



**ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК И ИХ СОПРЯЖЕНИЙ**

Е. А. Христюбов¹, Е. Е. Узун¹, А. А. Еременко^{2,3}, И. Н. Мокроусов²

¹*Горно-Шорский филиал АО “Евраз Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат”,
E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com, E-mail: uzun_ee@evraz.com,
ул. Гагарина 10, п. Шерегеш 652971, Россия*

²*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
E-mail: igor-1970@yandex.ru, Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

³*Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,
E-mail: eremenko@ngs.ru; ул. Весенняя 28, г. Кемерово 650000, Россия*

Выполнен анализ влияния взрывных работ на геомеханическое состояние массива горных пород при обрушении блоков, создании компенсационных камер и подсечных пространств. Установлено воздействие сейсмической энергии взрывов на количество толчков в выработках и их сопряжениях. Показано, что наибольшее количество обрушений происходит при взрывах с энергией 10^6 и 10^7 Дж на расстояниях 40–300 м и более, при массе ВВ 300 т их объемы составляют 15 м^3 .

Взрывные работы, скважина, заколообразование, выработки, сейсмическая энергия, анализ, профилактические мероприятия

**INFLUENCE OF DRILLING-AND-BLASTING OPERATIONS
ON THE STABILITY OF MINE WORKINGS AND INTERSECTIONS**

E. A. Khristolyubov¹, E. E. Uzun¹, A. A. Eremenko^{2,3}, and I. N. Mokrousov²

¹*Gorno-Shorsky branch of Joint Stock Company “Evraz United West Siberian Metallurgical Plant”,
E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com, E-mail: uzun_ee@evraz.com,
ul. Gagarina 10, Sheregesh 652971, Russia*

²*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: eremenko@ngs.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

³*T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, ul. Vesenniyaya 28, Kemerovo 650000, Russia*

The influence exerted by blasting on the geomechanical state of the rock mass in mining blocks, creating compensation chambers and undercuttings is analyzed. The effect of the seismic energy of explosions on the number of shocks in mine workings and their intersections is determined. It is shown that the most of cavings occur during explosions with the energies of 10^6 and 10^7 J at the distances of 40–300 m or more, when the explosive weight is 300 t, their volumes are 15 m^3 .

Blasting operations, borehole, flaw formation, mine workings, seismic energy, analysis, preventive measures

Месторождения железных руд Горной Шории расположены в сейсмически активном районе Алтае-Саянской складчатой области, где имеют место современные тектонические движения земной коры, и разрабатываются подземным способом. Глубина ведения горных работ колеблется от 600 до 1050 м, очистных работ — от 400 до 800 м.

Руды и вмещающие породы Таштагольского месторождения прочные, высокомодульные, хрупко разрушающиеся под нагрузкой, способные накапливать значительную упругую энергию деформаций. Динамические проявления горного давления в форме стреляний горных пород на Таштагольском месторождении были отмечены с глубины 300 м, а на глубине 600 м стали

возникать толчки, микроудары, горные удары и горно-технические удары большой разрушительной силы. С 1959 по 2018 гг. на месторождении зарегистрировано более 22000 динамических явлений, в том числе 21 горный удар и 78 микроударов.

Научно-исследовательскими институтами ВНИМИ, ВостНИГРИ, ИГД СО РАН и др. установлено, что в массиве пород Таштагольского месторождения вне зоны влияния очистных работ максимальные сжимающие напряжения σ_1 действуют в северо-западном направлении по азимуту $320 \pm 20^\circ$ и равняется $2.5\gamma H$, а напряжения σ_2 и σ_3 — $1.3\gamma H$ и γH соответственно (γ — объемный вес породы, т/м³; H — глубина от поверхности, м). В зоне влияния очистных работ максимальное сжимающее напряжение σ_1 направлено по азимуту $35-75^\circ$ и имеет величину $5\gamma H$, напряжение $\sigma_2 = 3.5\gamma H$, $\sigma_3 = \gamma H$ [1, 2].

По физико-механическим свойствам пород и руд, уровню напряжений, действующих в массиве горных пород, наличию горных ударов участок Восточный — с горизонта (–70) м и ниже, участок Юго-Восточный — с горизонта (+70) м и ниже отнесены к опасным по горным ударам.

Горные работы велись на шести горизонтах шахты по Восточному, Северо-Западному и Юго-Восточному участкам месторождения: (± 0), (–70), (–140), (–210), (–280), (–350) м. На Западном участке гор. (–70) м геологоразведочные работы выполнялись для подтверждения запасов и уточнения их качества. В соответствии с годовой программой проведены массовые взрывы по обрушению блока № 2 панели 1-2 в этаже (–70) ÷ (± 0) м Юго-Восточного участка, а также массовые взрывы по образованию и очистной выемке из камер с закладкой выемочного пространства блока № 12 в этаже (–280) ÷ (–210) м Северо-Западного участка и блоков № 03, 02, 1, 2 в этажах (–210) ÷ (–70) м Восточного участка, а также взрывы по формированию компенсационной камеры блока № 23 в этаже (–350) м (–280) м Восточного участка.

