



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КРЕПЬ ПРИ ПРОХОДКЕ  
КОЛЬЦЕВОГО ШТРЕКА В УСЛОВИЯХ САФЬЯНОВСКОГО ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА**

**Д. Ю. Князев, В. А. Кутуев**

*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: slavik1988@mail.ru,  
ул. Мамина-Сибиряка 58, г. Екатеринбург 620075, Россия*

Представлены результаты исследования влияния статических и динамических напряжений на крепь при проходке кольцевого штрека Сафьяновского подземного рудника. Разработана методика измерений, позволяющая регистрировать скорость смещения массива в нескольких точках с использованием трехкомпонентных сейсмоприемников GS-20DX, соединенных с регистрирующим компьютером посредством сейсмодоски. Проведена оценка типа крепи кольцевого штрека на соответствие действующим нагрузкам с учетом влияния сейсмического воздействия взрыва при его проходке.

*Статические и динамические напряжения, взрывные работы, кольцевой штрек, приконтурный массив, сейсмические колебания, устойчивость выработки, параметры крепления, набрызг-бетонная крепь*

**INVESTIGATION INTO THE EFFECT OF BLASTING OPERATIONS ON SUPPORT  
WHEN SINKING A RING DRIFT IN CONDITIONS  
OF THE SAFYANOVSKY UNDERGROUND MINE**

**D. Yu. Knyazev and V. A. Kutuev**

*Institute of Mining, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, E-mail: slavik1988@mail.ru,  
ul. Mamina-Sibiryaka, 58, Ekaterinburg, Sverdlovsk Region 620075, Russia*

The results of investigation into the effect of static and dynamic stresses on support when sinking the ring drift in the Safyanovsky underground mine are presented. A measurement technique is developed that allows recording the velocity of rock mass displacement at several points using three-component GS-20DX geophones connected to the recording computer by means of seismic streamers. An assessment of the support type of a ring drift is made for compliance with the effective loads, taking into account the influence of blast seismic effect during sinking the drift.

*Static and dynamic stresses, blasting operations, ring drift, boundary rock mass, seismic vibrations, stability of mine workings, support parameters, spray-concrete support*

В условиях Сафьяновского подземного рудника осуществлены исследования статических напряжений на крепь выработки и динамического воздействия взрывных работ при проведении кольцевого штрека. В связи с этим выполнены промышленные испытания и разработана методика измерений, при помощи которой проводилась регистрация скорости смещения массива в нескольких точках с использованием сейсмодоски и трехкомпонентных сейсмоприемников GS-20DX, подсоединенных к регистрирующему компьютеру.

**Методика исследований.** При проходке любой горизонтальной выработки или камеры в скальном блочном горном массиве вокруг нее образуется зона разрушения, размер которой зависит от фактического напряженного состояния и структуры горного массива. На размер зоны

разрушения пород вокруг незакрепленных выработок оказывают влияние структурные свойства массива горных пород, т. е. фактическая трещиноватость, напряженное состояние массива горных пород, размеры выработки и величина сцепления по плоскостям ослабления. Величина сцепления по плоскости ослабления в скальном блочном массиве горных пород во всех расчетах принята равной нулю.

На основании математического моделирования установлено, что изменение угла наклона трещин не влияет на размер зоны разрушения [1]. Угол наклона лишь обуславливает форму и характер развития зоны разрушения пород вокруг выработки. Действие соотношения горизонтального и вертикального напряжений  $\sigma_r / \sigma_b$  на выработку исследовалось на модели при различных размерах горной выработки и постоянной интенсивности трещиноватости, т. е. размер зоны разрушения пород в кровле выработки определялся в зависимости от размера выработки, интенсивности трещиноватости, блочности массива и соотношения напряженного состояния горного массива  $\sigma_r / \sigma_b$ . Математическая обработка указанных данных позволила получить эмпирическую зависимость для расчета размера зоны разрушения в кровле выработки по оси поперечного сечения

$$h_3 = 0.1 + 0.22R + 0.06j_T + 0.15(\sigma_r / \sigma_b) \text{ м,}$$

где  $h_3$  — размер зоны разрушения пород в кровле выработки по оси поперечного сечения, м;  $R$  — половина ширины выработки, м;  $j_T$  — интенсивность трещиноватости в плоскости забоя выработки, трещин/м.

