$\frac{0,58 \div 2,64}{1,50}$	$\frac{0,91 \div 3,47}{1,93}$	$\frac{1,14 \div 3,47}{2,13}$	$\frac{2,76 \div 3,02}{2,89}$	$\frac{0,99 \div 1,06}{1,02}$
Водопоглощение, %	$\frac{0,34 \div 1,93}{1,15}$	$\frac{0,67 \div 1,69}{1,19}$	$\frac{0,35 \div 1,67}{1,03}$	2,11	$\frac{0,9 \div 1,25}{1,07}$

Таблица 3 - Физико-механические свойства углей пластов
 Table 3 - Physical-mechanical properties of coal seams

Физико-механические свойства	Пл.15 в.п.	Пл.11	Пл.9	Пл.7-7а	Пл.6-6а	Пл.3-3а
Признаки размокания	–	Размокает	Не размокает	Размокает	Не размокает	–
Влажность, %	2,0	–	2,1	1,5	2,2	–
Удельная плотность, г/см ³	–	–	1,46	–	2,35	2,57
Объемная плотность, %	–	–	1,32	–	2,06	2,42
Общая пористость, %	–	–	9,59	–	8,54	5,9
Водопоглощение, %	–	6,9	5,5	14,2	9,8	–

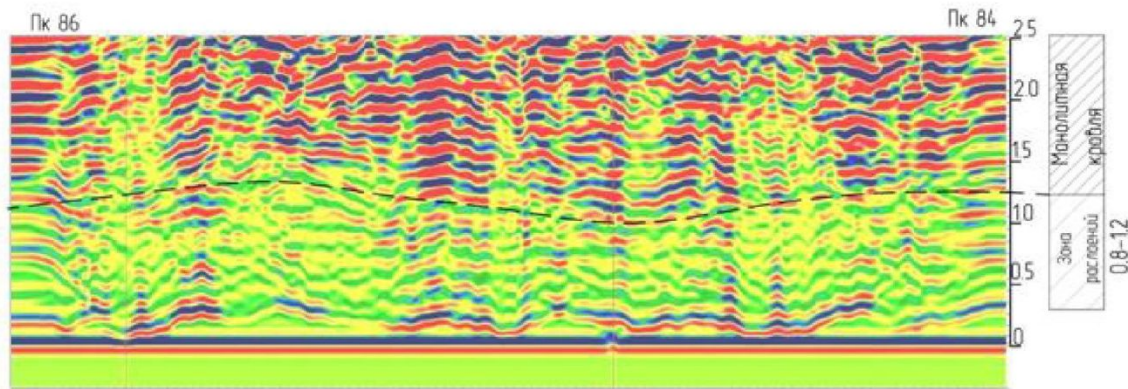


Рис. 5. Радарограмма обследования приконтурных слоёв кровли в конвейерном уклоне 4-9 на участке ПК86-ПК84.
 Fig. 5. The radargram of roofbeds at conveyor incline 4-9 (stake 86-84 area)