На Северном фланге месторождения началась проходка самоходным горно-шахтным оборудованием выработок согласно проекта реконструкции шахты. Добыча руды осуществляется по Восточному, Юго-Восточному и Северо-Западному участкам.

В районе шахты в течение года сейсмостанцией зарегистрировано около 1000 сейсмособытий, в том числе 839 толчков. События 1-2 классов составляют 88.74 % от общего количества толчков, события 3-4 класса — 0.76 %. Низкая динамическая активность связана с уменьшением взрывов по подготовке боков с обрушением и вторичных камер на блоках с закладкой очистного пространства, отрабатываемых на Северном фланге месторождения.

Основными технологическими операциями, вызывающими большое количество толчков и их максимальную энергию являются взрывы по образованию компенсационного пространства и подсечки блоков. Максимальное распределение толчков в массиве горных пород наблюдается в направлении главных напряжений, в связи с чем, взрывание в первую очередь осуществляется на Восточном и Юго-Восточном участках, а затем на Северо-Западном. При данной очередности взрывов большая часть толчков будет располагаться во вмещающем массиве за пределами выработок. В 2015 г. максимальная активность наблюдалась во время проведения взрывов блоков 4, 6 и 12-13 в этаже (–280) ÷ (–210) м Северо-Западного участка. Взрывы по обрушению блоков Восточного участка месторождения продолжают оставаться основным фактором, влияющим на напряженно-деформированное состояние массива.

Анализ показал, что в местах проведения взрывных работ наблюдается формирование зон концентрации толчков с различной энергией. Наибольшее количество обрушений приходится на взрывы с энергией 10^6 и 10^7 Дж.

Выполнены исследования по установлению влияния взрывных работ на геодинамическое состояние массива горных пород на Таштагольском месторождении за 5 лет. В этот период осуществлялись технологические и массовые взрывы по подготовке к отработке блоков, а также проведению горных выработок. Выявлено, что в течение года технологические взрывы

выполнялись 77–115 раз, а массовые — от 2 до 6, при этом обрушился ряд блоков, создавались компенсационные камеры, подсечные пространства в блоках, воронки выпуска и др. Сейсмическая энергия взрывов колебалась от 10^5 до 10^8 Дж [3–5].

Зоны концентрации толчков, спровоцированные взрывами, распространялись по всему шахтному полю и в районе горных выработок (рис. 1), где регистрировались нарушения в виде обрушения горных пород, заколообразование и т. п. Снижение энергии толчков до 10^2 – 10^5 Дж достигалось совмещенными по времени взрывами при подготовке блоков на Восточном участке и на Северном фланге месторождения.

