ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(2):101-111
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.268.6 (281.742.2) DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

С.С. Цибаев[1], А.А. Ренев[1], А.С. Позолотин[2], С.Н. Мефодьев[3]

[1] Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, Кемерово, e-mail: cibaevss@kuzstu.ru
[2] ООО «Научно-исследовательский центр — институт проектирования горных предприятий «РАНК», Россия, Новосибирск
[3] АО Холдинговая компания «Сибирский деловой союз» филиал АО «Черниговец» шахта «Южная», Россия, Березовский

Аннотация: Произведена оценка сейсмического воздействия массового промышленного взрывания на участках открытых горных работ на состояние выработок и углепородного массива с использованием маркшейдерских методов контроля, визуального и измерительного контроля, видеоэндоскопических исследований. Приведены результаты визуального обследования состояния подземных горных выработок и элементов их крепи, инструментальных исследований смещений и конвергенций углепородного массива, видеоэндоскопических исследований шпуров. На основе анализа скоростей смещений и результатов периодических видеоэндоскопических исследований шпуров в период интенсивного ведения взрывов дано заключение о степени сейсмического воздействия массовых взрывов на устойчивость пород кровли и боков выработок, дан прогноз по сохранению анкерной крепью работоспособного состояния. Установлена зависимость между ожидаемыми смещениями породных прослоев кровли и основными параметрами массовых взрывов на поверхности: кратчайшим расстоянием до точки наблюдения и массой ВВ в блоке. На основе результатов исследований разработаны рекомендации по сохранению подземных горных выработок в безопасном эксплуатационном состоянии при воздействии сейсмического влияния массовых промышленных взрывов на участке открытых горных работ. Рекомендации включают коррекцию параметров крепления выработок и организации ведения горных работ в условиях комбинированной геотехнологии.

Ключевые слова: поддержание выработок, анкерное крепление, сейсмическое воздействие, смещения, конвергенция, массовые взрывы, устойчивость.

Для цитирования: *Цибаев С. С., Ренев А. А., Позолотин А. С., Мефодьев С. Н.* Оценка влияния динамических сейсмических воздействий на устойчивость подземных горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 101–111. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111.

Assessment of seismic impacts on stability of openings in underground mines

S.S. Tsibaev[1], A.A. Renev[1], A.S. Pozolotin[2], S.N. Mefodiev[3]

[1] T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia, e-mail: cibaevss@kuzstu.ru
[2] LTD Scientific Research Center Institute of Mining Enterprises Design «RANK», Russia, Novosibirsk
[3] Chief Engineer, JSC Holding Company «Sibirskiydelovoysouz» Department of JSC «Chernigovetc» Mine «Uznaia», Russia, Berezovskiy

© С.С. Цибаев, А.А. Ренев, А.С. Позолотин, С.Н. Мефодьев. 2020.

Abstract: The seismic load on underground roadways and coal–rock mass due to massive blasting on surface mining sites is assessed using the methods of surveying, visual observations, measurements and videoimage endoscopy. The results of visual inspection of underground roadways and roof support elements, instrumental measurements of displacements and convergence in coal–rock mass as well as videoimage endoscopy of boreholes are described. From the analysis of displacement velocities and periodic videoimage endoscopy data obtained in boreholes during intensive blasting operations, the conclusion is made on the seismic impact generated by massive blasting on the stability of roof and sidewalls of roadways, as well as prediction is given for rockbolting survival. The relationship is established between the expected displacements of dirt beds in roofs and the basic parameters of massive blasts on ground surface: the shortest distance to the observation point and the explosive charge mass in a block. Based on the studies, the recommendations are developed to keep underground roadways in safe operating condition when subjected to seismic impact of massive production blasts carried out on the site of open pit mining. The recommendations include correction of rockbolting design in roadways and management of mining with hybrid geotechnology.

Key words: roadway support, rockbolting, seismic impact, displacements, convergence, massive blasts, stability.

For citation: Tsibaev S. S., Renev A. A., Pozolotin A. S., Mefodiev S. N. Оценка влияния динамических сейсмических воздействий на устойчивость подземных горных выработок. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):101-111. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111.

Введение

В настоящее время ввиду интенсивного процесса сближения границ горных отводов угольных шахт и разрезов Кузбасса одной из наиболее актуальных научно-производственных задач является проблема безопасного поддержания подземных горных выработок, подвергающихся регулярному сейсмическому воздействию на участках открытых горных работ.

Вопросы сохранения подземных горных выработок в зоне сейсмического влияния массовых промышленных взрывов имеют низкую изученность и слабо представлены в научно-технической литературе. Исследования в данной области в большей степени относятся к сохранению выработок при массовой отбойке рудных полезных ископаемых без дифференциации по типу крепления.

Совместная разработка угольных пластов открытым и подземным способами ведет к большим технологическим рискам, организационным трудностям, и в долгосрочной перспективе приводит к деформациям углепородного массива и нарушению работоспособности анкерной крепи. При этом на шахтах России отсутствуют опыт работы специализированных организаций по обеспечению безопасности технологических режимов работ, а также единая отраслевая методика оценки допустимых уровней влияния сейсмических колебаний от взрывных работ на крепление подземных горных выработок.