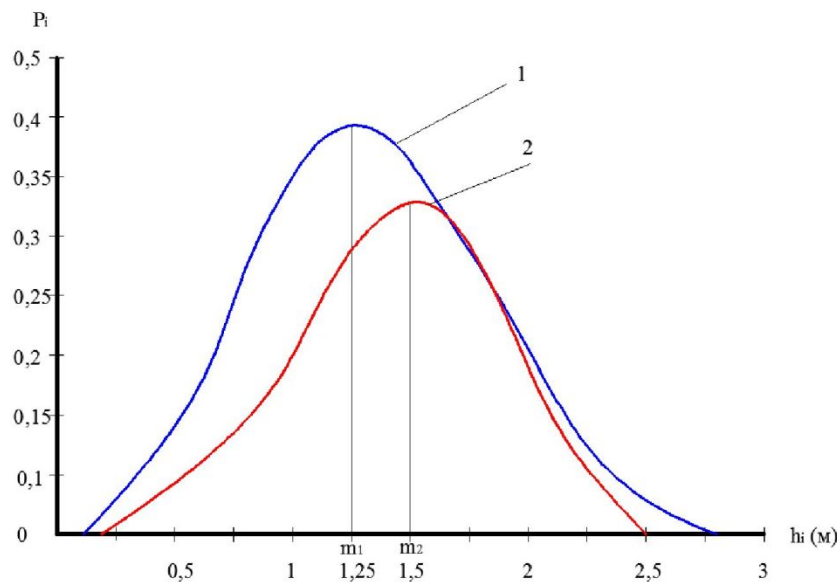


Рис. 6. Распределение вероятности высоты свода разрушения пород кровли в выработках:
 1 – кривая вероятности высоты расслоения пород в кровле выработок, рассчитанная по теоретическим основам свода равновесия; 2 – кривая вероятности высоты расслоения пород в кровле выработок, полученная при помощи радиолокационного обследования

Fig 6. Floor arch height distribution lines:
 1 – drawing by a theoretical evaluation; 2 – drawing by radiolocation survey.

Методика обследования выработок была принята одинаковой. Протяженности обследуемых участков составляла примерно расстояние между двумя пикетами. Расстояние между участками изменялось от 30 м до 100 м в зависимости от состояния выработки и анкерной крепи. На отдельных участках делались прямые ходы и обратные с целью уточнения состояния пород в кровле. Построение радарограмм производилось для каждого обследуемого участка. Результаты оценки радарограмм сравнивались с горно-геологическими данными по обследуемым участкам и результатами визуальной оценки выработок и анкерной крепи.

Наиболее полно радиолокационным методом было произведено обследование выработок пласта

9 в блоке № 4 [6]. Результаты обследования конвейерного уклона 4-9, находящегося в зоне затопления, приводятся ниже.

Исследования состояния приконтурных слоёв кровли показали, что породы кровли пластов ОАО «Распадская» склонны к водонасыщению. 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. На увлажненных участках редко отмечается трещиноватость пород, увлажнение сопровождается декомпрессионным расширением пород в связи с их разуплот-

нением, происходит закрытие систем трещин. Массив становится более монолитным. Но, в то же время, снижается сопротивление пород сжатию, растяжению, снижаются упругие свойства, а так же сцепление и угол внутреннего трения пород [7, 12, 15]. Естественная трещиноватость оказывает значительное влияние на водонасыщение пород. С повышением трещиноватости и влагонасыщения пород возрастают. Существенное влияние оказывают проницаемость пород, характеризуется коэффициентом проницаемости или коэффициентом фильтрации. Физико-механические свойства пород и углей приведены в табл. 2 и 3.

Гидрогеологические свойства углей исследуемых пластов имеют существенное различие, угли отдельных пластов относятся к категории гидрофобных (пласты 9, 7-7а).

При обследовании конвейерного уклона 4-9 (рис. 5) увлажнение пород отмечалось по длине уклона на высоте от 1 м до 2,5 м. Зона расслоения кровли 0,8÷1,2 м, относительно равномерная по толщине. Прослеживаются признаки разупрочнения вышележащих пород. Наблюдаются признаки обводненности [6]. Установлено, что высота увлажнения зависит от сформировавшегося на период обследования свода устойчивости пород. Средняя высота увлажнения пород составляет 1,25÷1,5 м. При затоплении выработок влагонасыщение пород в кровле происходит, в основном, в пределах высоты сформировавшегося свода обрушения в кровле выработок.

Проведенными обследованиями подготовительных и капитальных выработок по пластам 10,

9, 7-7а, 3-3а установлено, что расслоение пород и высота свода обрушения пород, рассчитанные по теоретическим основам свода естественного равновесия и, полученные при помощи радиолокационного обследования, имеют близкую сходимость (рис. 6), что подтверждает корректность инструментального обследования.

Высота расслоения пород в кровле выработок изменяется от 0,2 м до 2,5 м, (кривая 2), рассчитанная высота свода обрушения в выработках изменяется от 0,15 м до 2,8 м (кривая 1 на рис. 6).

Подтверждено, что с помощью радиолокационного зондирования и построения радиогранных выявляются в приконтурных слоях кровли участки разуплотнения и расслоения пород, высота разуплотнения и отслоения пород, участки с повышенной трещиноватостью, раскрытые трещины и пустоты, их положение, участки с повышенной влагонасыщенностью пород.