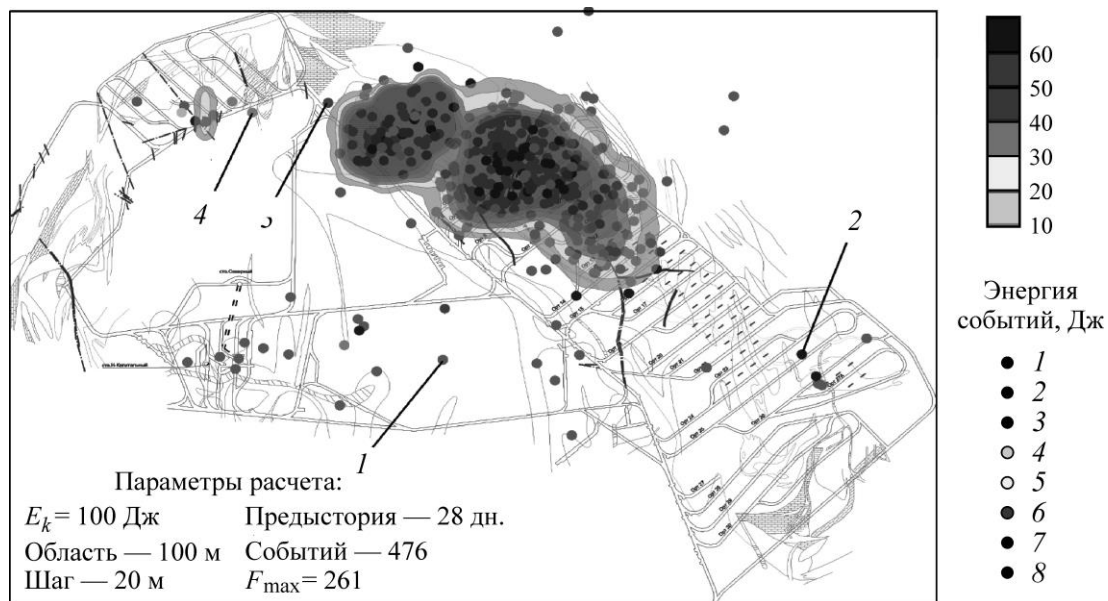


Рис. 1. Зоны удароопасности при обрушении блока 6 (Восточная секция): 1 — ($0-10^2$); 2 — (10^2-10^3); 3 — (10^3-10^4); 4 — (10^4-10^5); 5 — (10^5-10^6); 6 — (10^6-10^7); 7 — (10^7-10^8); 8 — (10^8 и более)

Определено влияние сейсмической энергии взрывов на количество проявлений в выработках (рис. 2). Установлено, что при технологических взрывах с энергией 10^5 – 10^6 Дж в одних и тех же выработках происходит до 9 случаев нарушения крепи, заколообразование и обрушение горных пород [6, 7].

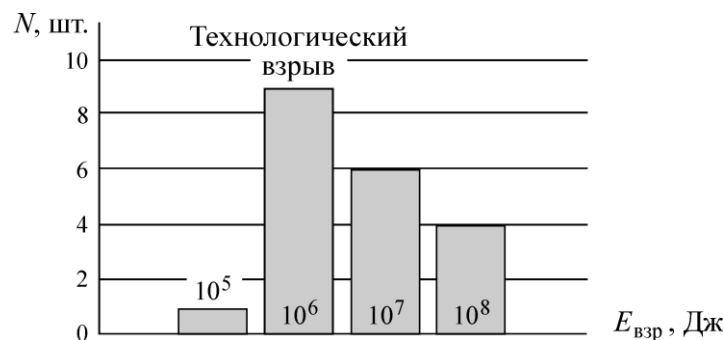


Рис. 2. Диаграмма распределения количества обрушений горных пород в выработках при различной энергии взрыва

Наибольшее количество нарушений приходится на взрывы с энергией 10^6 и 10^7 Дж даже при технологических взрывах по созданию подсечных пространств и обрушению камер. С ростом энергии взрыва увеличивается расстояние от очагов взрывов до спровоцированных нарушений в выработках (рис. 3). При энергии взрыва 10^8 Дж зона влияния взрывов на выработки может достигать 300 м и более [8].

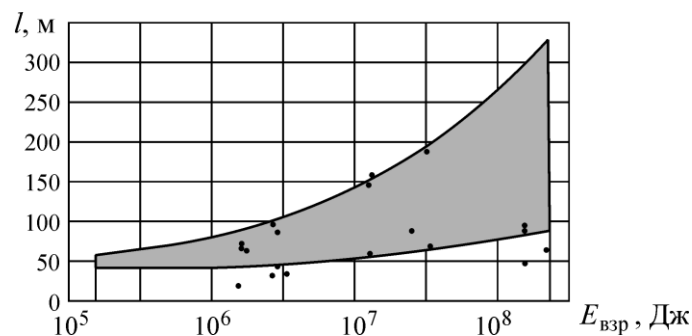


Рис. 3. Изменение расстояния от очагов взрывов с различной энергией до спровоцированных обрушений горных пород в выработках

Установлено, что при взрывах с сейсмической энергией от 10^5 до 10^8 Дж (или с массой ВВ от 4 до 300 т) нарушения в выработках от очагов взрывов располагаются на расстояниях от 40–70 до 60–330 м. На рис. 4 представлено изменение объема нарушений в выработках и их сопряжений при различной массе ВВ и местоположения очагов взрывов. При массе ВВ от 4 до 75 т объемы нарушений в выработках изменяются от 5 до 12 м^3 , а при массе ВВ от 150 до 300 т — от 13 до 15 м^3 . Это объясняется тем, что с меньшей массой ВВ (4–75 т) проводятся совмещенные технологические взрывы, а с большей (75 т и более) массовые взрывы по обрушению панелей блоков.

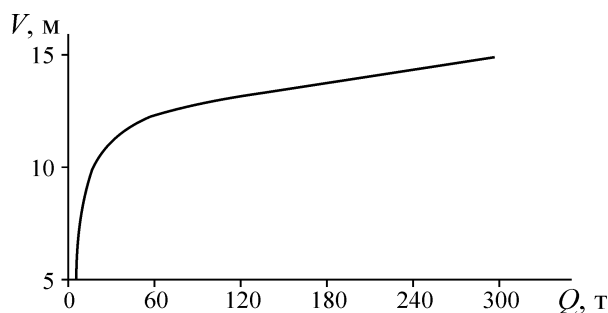


Рис. 4. Изменение объема обрушений горных пород в выработках и их сопряжений V при различной массе ВВ Q и местоположения очагов взрывов