Длительное безопасное поддержание выработок, закрепленных анкерной крепью, зависит, прежде всего, от своевременного контроля за величинами смещений, развития расслоений и трещиноватости приконтурных слоев кровли, а также за деформациями пород в боках выработок.

Применяемые методы

Оценка сейсмического воздействия на состояние выработок и углепородного массива проводилась с использованием маркшейдерских методов контроля, визуального и измерительного контроля,

видеоэндоскопических исследований, геофизических методов с использованием сейсморазведочных станций и регистраторов вибраций.

Наблюдения за состоянием углепородного массива в условиях динамических сейсмических нагрузок производились в условиях шахт «Талдинская-Западная-2» АО «СУЭК-Кузбасс» «Южная» АО ХК «СДС».

Для наблюдения за характером смещений углепородного массива используем маркшейдерские методы контроля, а именно: методы парных и глубинных реперов [1]. Достоинством метода является то, что он позволяет изучать деформации и перемещения участков массива горных пород в глубине, на достаточном удалении от обнажения, т.е. вне зоны влияния горных выработок, из которых пробурены скважины. С помощью глубинных реперов можно наблюдать как деформации растяжения, так и сжатия. Визуальный контроль ведется по наблюдениям за относительными смещениями базового и контрольного индикаторов, контрольного и контурного индикаторов.

Метод парных реперов отличается от метода контурных реперов тем, что измерение деформирования массива в одном из направлений производится с помощью только двух реперов. В зависимости от необходимой информации реперы могут устанавливаться в одном боку выработок либо на противоположных. Во втором случае замеряется конвергенция (сближение) боков выработки.

Наблюдательная станция при проведении наблюдений на ш. «Талдинская-Западная-2» оборудовалась в сбойке между конвейерным стволом и вентиляционным стволом в створе с вентиляционным штреком 70—08 (рис. 1).

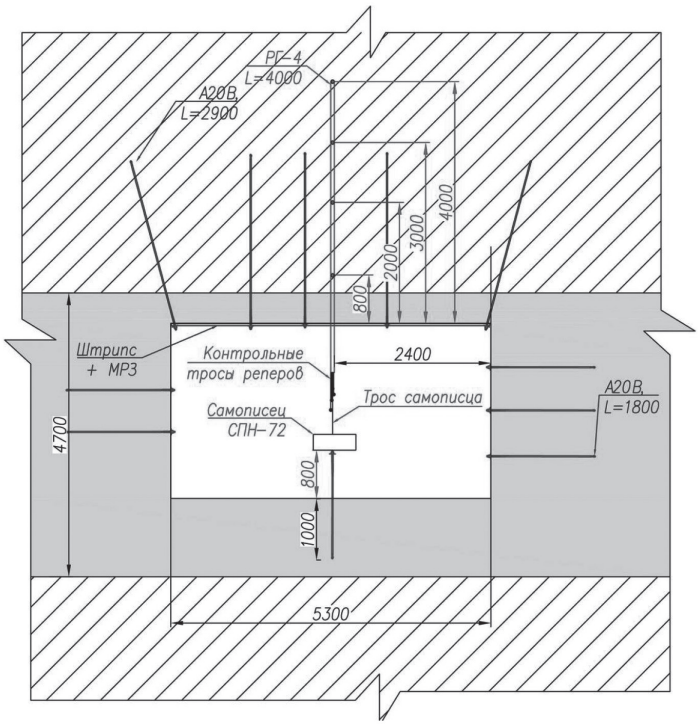

Рис. 1. Схема установки наблюдательной станции на ш. «Талдинская-Западная 2»
Fig. 1. The observation station installation scheme in conditions of Taldinskaya-Zapadnaia 2 mine

Наблюдательные станции при проведении исследований в условиях ш. «Южная» оборудовались в следующих местах:

• конвейерный штрек 10Л (по направлению от м/к 10Л-бис) — маркшейдерская точка 2617 — 9,6 м в сторону м/к 10Л-бис;

• монтажная камера 10Л-бис — маркшейдерская точка 2606 — 12,4 м в сторону к/ш 10Л;

• вентиляционный штрек 10Л — маркшейдерская точка 2517;

• конвейерный штрек 10Л (по направлению от дренажного квершлага пл.