Вид крепи для поддержания кольцевого штрека Сафьяновского рудника на гор. –40 м находим по статической нагрузке:  $h_3 = 0.1 + 0.22 \cdot 2.5 + 0.06 \cdot 2 + 0.15 \cdot 1 = 0.92$  м. Следует отметить, что для данного рудника напряженное состояние массива пород не определено, поэтому в расчетах отношение  $\sigma_r / \sigma_b$  принималось равным 1. Согласно [2, 3] и инструкции по креплению горизонтальных выработок Сафьяновского подземного рудника [4] такому размеру зоны разрушения соответствует набрызг-бетонная крепь толщиной не менее  $\delta = 0.06$  м.

В качестве критерия для устойчивого состояния горизонтальных горных выработок при динамическом воздействии от производства взрывных работ принята скорость смещения массива, возникающая при распространении сейсмической волны [5–10]. В Институте горного дела УрО РАН разработана методика регистрации скорости смещения массива (в закрепленной части — скорость смещения крепи) в нескольких точках. Методика включает в себя изучение гидрогеологической и технической документации; определение пунктов (точек) регистрации и безопасного места расположения компьютера (регистратора); установку трехкомпонентных сейсмоприемников GS-20DX в выбранных точках; установку соединения сейсмокоды (с датчиками GS-20DX) с компьютером, регистрацию взрыва в автоматическом режиме; обработку цифровых записей при помощи специального программного обеспечения; а также определение максимального значения скорости смещения в точке регистрации по формуле

$$U = A / (K \cdot 100) \cdot 10^{-3} \text{ м/с,}$$

где  $A$  — максимальная амплитуда отклонения;  $K$  — коэффициент преобразования; определение векторного значения максимальной результирующей (суммарной) скорости смещения по трем составляющим

$$U_{\text{сум}} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \text{ м/с;}$$

где  $U_x, U_y, U_z$  — максимальные скорости смещения по продольной, поперечной и вертикальной составляющим; сравнение измеренных значений скоростей с допустимыми для конкретного типа сооружения.

**Результаты исследования.** Для изучения динамического воздействия массовых взрывов при проходке горизонтальной горной выработки (штрек) выбраны пять пунктов (точек) регистрации на разной удаленности от эпицентра взрыва. На стенке выработки, согласно выбранным точкам, размещались сейсмоприемники № 1 и № 3 на набрызг-бетонной крепи толщиной 0.05–0.08 м, а сейсмоприемники № 2, № 4 и № 5 закреплялись на монолитной бетонной крепи толщиной 0.20–0.25 м на расстоянии от забоя 75, 140, 130, 150 и 160 м соответственно.

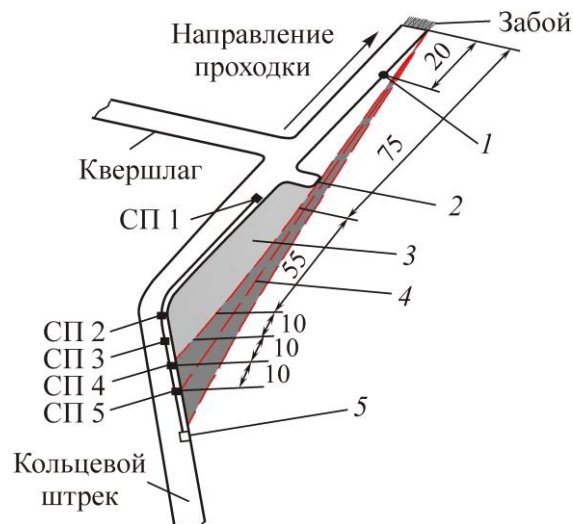


Рис. 1. Схема размещения сейсмоприемников (СП) в выработке: 1 — сейсмическое расстояние, рассчитанное по методике [2]; 2 — камера разворота автопоезда; 3 — зона, оставшаяся в “тени” выработок от воздействия взрыва; 4 — зона прямого распространения сейсмической волны в направлении к СП 5; 5 — регистрирующий компьютер

При проведении взрывных работ расход ВВ составил  $Q = 152$  кг с максимальным количеством ВВ в ступени замедления 20.8 кг. В таблице представлены результаты инструментальных замеров сейсмического воздействия взрыва на крепь, на рис. 2 — схема расположения шпуров.