Полученные результаты показывают, что наблюдается интенсивное снижение прочностных свойств горных пород под влиянием влагонасыщения. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании паспортов крепления выработок, проводимых в водонасыщенных породных массивах, а также при разработке дополнений к паспортам крепления для участков выработок, находящихся в зоне интенсивного капежа. Особое внимание изменениям прочностных свойств пород следует уделять при восстановлении и перекрепке выработок, находящихся в зоне затопления и их последующего осушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика обследования и оценки состояния подготовительных выработок, закреплённых анкерной крепью и работоспособности анкерной крепи по истечении 5 лет эксплуатации выработок, Прокопьевск, КузГТУ, 2007, – 11 с.
2. Инструкция по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах, (Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014, № 31354).
3. Инструкция по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. С-Петербург, ВНИИ, 2000. – 70 с.
4. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар "ОКО-2"). Техническое описание, Инструкция по эксплуатации, г. Раменское, Московская область, 2009. – 93 с.
5. Методические рекомендации по расчёту параметров сталеполимерных (сталеминеральных) анкеров для подвески монорельсовых дорог в выработках, закреплённых анкерной крепью. КузГТУ. – Кемерово, 2008. – 31 с.
6. Отчет по научно-исследовательской работе «Провести обследование состояния приконтурных слоев пород в горных выработках пласта 9, блок 4, закреплённых анкерной крепью в условиях ОАО «Распадская» радиолокационным методом с помощью Георадара ОКО-2». КузГТУ. – Прокопьевск, 2014. – 29 с.
7. Н. А. Кутепова, Ю. И. Кутепов. Изучение закономерностей развития гидрогеомеханических процессов с целью прогноза деформаций земной поверхности при затоплении угольных шахт. МГГУ, Москва, Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. С.142–154.
8. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 (ред. от 08.08.2017) "Об утверждении Федеральных

норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах".

9. Esterhuizen G.S., Tulu I. B. Analysis of alternatives for using cable bolts as primary support at two low-seam coal mines. / Conference Record - International Journal Of Mining Science And Technology 2016. С. 23–30

10. Abramovich A., Pudov E., Kuzin E. Prerequisites for the establishment of the automated monitoring system and accounting of the displacement of the roof of underground mines for the improvement of safety of mining work. / The Second International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment). Kemerovo, Russian Federation, November 20 – 22, 2017. – E3C Web of Conferences. – Environment, Energy & Earth Sciences, volume 21. – 2017.

11. Shreedharan S., Kulatilake P.H.S.W. Discontinuum–equivalent continuum analysis of the stability of tunnels in a deep coal mine using the distinct element method. / Rock Mechanics And Rock Engineering. Springer Verlag Wien, 49, 5 (2016). С. 1903–1922.

12. Цибаев С. С., Калинин С. И., Ренев А. А., Зорков Д. В. Оценка влияния затопления горных выработок на состояние приконтурного массива горных пород и элементов анкерной крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 5. – С. 35–43.

13. Зорков Д. В., Ренев А. А., Цибаев С. С. Геомеханическое обоснование въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 4. – С. 12–20.

14. Баскаков В. П. Рекомендации по систематическому визуальному контролю за работой анкерной крепи / В. П. Баскаков, Н. Т. Бедарев, С. Г. Костюк и др. – Прокопьевск, 2013. – 39 с.

15. Физико-технические свойства горных пород и углей / Г. Г. Штумпф, Ю. А. Рыжков, В. А., Шаламанов, А. И. Петров. – М.: Недра, 1994. – 447 с.

REFERENCES

1. Metodika obsledovaniya I ocenki sostojaniya podgotovitel'nyh vyrobotok, zakrepljonnyh ankernoj krep'ju I rabotosposobnosti ankernoj krep'i po istechenii 5 let jekspluatacii vyrobotok (The survey procedure of mine workings conditions supported by bolts and about bolt work conditions after 5 years exploitation), Prokop'evsk, KuzSTU, 2007, 11 p.

2. Instrukcija po raschjotu I primeneniju ankernoj krep'i na ugol'nyhm shahtah, (Zaregistrovano v MinjusteRossii 19.02.2014 №31354) (Technical rules about anchoring calculation and application on coal mines (Recorded by Ministry of Justice of Russia 19.02.2014 №31354))

3. Instrukcija po raschjotu I primeneniju ankernoj krep'i na ugol'nyh shahtah Rossii (Technical rules about anchoring calculation and application on russian coal mines), St. Petersburg, VNIMI, 2000, 70 p.