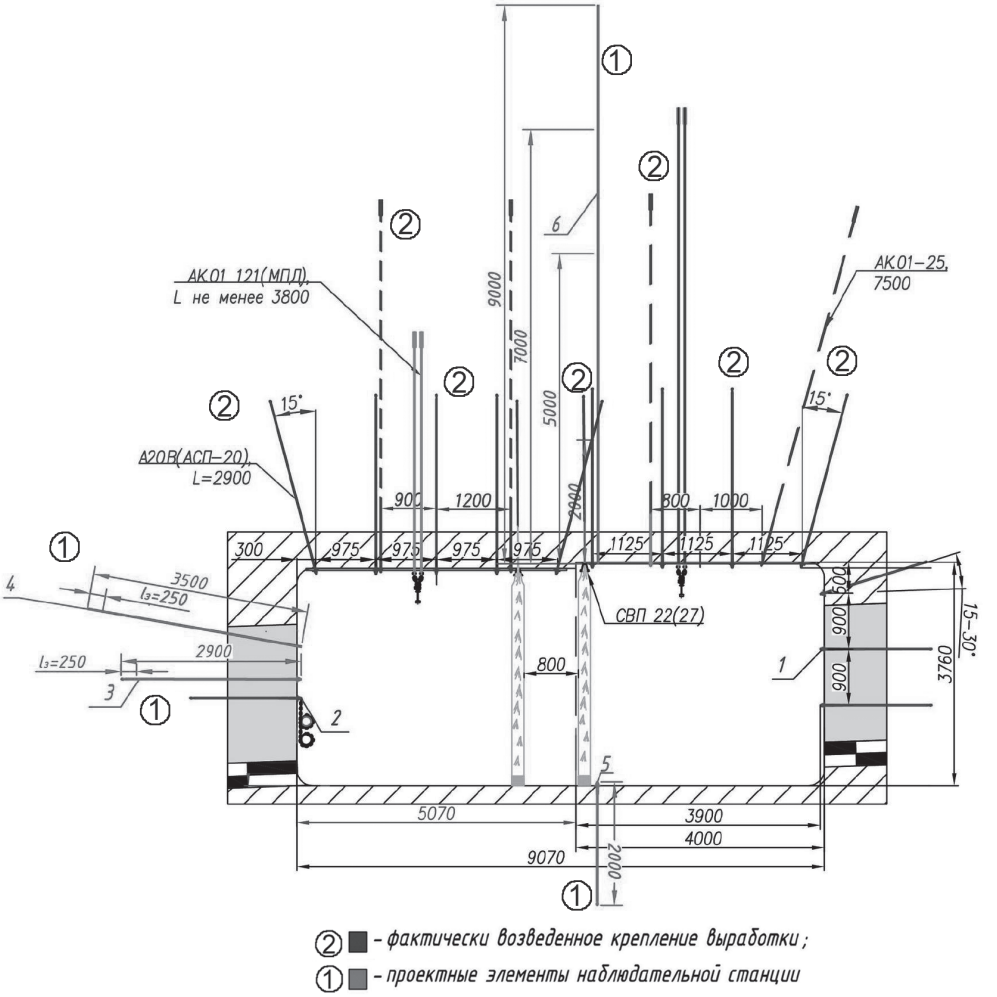

Рис. 2. Схема установки наблюдательной станции в м/к 10-бис ш. «Южная»: 1 — контрольный репер (анкер), установленный при проведении, *l* = 1800 мм; 2 — рабочий репер (анкер) крепления ПОТ нижнего бока выработки, *l* = 1800 мм; 3 — рабочий репер (анкер) крепления нижнего бока выработки, *l* = 2900 мм; 4 — рабочий репер (став буровых штанг) нижнего бока выработки, *l* = 3500 мм; 5 — контрольный репер (анкер) в почве выработки, *l* = 2000 мм; 6 — глубинный репер РГ контроля смещений пород кровли, *l* = 9000 мм

Fig 2. The observation station installation scheme in conditions of support building room Uznaia mine: 1 — control registration mark (wall support bolt), *l* = 1800 mm; 2 — registration mark, *l* = 1800 mm; 3 — registration mark (wall support bolt), *l* = 2900 mm; 4 — кegistration mark, *l* = 3500 mm; 5 — registration mark in working floor *l* = 1800 mm; 6 — deeplyin stalled registration markin working roof), *l* = 9000 mm

Лутугинского) — маркшейдерская точка 2650.

Глубина установки базовой станции — 9,0 м, промежуточных — 7,0; 5,0; 2,0 м соответственно [2]. В устье каждого шпура фиксируется металлическая устьевая трубка для снятия показаний с индикаторов. Контроль конвергенции пород почвы и кровли осуществляется установкой сталеполимерного анкера длиной l = 2,0 м в почву выработки соосно с установкой глубинного репера. При этом торец устьевой трубки в кровле и анкер в почве выступают в роли парных реперов. Для контроля конвергенции боков выработки производится установка сталеполимерных анкеров в один из боков выработки. Предусматривается дополнительная установка анкеров длиной l = = 2,9 м, а также комплекта наборных штанг l = 3,5—4,0 м в бока выработки. При этом возведенное анкерное крепление бока длиной l = 1,8—2,0 м используется как контрольный репер. Параллельно шпуру для установки глубинных реперов предусматривается бурение шпура длиной l = 9,0 м для проведения видеоэндоскопических исследований [3, 4]. Схема расположения наблюдательной станции № 2 в монтажной камере 10Л-бис представлена на рис. 2.