Результаты инструментальных замеров в рамках промышленного эксперимента

Номер сейсмоприемника	Расстояние от забоя до сейсмоприемника, м	Максимальная скорость смещения, м/с			Суммарная скорость смещения $U_{\text{сум}}$ , м/с
		$U_x$	$U_y$	$U_z$	
1	75	0.0067	0.0058	0.0034	0.0086
2	130	0.0025	0.0041	0.0023	0.0050
3	140	0.0031	0.0022	0.0020	0.0041
4	150	0.0058	0.0041	0.0035	0.0079
5	160	0.0370	0.0152	0.0146	0.0426

В результате промышленного эксперимента установлено, что при удалении от эпицентра взрыва скорость колебаний снижается от  $U = 0.0086$  м/с (№ 1) до  $U = 0.0050$  м/с (№ 2) и в точке № 3 доходит до значения  $U = 0.0041$  м/с, что вполне закономерно. Но значение скорости смещения в точке № 5, равное  $U = 0.0426$  м/с, превышает в несколько раз значения скоростей в точках № 1, № 2 и № 3, размещенных ближе к взрываемому забою. Данный факт свидетельствует о том, что сейсмоприемник № 5 располагается в зоне прямого действия сейсмической волны, в то время как первые три точки находятся в так называемой “тени”, т. е. за камерой разворота автопоезда, которая оказывается на пути сейсмической волны. Увеличение скорости смещения до значения  $U = 0.0079$  м/с в точке регистрации № 4 по отношению к аналогичному параметру в точке № 2 и № 3 можно объяснить возмущениями от прямого распространения сейсмических колебаний к точке № 5.

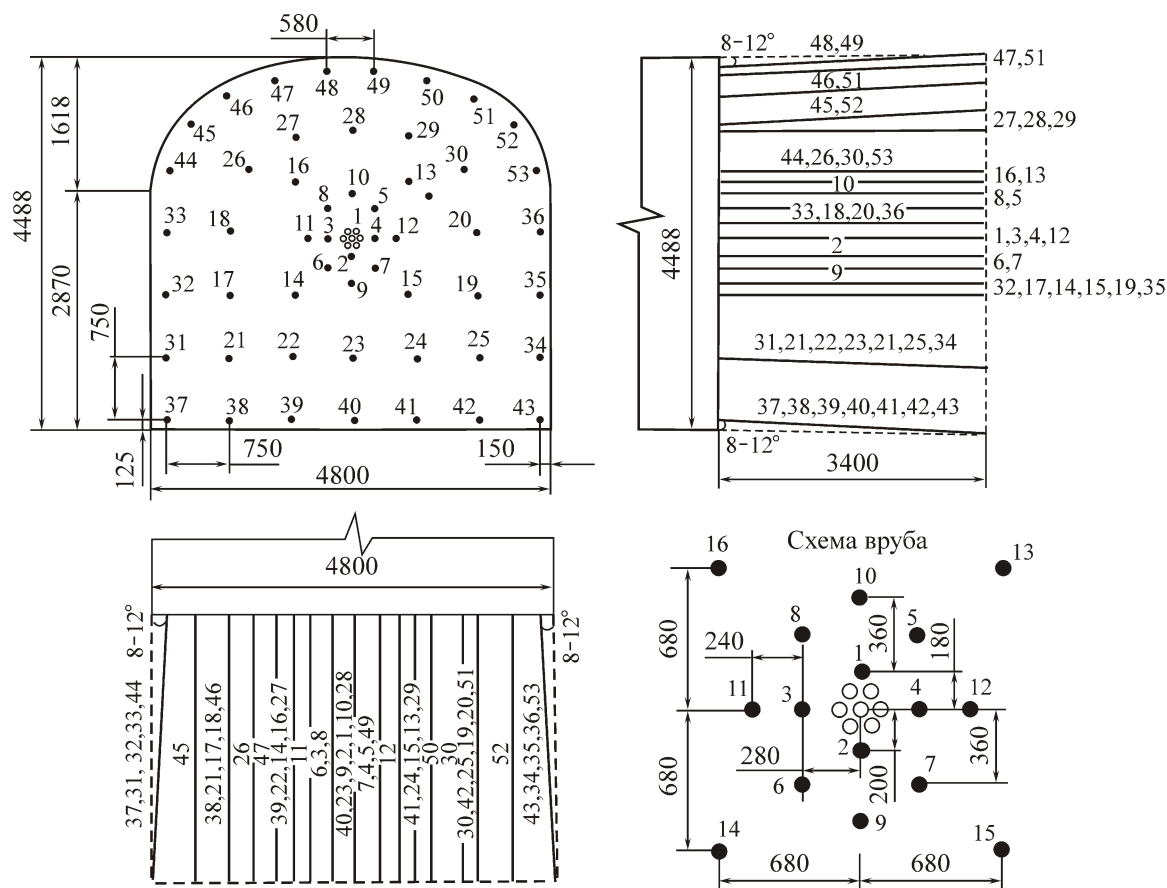


Рис. 2. Схема расположения шпуров

Для квершлага и штрека допустимое значение скорости смещения массива горных пород согласно [2, 11] составляет  $U_{\text{доп}} = 0.12$  м/с при многократном взрывном воздействии.