ВЫВОДЫ

Уменьшение уровня энергии толчков в массиве горных пород достигается сотрясательным взрыванием, к которым относятся технологические взрывы. Совмещение по времени идентичных взрывов по подготовке блоков при обрушении Восточного участка и по формированию очистных камер в блоках Северного фланга месторождения способствует снижению энергии толчков. При снижении сейсмической энергии взрывов до 10^5 Дж, уменьшается количество нарушений в выработках и их сопряжений в 8–9 раз на расстоянии до 40–70 м и более от очагов взрывов. При взрывании с массой заряда ВВ до 4–75 т объем нарушений в выработках уменьшился с 15 до 5– 12 м^3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Opening** and working off the reserves of the Sheregeshevsky deposit. P10455-10.02.1-IOS7, vol. 10.2.1 SPb-GIPROMASH, St. Petersburg, 2015, pp. 24–27 (in Russian) [Вскрытие и отработка запасов Шерегешевского месторождения. П10455-10.02.1-ИОС7, Т. 10.2.1 СПб-ГИПРОМАШ. — СПб., 2015. — С. 24–27.]
2. **Lavrynenko V. F., Ivanov Yu. A., and Kandyba M. I.** Regularities of the manifestation of rock pressure in the mines of Kryvbas, Mining Journal, 1961, no. 6, pp. 19–23 (in Russian) [Лавриненко В. Ф., Иванов Ю. А., Кандыба М. И. Закономерности проявления горного давления на рудниках Кривбасса // Горн. журнал. — 1961. — № 6. — С. 19–23.]

3. **Freydin A. M., Neverov S. A., Neverov A. A., and Konurin A. I.** To the substantiation of the choice and determination of the parameters of geotechnologies of ore extraction taking into account the type of stress-strain state of rocks, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 180–185 (in Russian) [**Фрейдin А. М., Неверов С. А., Неверов А. А., Конуриh А. И.** К обоснованию выбора и определению параметров геотехнологий добычи руд с учетом вида напряженно-деформированного состояния горных пород // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* — 2017. — Т. 4. — № 3. — С. 180–185.]
4. **Kelly B.** Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western United States: A study in stress heterogeneity, *Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford, Stanford University, February 11–13, 2013, pp. 139–150 [**Келли Б.** Анализ напряжений в скважинах на департаментах военных земель на западе США: исследование неоднородности напряжений // XXXVIII семинар по геотермальному проектированию пластов: труды. — Стэнфорд Стэнфордский университет, 11–13 февраля 2013. — С. 139–150.]
5. **Neverov A. A., Konurin A. I., Shaposhnik Yu. N., Neverov S. A., and Shaposhnik S. N.** Geomechanical substantiation of sublevel-chamber system of developing with consolidating stowing, *Science and technologies in geology, exploration and mining*, 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM-2016, 2016, issue II, Albena, Bulgaria, pp. 443–450 [**Неверов А. А., Конуриh А. И., Шапошник Ю. Н., Неверов С. А., Шапошник С. Н.** Геомеханическое обоснование поэтажно-камерной системы разработки с консолидирующей укладкой // *Наука и технологии в геологии, разведке и разработке месторождений: труды 16-я Междунар. многопрофильная науч. геоконф., SGEM-2016*, 2016, вып. II. — Албена, Болгария. — С. 443–450.]
6. **Valiev N. G., Berkovich V. Kh., Propp V. D., and Kokarev K. V.** The problems of developing protection pillars under the exploitation of ore deposits, *The Number of Higher Educational Institutions, Mining Journal*, The Ural State Mining University, 2018, no. 2, pp. 4–9 [**Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Кокарев К. В.** Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений // *Горн. журнал УГГУ* — 2018. — № 2. — С. 4–9.]
7. **Eremenko A. A., Filippov V. N., Nikitenko S. M., and Khristolyubov E. A.** Features of development of iron ore deposits of Gornaya Shoria, *Journal of Mining Science*, 2017, vol. 53, no. 5, pp. 868–881 (in Russian) [**Еременко А. А., Филиппов В. Н., Никитенко С. М., Христолюбов Е. А.** Особенности освоения железорудных месторождений Горной Шории // *ФТПРПИ* — 2017. — № 5. — С. 79–95.]
8. **Stirts V. A., Eremenko A. A., Konurin A. I., and Klishin I. V.** Experience in forecasting geodynamic phenomena during mass explosions, *Mining Information Analytical Bulletin*. — 2015. — № 7. — pp. 196–206 [**Штирц В. А., Еременко А. А., Конуриh А. И., Клишин И. В.** Опыт прогноза геодинамических явлений при массовых взрывах // *ГИАБ*. — 2015. — № 7. — С. 196–206.]