Геофизические наблюдения на дневной поверхности предусматривают определение скорости распространения сейсмических волн в массиве до наклонных стволов, амплитуды колебаний волн при помощи сейсморазведочной станций Лакколит 24-М3. Исследования проводятся по двум сейсмоакустическим профилям по методу общей глубинной точки на продольных и поперечных волнах. Методика сейсмоакустического профилирования основывается на регистрации исходной сейсмической информации по продольным и поперечным волнам с поверхности горного участка [5]. Регистрирующая система позволяет оценить влияние сейсмических волн от взрывов ВВ на область углепородного массива, где располагается горная выработка. Определение скоростей колебания углепородного массива производилось при помощи гираторов вибраций Instantel Mircomate и Instantel MinimatePlus, устанавливаемых непосредственно в горных выработках [6].

Результаты исследований

В результате наблюдения за смещениями приконтурных слоев кровли наклонных стволов ш. «Талдинская-Западная-2», подвергающихся динамическим сейсмическим нагрузкам массовых взрывов разреза «Заречный», установлено, что взрывные работы на участке ОГР вызывают увеличение абсолютных значений смещений и скоростей смещений приконтурных слоев кровли. За период наблюдений (44 дня) смещения контрольных реперов достигли 12 мм, 10,7 мм и 8,75 мм для реперов R1, R2, R3 глубиной заложения 4,0, 3,0 и 2,0 м соответственно (рис. 3). Средняя скорость смещений приконтурных слоев кровли составила 0,23 мм/сут, при максимальном значении 1,25 мм/сут в период производства массовых взрывов [7, 8].

В период наблюдений (25.06.2018 — 31.10.2018 гг.) за реперными станциями в условиях ш. «Южная»:

- было зарегистрировано 24 эпизода производства массовых взрывов на участке ОГР;
- произведено 22 серии замеров смещений углепородного массива в кровле и 13 серии замеров конвергенции боков конвейерного штрека 10Л;
- произведено 17 серии замеров смещений углепородного массива в кровле и конвергенции боков монтажной камеры 10Л-бис;
- произведена 21 серия замеров смещений углепородного массива в кров-

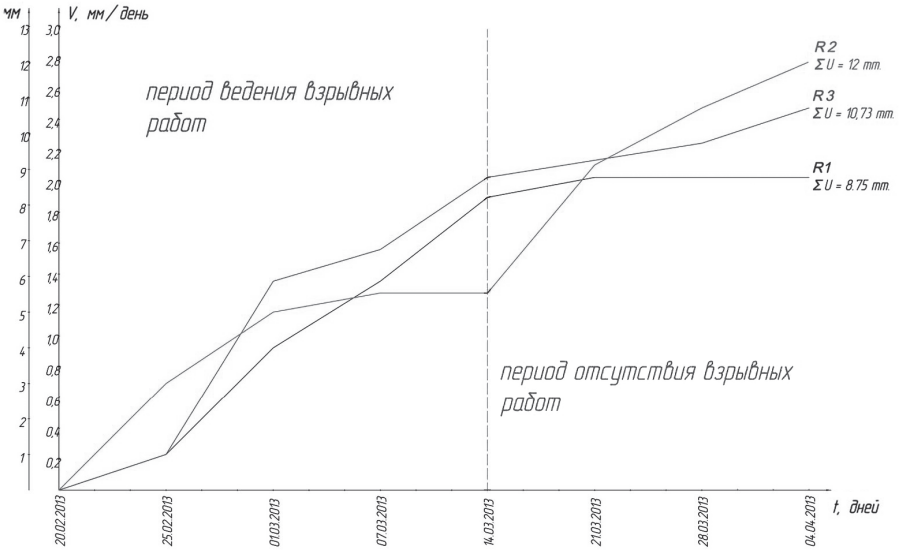

Рис. 3. Совмещенный график смещений и скорости смещения реперов R1, R2, R3 за период с 20.02.2013 г. по 04.04.2013 г. в наблюдательной станции ш. «Талдинская-Западная 2»

Fig. 3.The combined registration marks R1, R2, R3 schedule of displacements and displacements speeds in the cross over for the period from 02.20.2013 to 04.04.2013 scheme in conditions of Taldinskaya-Zapadnaia 2 mine

ле и конвергенции боков вентиляционного штрека 10Л.

Результаты зафиксированных смещений и конвергенции выработок представлены на графиках (рис. 4—7).

За наблюдаемый период средняя скорость V_U смещений пород кровли составила:

• в конвейерном штреке 10Л — 0,13 мм/сут.;

• в монтажной камере 10Л-бис — 0,24 мм/сут.;

• в вентиляционном штреке 10Л — 0,1 мм/сут.

