

ПРОХОДКА И КРЕПЛЕНИЕ ВЫРАБОТОК В МАССИВАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕЙСТВИЮ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

П. Г. Пацкевич^{1,*}, А. В. Жабко², Е. В. Красюкова¹, С. А. Горин²

¹Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: patskevich@outlook.com

Наблюдаемое во всем мире истощение расположенных вблизи поверхности запасов полезных ископаемых с неизбежностью влечет расширение их добычи подземным способом. В подземной добыче напряжённое состояние горных пород существенно влияет на устойчивость выработок и конструктивных элементов систем разработки при выемке полезных ископаемых. В России значительная часть полезных ископаемых добывается в районах, подверженных действию тектонических сил. Это месторождения Горной Шории и Хакасии, Хибин, Дальнего Востока и ряда других регионов.

Неотъемлемой частью подземной разработки полезных ископаемых является проходка в горных породах выработок различного назначения и их поддержание в рабочем состоянии на период их эксплуатации. Практика проходческих работ показывает, что в прочных породах в условиях действия значительных горизонтальных напряжений даже при применении контурного взрывания и оптимальной форме сечения в ряде случаев происходят существенные законтурные разрушения пород, что негативно влияет на безопасность горных работ, их скорость и экономическую эффективность. Следовательно, разработка технологии проведения, включающая буровзрывные работы, и поддержания подземных выработок в условиях действия тектонических сил является важной и актуальной задачей для практики горнопроходческих работ. Для решения поставленной задачи необходимым условием является выявление основных факторов, влияющих на качество законтурного массива и дальнейшее его разрушение.

Теоретические исследования показали, что технология проходки выработки в тектонически напряженных массивах должна учитывать, что горизонтальные напряжения существенно превосходят вертикальное давление налегающих пород. Показано, что направление расширения врубовой полости при формировании сечения выработки оказывает значительное влияние на степень нарушения законтурного массива, поэтому при выполнении взрывных работ необходимо расширять врубовую полость таким образом, чтобы длинная сторона промежуточного сечения была направлена в сторону наибольших сжимающих напряжений. Верификация полученных результатов осуществлялась при проходке горно-капитальной выработки в тектонически напряженном массиве на руднике «Олений ручей». Одновременно выполнялись исследования по выбору параметров технологии крепления и поддержания горных выработок.

В результате выполненных исследований, включающих обследование законтурных пород вокруг выработки через смотровые скважины с помощью видеоэндоскопа Jprobe FX, определение упругих характеристик горных пород вблизи контура выработки при помощи ультразвуковых измерений и математического моделирования НДС массива в динамике проходки, установлен механизм формирования зон разрушения горных пород вокруг выработок при проходке в условиях высоконапряженных горных массивов. Определены параметры развития этих зон в зависимости от показателей качества массива, структурных характеристик и его напряженного-деформированного состояния. Выявлено, что крепь горных выработок активно влияет на напряженно-деформированное состояние приконтурного массива на расстоянии 0.5–1 горизонтального пролета выработки. При выполнении взрывных работ необходимо формировать сечение выработки таким образом, чтобы при расширении врубовой полости длинная сторона промежуточного сечения была направлена в сторону наибольших сжимающих напряжений. При креплении необходимо не допускать отставания анкерной крепи на расстояние более 2-х метров от забоя выработки.

Теоретические и практические рекомендации были переданы предприятию для проведения опытно-промышленных испытаний и дальнейшей корректировки параметров технологии проведения и поддержания горных выработок на руднике «Олений ручей».

DEVELOPMENT AND SUPPORT OF UNDERGROUND WORKINGS IN ROCK MASSES SUBJECTED TO TECTONIC STRESSES

P. G. Patskevich^{1,*}, A. V. Jabko², E. V. Krasnyukova¹, S. A. Gorinov²

¹*Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences (ICEMR RAS), Moscow, Russia*

²*Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia*

*E-mail: patskevich@outlook.com

The global depletion of near-surface mineral reserves inevitably leads to the expansion of underground mining operations. In underground mining, the stress-strain state of rocks significantly affects the stability of workings and development system elements during mineral extraction. In Russia, a substantial portion of minerals is extracted from areas influenced by tectonic forces, including deposits in Gornaya Shoria and Khakassia, the Khibiny Mountains, the Far East, and several other regions. Drivage of various-purpose workings in rock masses and their maintenance in operational condition throughout the exploitation period constitute an integral part of underground mineral development.

Drivage practice demonstrates that in competent rocks under high horizontal stresses, even with contour blasting and optimal cross-section shapes, significant overbreak occurs in some cases, adversely impacting mining safety, advance rates, and economic efficiency. Consequently, developing drivage technology—including drilling and blasting operations—and support methods for underground workings under tectonic stress conditions represents a critical and relevant challenge for mining practice. A prerequisite for addressing this task is identifying the primary factors influencing the quality of the overbreak mass and its subsequent deterioration.

Theoretical studies have shown that drivage technology in tectonically stressed masses must account for horizontal stresses substantially exceeding the vertical overburden pressure. It has been established that the direction of undercut cavity expansion during working cross-section formation significantly affects the degree of disturbance in the surrounding mass; therefore, during blasting, the undercut cavity should be expanded such that the long side of the intermediate cross-section aligns with the direction of maximum compressive stresses. Verification of the results was conducted during drivage of a main haulage roadway in a tectonically stressed mass at the Oleniy Ruchey Mine.

Concurrent studies addressed the selection of support technology parameters for workings maintenance.

The investigations, which included overbreak rock inspection around the working via observation boreholes using a Jprobe FX video endoscope, determination of elastic rock properties near the working contour through ultrasonic measurements, and mathematical modeling of the dynamic stress-strain state during drivage, established the mechanism of failure zone formation around workings during drivage in highly stressed rock masses. Parameters of these zones' development were determined as functions of mass quality indicators, structural characteristics, and stress-strain state.

It was found that working support actively influences the stress-strain state of the peripheral mass at distances of 0.5–1 times the horizontal span of the working.

During blasting operations, the working cross-section should be formed such that the long side of the intermediate cross-section during undercut cavity expansion is oriented toward the maximum compressive stresses. For support installation, anchorage must not lag more than 2 meters behind the face.

Theoretical and practical recommendations were provided to the enterprise for semi-industrial trials and subsequent adjustment of drivage and maintenance technology parameters at the Oleniy Ruchey Mine.