4. Radiotekhnicheskij pribor podpoverhnostnogo zondirovaniya (Georadar "OKO-2"). Tehnicheskoe opisanie, Instrukcija po jekspluatacii (Technical specifications and instruction manual for radio device for subsurface sounding (Georadar "OKO-2"), Ramenskoe, Moskovskaja oblast', 2009. – 93 p.

5. Metodicheskie rekomendacii po raschjotu parametrov stalepolimernyh (stalemineral'nyh) ankerov dlja podveski monorel'sovyh dorog v vyrobotkah, zakrepljonnyh ankernoj krep'ju (Procedural recommendations for bolts parameters calculation which support a monorail railway in mine workings supported by bolts), KuzSTU. – Kemerovo, 2008. – 31 p.

6. Otchjot po nauchno-issledovatel'skoj rabote "Provesti obsledovanie sostojaniya prikonturnyh slojov porod v gornyh vyrobotkah plasta 9, blok №4, zakrepljonnyh ankernoj krep'ju v uslovijah OAO «Raspadskaja» radiolokacionnym metodom s pomoshh'ju Georadara OKO-2" (Scientific research report "The radio-locating survey of surrounding massif and mining workings state supported by anchoring in conditions of seam № 9 area 4 of Rapsadskaja coal mine by means of georadar OKO-2's), Prokop'evsk, KuzSTU, 2014. – 29 p.

7. N. A. Kutepova, J. I. Kutepov. Izuchenie zakonornostej razvitija gidrogeomechanicheskikh processov s cel'ju prognoza deformacij zemnoj poverhnosti pri zatoplenii ugol'nyh shaht (Research after mechanism of development hydro-geomechanical process for prediction of earth surface deformations in the conditions of coal mines influenced by flooding), Moscow, MGGU, 2012, pp. 142–154.

8. The order of Rostekhnadzor from 19.11.2013 № 550 «About approval of Federal norms and rules in the

field of industrial safety «Regulations for the safe conduct of mining works on deposits prone and dangerous mountain blows».

9. Esterhuizen G.S., Tulu I. B. Analysis of alternatives for using cable bolts as primary support at two low-seam coal mines. / Conference Record - International Journal Of Mining Science And Technology 2016. pp. 23–30.

10. Abramovich A., Pudov E., Kuzin E. Prerequisites for the establishment of the automated monitoring system and accounting of the displacement of the roof of underground mines for the improvement of safety of mining work. / The Second International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment). Kemerovo, Russian Federation, November 20 – 22, 2017. – E3C Web of Conferences. – Environment, Energy & Earth Sciences, volume 21. – 2017.

11. Shreedharan S., Kulatilake P.H.S.W. Discontinuum–equivalent continuum analysis of the stability of tunnels in a deep coal mine using the distinct element method. / Rock Mechanics And Rock Engineering. Springer Verlag Wien, 49, 5 (2016). pp. 1903–1922.

12. Tsibaev S.S., Kalinin S.I., RENEV A.A., Zorkov D.V. Evaluation of the effect of flood on surrounding massif and bolting state. Mining Informational and Analytical Bulletin, Series Mining Engineer-Manager's Library, 2015, issue 5, pp. 35 – 43.

13. Zorkov D.V., RENEV A.A., Tsibaev S.S. The geomechanical research of longwall entry into pre-driven recovery room. Mining Informational and Analytical Bulletin, Series Mining Engineer-Manager's Library, 2015, issue 4, pp. 12 – 20.

14. Baskakov V. P. Rekomendacii po sistematicheskomu vizual'nomu kontrolju za rabotoj ankernoj krepj (The bolts control visual methodical recommendation). Prokopevsk, 2013. 39p.

15. Shtumpf, J. A. Ryzhkov, V. A., Shalamanov, A. I. Petrov. Fiziko-tehnicheskie svojstva gornyh porod i uglej (The physical and technical properties of bed rocks and coals), Moscow, Nedra, 1994, 447 p.

Поступило в редакцию 29.01.2018

Received 29.01.2018