Максимальная скорость смещений пород кровли была зарегистрирована в

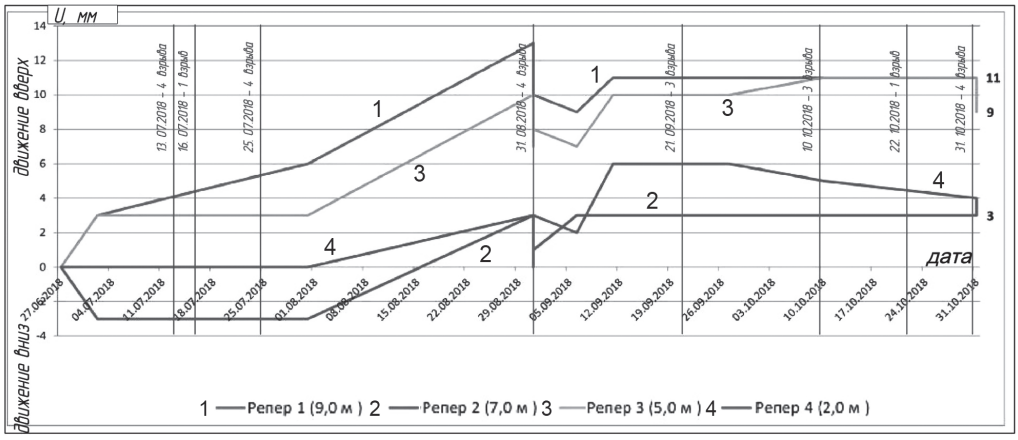

Рис. 4. График смещения глубинных реперов РГ-4 в кровле конвейерного штрека 10Л с привязкой к датам массовых промышленных взрывов

Fig. 4.The combined registration marks schedule of displacements in roof of the main conveyor roadway 10L

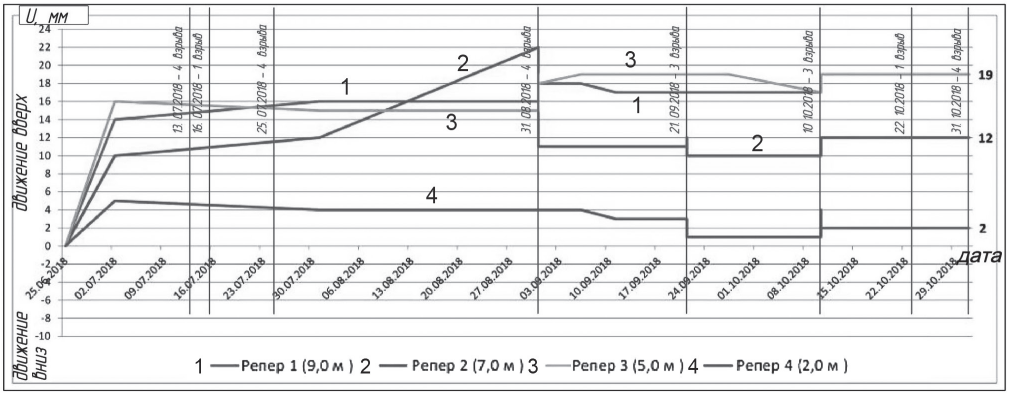

Рис. 5. График смещения глубинных реперов РГ-4 в кровле монтажной камеры 10Л-бис с привязкой к датам массовых промышленных взрывов

Fig. 5. The combined registration marks schedule of displacements in roof of the supportbuildingroom gate 10L-bis

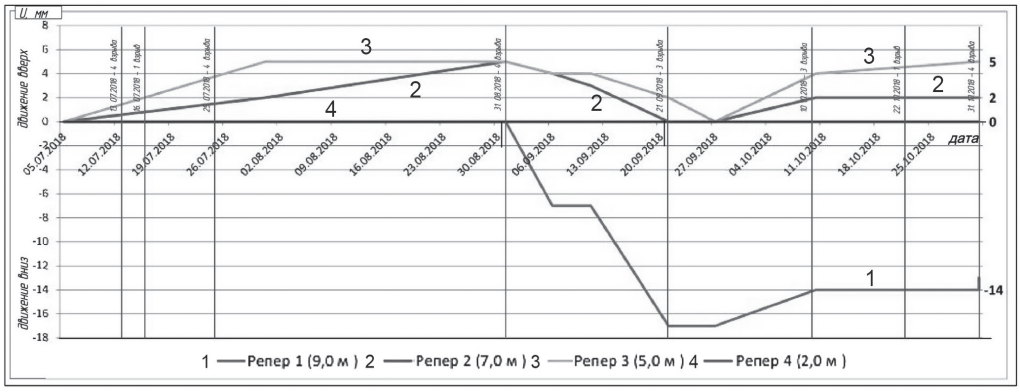

Рис. 6. График смещения глубинных реперов РГ-4 в кровле вентиляционного штрека 10Л с привязкой к датам массовых промышленных взрывов

Fig. 6. The combined registration marks schedule of displacements in roof of the air roadway 10L