## ВЫВОДЫ

Для условий рудника ОАО “Сафьяновская медь” установлено, что сейсмическое воздействие взрывных работ при проходке кольцевого штрека составляет  $U = 0.0426$  м/с, т. е. меньше допустимого значения ( $U = 0.12$  м/с) в 2.8 раза. Это означает, что производство взрывных работ при строительстве подземного рудника в соответствующем объеме ВВ и представленной технологии отбойки руды не оказывает негативного воздействия на крепь, а следовательно, не влечет капитальных затрат на ремонт горных выработок. Таким образом вид крепи кольцевого штрека Сафьяновского подземного рудника проверен на соответствие действующим нагрузкам с учетом влияния сейсмического воздействия взрыва при проходке выработки.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории технологий снижения риска катастроф при недропользовании ИГД УрО РАН за помощь в проведении экспериментальной части исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bolikov V. E. and Konstantinova S. A. Forecasting and ensuring the stability of capital mining operations, Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003. (in Russian) [Боликов В. Е., Константинова С. А. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 344 с.]
2. Kartuzov M. I. and Pazdnikov N. V. Methods of providing seismic technology of blasting. Sverdlovsk, Mining Institute MCHM USSR, 1984. (in Russian) [Картузов М. И., Паздников Н. В. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1984. — 12 с.]

3. **Pazdnikov N. V. and Kartuzov M. I.** Seismic safety of fixed mine workings during explosions in mines, *Explosive technology*, no. 85/42, Moscow, Nedra, 1983, pp. 219–228. [**Паздников Н. В., Каргузов М. И.** Сейсмобезопасность закрепленных горных выработок при взрывах в шахтах // Взрывное дело. — № 85/42. — М.: Недра, 1983. — С. 219–228.]
4. **Instructions** for fixing and maintaining capital, preparatory, rifling and exploration workings of the Safyanovsky underground mine, Ekaterinburg, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012. (in Russian) [**Инструкция** по креплению и поддержанию капитальных, подготовительных, нарезных и разведочных выработок Сафьяновского подземного рудника. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. — 91 с.]
5. **Knyazev D. Yu. and Zharikov S. N.** Studying the seismic effect of explosions in underground mine workings, *Explosive technology*, 2014, no. 112/69, pp. 251–261. [**Князев Д. Ю., Жариков С. Н.** Изучение сейсмического действия взрывов в подземных горных выработках // Взрывное дело. — 2014. — № 112/69. — С. 251–261.]
6. **Kutuev V. A.** Investigating the seismic impact made by the underground large-scale blast on the secure facilities of Kyshtym GOK when caving the floor pillar, *News of the Higher Institutions, Mining Journal*, 2020; no. 2, pp. 25–36. [**Кутуев В. А.** Исследование сейсмического воздействия подземного массового взрыва на охраняемые объекты Кыштымского ГОКа при обрушении межэтажного целика // Известия вузов. Горный журнал. — 2020. — № 2. — С. 25–36.]
7. **Kutuev V. A. and Zharikov S. N.** Limitations on seismic effects of technological explosions in the combined development of the Sarbai deposit, *E3S Web of Conferences: material XVIII Scientific Forum “Ural Mining Decade” (UMD 2020)*, Ekaterinburg, Russia, 2020, vol. 177, pp. 01007. [**Кутуев В. А., Жариков С. Н.** Ограничения по сейсмическому воздействию технологических взрывов при комбинированной разработке Сарбайского месторождения // E3S Web of Conferences: материалы XVIII научного форума “Уральская горнопромышленная декада”. — Екатеринбург, 2020. — Т. 177. — С. 01007.]
8. **Bondarenko I. F., Zharikov S. N., Zyryanov I. V., and Shemenov V. G.** Drilling and blasting works at kimberlite quarries of Yakutia. Ekaterinburg, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017. (in Russian) [**Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменин В. Г.** Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. — 172 с.]
9. **Kumar R., Choudhury D., and Bhargava K.** Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 341–349.
10. **Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C., and 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.
11. **Trubetskoy K. N., Potapov N. G., Vinitzky K. E., et al.** Open-pit mining operations: Handbook. Edited by R. S. Yarullin, Moscow, Mining Bureau, 1994. (in Russian) [**Трубецкой К. Н., Потапов Н. Г., Виницкий К. Е. и др.** Открытые горные работы: справочник / Под ред. Р. С. Яруллина. — М.: Горное бюро, 1994. — 590 с.]