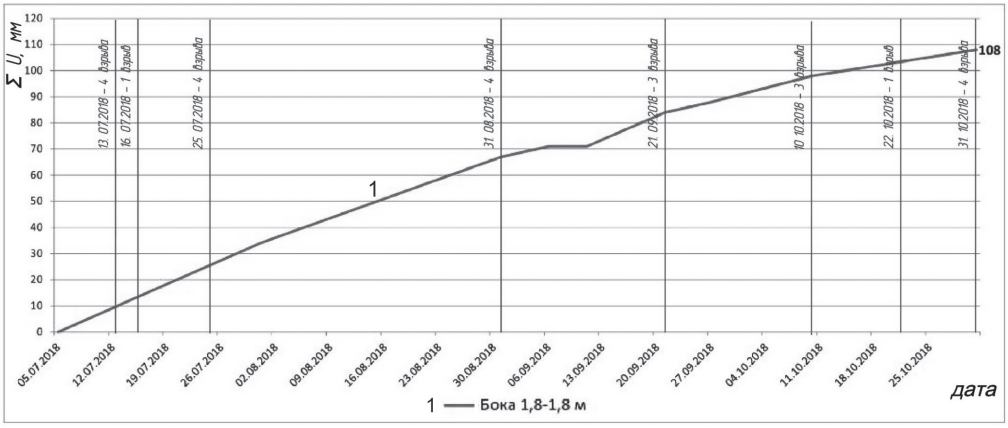

Рис. 7. График смещения парных реперов в боках вентиляционного штрека 10Л с привязкой к датам массовых промышленных взрывов

Fig. 7. The registration markschedule of displacements in wall of the air roadway 10L

период с 31.08.2018 по 11.09.2018 гг. В это время на участке ОГР вблизи поля шахты «Южная» была произведена серия из 3 массовых промышленных взрывов. Максимальные скорости смещений V_U составили:

• в конвейерном штреке 10Л — 0,8 мм/сут;

• в монтажной камере 10Л-бис — 1,0 мм/сут;

• в вентиляционном штреке 10Л — 0,7 мм/сут.

Таким образом, в период с 31.08.2018 по 11.09.2018 гг. наблюдалось интенсивное увеличение скорости смещений пород кровли в местах заложения наблюдательных станций, вызванное сейсмическим воздействием массовых взрывов.

Результаты видеоэндоскопического исследования пород кровли конвейерного штрека 10Л показывают, что в наблюдаемый период (31.08.2018 — 10.10.2018 гг.) зарегистрировано 3 новых эпизодах расслоений пород на глубинах: 5,52 м, 1,05 м, 0,33 м.

В результате видеоэндоскопического исследования пород кровли вентиляционного штрека 10Л в наблюдаемый период (14.04.2018 — 21.05.2018 гг.) при повторном обследовании 4 шпуров было выявлено, что трещиноватость массива пород кровли в вентиляционном штреке 10Л увеличилась в 3 раза.

При этом зарегистрировано 2 эпизода сдвига кровли на глубине 0,4 и 0,5 м, перекрывающие сечение исследуемых шпуров.

Анализируя графики смещений глубинных реперов в кровле исследуемых выработок установлено, что деформации приконтурных слоев кровли носят знакопеременный характер с прогрессирующей тенденцией.

На основании 24 эпизодов замеров смещений углепородного массива непосредственно перед и после массовых взрывов, а также анализа их параметров [9—11], установлена зависимость ожидаемых смещений пород кровли (рис. 8):

$$U = 0{,}00089\left(\frac{R}{\sqrt[3]{Q}}\right)^{-2{,}782}, \qquad (1)$$

где U — ожидаемые смещения пород кровли, мм; R — кратчайшее расстояние от границы вызываемого на поверхности блока и подземной наблюдательной станцией, м; Q — масса ВВ в блоке, кг.

Заключение

По результатам наблюдений за смещениями пород кровли на наблюдатель-

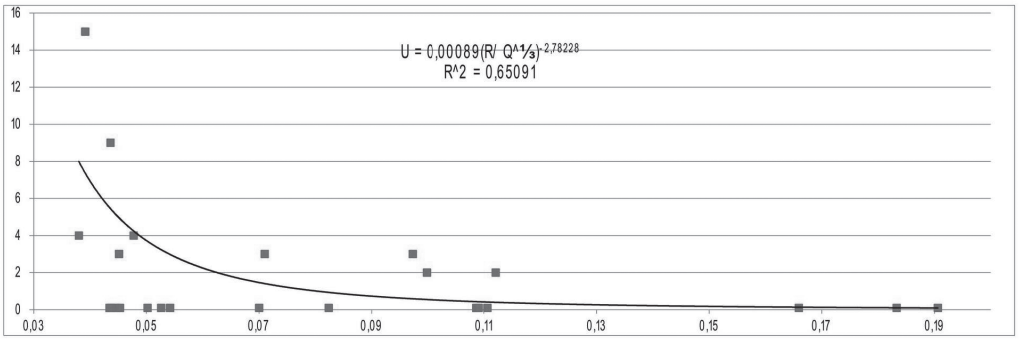

Рис. 8. Зависимость между ожидаемыми смещениями пород кровли и приведенным расстоянием до границы взрываемого блока

Fig. 8. The relation between expected roof displacements and reduced distance to the border of exploited block

ных станциях установлено, что массовые промышленные взрывы на поверхности оказывают влияние на анкерное крепление исследуемых выработок. Это влияние выражается в увеличении абсолютных значений смещений и их скоростей в приконтурных слоях кровли [12, 13]. А также в увеличении трещиноватости и расслоений пород кровли, что подтверждается серией видеоэндоскопических исследований. При длительном воздействии взрывных работ смещения и скорости смещений будут возрастать. Например, при воздействии взрывов в течение 7 месяцев смещения приконтурных слоев кровли превысят 50 мм, что требует оперативного усиления дополнительной крепью с внесением соответствующих изменений в действующий паспорт крепления согласно п. 25 Инструкции [2].

При расчете сопротивления и длины анкерного крепления новых или перекрепляемых горных выработок, ввиду увеличения трещиноватости приконтурных слоев кровли при длительном (более 6 месяцев) сейсмическом воздействии, при определении типов пород кровли по обрушаемости рекомендуется принимать III тип с интенсивной кососекущей трещиноватостью, согласно п. 7 приложения № 2 Инструкции [2].

При проектировании крепления кровли проводимых выработок в зонах размыва и геологических нарушений пласта рекомендуется устанавливать анкерную крепь по двухуровневой схеме в соответствии с пунктом 24 приложения 2 [2], причем крепь второго уровня устанавливать непосредственно в проходческом забое вслед за установкой анкеров первого уровня. При проектировании крепления боков проводимых выработок в зонах размыва пласта рекомендуется увеличивать длину анкеров крепления боков выработки $l_{а.б.}$ на 60—70% с длиной закрепления $l_{з}$ не менее 1000 мм.

При интенсивном давлении боков выработок рекомендуется устанавливать канатные анкеры усиления типа АК02Б (АК02, ВАУ4) длиной $l_{а.б.}$ не менее 4000 мм с последующим инъекционным упрочнением массива полиуретановой или органоминеральной смолой.

Для разработки методических рекомендаций по оценке влияния и проектирования крепления подземных горных выработок, подвергающихся периодическому сейсмическому воздействию, а также научного обоснования сейсмобезопасных параметров массовых взрывов в условиях комбинированной открыто-подземной разработки угольного месторождения требуется продолжение исследований с вариативностью ключевых горно-геологических и горно-технических факторов по трассе заложения выработок и ее положения относительно разрабатываемых ОГР блоков [14], включая: срок службы выработки; срок сейсмического воздействия на выработку; литологический состав вмещающего массива горных пород; акустические свойства (скорости распространения продольных V_P и поперечных V_S сейсмических волн) вмещающего массива; кратчайшее расстояние до взрываемого блока ОГР; массу ВВ в блоке, серии на участке ОГР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борщ-Компониец В. И.* Практическая механика горных пород. — М.: Изд-во «Горная книга», 2013. — 322 с.

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

3. *Методика* проведения обследования состояния горных выработок, поддерживаемых анкерной крепью 5 лет и более, с оценкой несущей способности анкеров, коррозионного износа и работоспособности анкерной крепи. — Кемерово: ООО «РАНК-2», 2012. — 17 с.

4. *Менжулин М. Г., Коршунов Г. И., Афанасьев П. И., Щипачев А. С.* Влияние взрывных работ разреза «Заречный» на капитальные горные выработки шахты «Талдинская-Западная-2» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S7. — С. 591—596.

5. *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. 2016, vol. 49, no 5. pp. 1903—1922. DOI: 10.1007/s00603-015-0885-9.

6. *Renev A., Tsibaev S., Kalinin S.* The evaluation of negative anthropogenic factors subjection on bolts stability and surrounding massif deformations / Proceedings of the 9th China-Russia Symposium «Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection» (COAL 2018), Advances in Engineering Research, 2018, vol. 176, pp. 361—366. DOI: 10.2991/coal-18.2018.67

7. *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. — 2015. — № 5. — С. 35—43.

8. *Зорков Д. В., Ренев А. А., Цибаев С. С.* Геомеханическое обоснование въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 4. — С. 12—20.

9. *Андрейко С. С., Мальцев В. М., Аникин В. В.* Оценка воздействия взрывных работ на породы водозащитной толщи в районе околоствольного двора рудника гремячинского горно-обогатительного комбината // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2015. — Т. 14. — № 17. — С. 81—88.

10. *Трубецкой К. Н., Захаров В. Н., Викторов С. Д. и др.* Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр // Проблемы недропользования. — 2014. — № 3. — С. 80—95.

11. *Фадеев А. Б.* Дробящее и сейсмическое действие взрывов на карьерах. — М.: Недра, 1972. — 136 с.

12. *Kumar R., Choudhury D., Bhargava K.* Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks us-ing mechanical and geological properties // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016, vol. 8, no 3, pp. 341—349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009.

13. *Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C., Tao M.* Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018, vol. 101, pp. 63—68. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2017.11.016.

14. *Li J. C., Li N. N., Chai S. B., Li H. B.* Analytical study of ground motion caused by seismic wave propagation across faulted rock masses // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2017, vol. 42, no 1, pp. 95—109. DOI: 10.1002/nag.2716. ГИАБ

REFERENCES

1. Borshch-Komponiets V. I. *Prakticheskaya mekhanika gornykh porod* [Practical rock mechanics], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2013, 322 p.

2. *Instruktsiya po raschetu i primeneniyu ankernoj krepi na ugol'nykh shakhtakh*, Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 19.02.2014, no 31354 [Technical rules about ancoring calculation and application on coal mines. Recorded by Ministry of Justice of Russia 19.02.2014, no 31354].

3. *Metodika provedeniya obsledovaniya sostoyaniya gornykh vyrabotok, podderzhivaemykh ankernoy krep'yu 5 let i bolee, s otsenkoy nesushchey sposobnosti ankerov, korrozionnogo iznosa i rabotosposobnosti ankernoy krepi* [Method of conducting a survey of the state of mine workings supported by anchor support for 5 years or more, with an assessment of the bearing capacity of anchors, corrosion wear and performance of anchor support], Kemerovo, OOO «RANK-2», 2012, 17 p.

4. Menzhulin M. G., Korshunov G. I., Afanas'ev P. I., Shchipachev A. S. Influence blasting works opencast colliery «Zarechny» for underground permanent workings mine «Taldinskaya-Zapadnaya-2». *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S7, pp. 591—596. [In Russ].

5. 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*. 2016, vol. 49, no 5. pp. 1903—1922. DOI: 10.1007/s00603-015-0885-9.

6. Renev A., Tsibaev S., Kalinin S. The evaluation of negative anthropogenic factors subjection on bolts stability and surrounding massif deformations. *Proceedings of the 9th China-Russia Symposium «Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection»*

(COAL 2018), Advances in Engineering Research, 2018, vol. 176, pp. 361—366. DOI: 10.2991/coal-18.2018.67

7. Tsibaev S.S., Kalinin S.I., Renev A.A., Zorkov D.V. Evaluation of the effect of flood on surrounding massif and bolting state. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 35—43. [In Russ].

8. Zorkov D.V., Renev A.A., Tsibaev S.S. The geomechanical research of longwall entry into predriven recovery room. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 4, pp. 12—20. [In Russ].

9. Andreyko S.S., Mal'tsev V.M., Anikin V.V. Evaluation of explosion influence on the waterproof rocks in shaft bottom area of gremiachinsk mining and processing plant. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*. 2015, vol. 14, no 17, pp. 81—88. [In Russ].

10. Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Viktorov S.D. Explosive destruction of rocks in the mineral resource exploitation. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014, no 3, pp. 80—95. [In Russ].

11. Fadeev A.B. *Drobyashchee i seysmicheskoe deystvie vzryvov na kar'erakh* [Crushing and seismic action of explosions in open-pit mining], Moscow, Nedra, 1972, 136 p.

12. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks us-ing mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016, vol. 8, no 3, pp. 341—349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009.

13. Gui Y.L., Zhao Z.Y., Jayasinghe L.B., Zhou H.Y., Goh A.T.C., Tao M. Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, vol. 101, pp. 63—68. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2017.11.016.

14. Li J.C., Li N.N., Chai S.B., Li H.B. Analytical study of ground motion caused by seismic wave propagation across faulted rock masses. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2017, vol. 42, no 1, pp. 95—109. DOI: 10.1002/nag.2716.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цибаев Сергей Сергеевич[1] — старший преподаватель,
e-mail: cibaevss@kuzstu.ru,
Ренев Алексей Агафангелович[1] — д-р техн. наук, зав. кафедрой,
Позолотин Александр Сергеевич — канд. техн. наук, директор,
ООО «Научно-исследовательский центр — институт проектирования
горных предприятий «РАНК»,
Мефодьев Сергей Николаевич — главный инженер,
АО Холдинговая компания «Сибирский деловой союз»
филиал АО «Черниговец» шахта «Южная»,
[1] Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.
Для контактов: Цибаев С.С., e-mail: cibaevss@kuzstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.S. Tsibaev[1], Senior Lecturer, e-mail: cibaevss@kuzstu.ru,
A.A. Renev[1], Dr. Sci. (Eng.), Head of Chair,
A.S. Pozolotin, Cand. Sci. (Eng.), Director,
LTD Scientific Research Center Institute of Mining Enterprises Design «RANK»,
Russia, 630090, Novosibirsk,
S.N. Mefodiev, Chief Engineer,
JSC Holding Company «Sibirskiydelovoysouz»
Department of JSC «Chernigovetc» Mine «Uznaia»,
Russia, 652430, Berezovskiy,
[1] T. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Kemerovo, Russia.
Corresponding author: S.S. Tsibaev, e-mail: cibaevss@kuzstu.ru.

Получена редакцией 25.02.2019; получена после рецензии 07.10.2019; принята к печати 20.01.2020.
Received by the editors 25.02.2019; received after the review 07.10.2019; accepted for printing 20.01.2020.