

УДК 622.837:622.2

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.04.081

Озорнин Иван Леонидович
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: ivan.ozornin@igduran.ru

Ozornin Ivan L.
the head of the laboratory,
The Institute of Mining UB RAS,
620075 Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: ivan.ozornin@igduran.ru

Боликов Владимир Егорович
главный научный сотрудник,
доктор технических наук,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ivan.ozornin@igduran.ru

Bolikov Vladimir E.
Dr. of technical sciences,
chief researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: ivan.ozornin@igduran.ru

**МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ
ВТОРИЧНОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ
ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ***

**MONITORING OF DEFORMATIONAL
PROCESSES IN THE CONDITIONS
OF SECONDARY STRUCTURIZATION
OF UNDERGROUND STRUCTURES
NEAR-OUTLINE ROCK MASS**

Аннотация:

Представлены результаты многолетних периодических натуральных инструментальных наблюдений за изменениями напряженного состояния тубинговой крепи шахтного ствола в процессе ведения горных работ. Выявлены условия и закономерности снижения экстремальных значений напряжений шахтной крепи, обусловленные взаимными перемещениями структурных блоков окружающего массива скальных пород при предельном деформировании.

Ключевые слова: шахтные стволы, крепление, напряженное состояние, натурные замеры

Abstract:

The results of long-term periodic in-situ measurements of mine-induced changes of stresses in shaft tubbing have been adduced. Natural phenomenon and law of extremums of stresses decrease that is conditioned by displacements of rock structures during past-peak deformation of rock masses have been discovered.

Key words: mining shafts, lining, stressed state, in-situ measurements

Институтом горного дела на шахтах Донского ГОКа ведется многолетний мониторинг деформационных процессов, происходящих в крепи строящихся стволов, околоствольных выработках и в окружающих эти горные выработки массивах.

Структурные особенности Донских хромитовых месторождений характеризуются сильной раздробленностью массива горных пород. Крупные тектонические нарушения сопровождаются опережающими более мелкими зонами повышенной трещиноватости, что определяет блоковое строение массива. Структурные блоки этой иерархически блочной среды находятся в подвижном состоянии, под влиянием современных геодинамических движений. Исследуемый массив является типичным для скальных массивов рудных месторождений Урала и Казахстана – трещиноватый иерархически-блочный массив скальных пород, находящийся под воздействием горного давления [1, 2]. Каждый блок, в свою очередь, разбит сетью разноориентированных микротрещин. Связи между породными блоками изначально слабы, а при увлажнении, когда тальковидный милонитовый или серпофитовый заполнитель трещин становится мыльным на ощупь, они падают практически до нуля.

Характерной особенностью данного месторождения является неравномерное поле напряжений, действующее в массиве. По замеренным напряжениям в крепи четырех

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-1700. Тема № 0405-2015-0012. Тема 3

стволов шахты «10 лет независимости Казахстана», выполненных методом щелевой разгрузки на малых базах, четко прослеживается граница на глубине около 500 м, при достижении которой происходит резкое возрастание уровня напряжений в крепи от 5 – 10 МПа до 20 – 25 МПа, а иногда до предельных значений [3, 4] (рис. 1). Столь резкий рост обусловлен снижением сцепных свойств по трещинам между блоками и ростом с глубиной действующих напряжений в массиве, в результате чего он переходит в запределное напряженно-деформированное состояние и приобретает блочный дискретный характер деформирования. В массиве в этой области проявляются боковые подвижки, вызывающие неравномерное сосредоточенное нагружение крепи, что создает серьезные проблемы в обеспечении устойчивости на стадии строительства и эксплуатации.

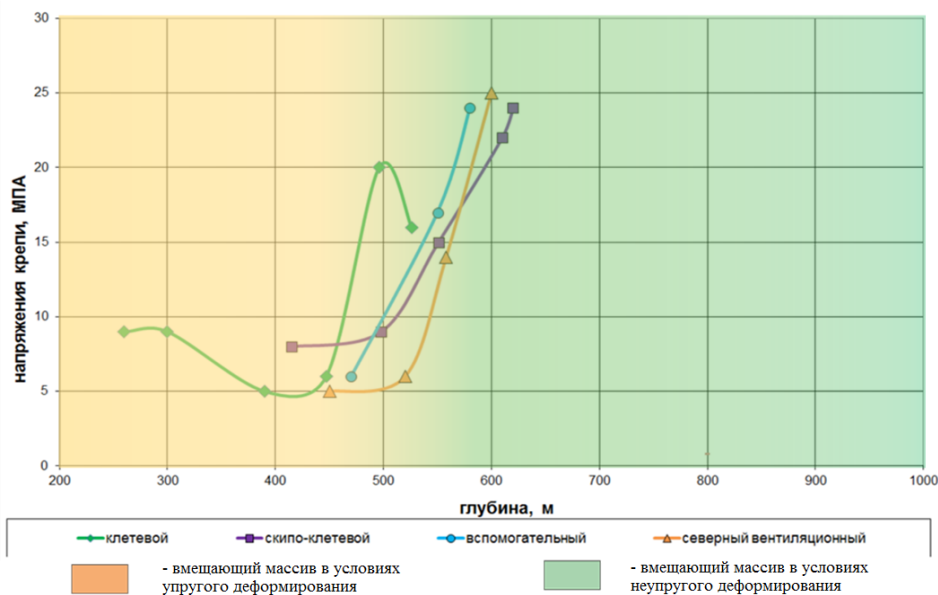


Рис. 1 – Экспериментальные измерения зависимости напряжений в крепи от глубины стволов шахты «10 лет независимости Казахстана» Донского ГОКа на разных глубинах

Особенно остро проблема проявилась при строительстве стволов, их сопряжений и камерах на шахте «10 лет независимости Казахстана».

Так, при строительстве ствола «Клетевой» в 1984 г. в условиях запределного деформирования окружающего массива горных пород произошла серьезная авария с обрушением бетонной крепи в интервале глубин 552 – 765 м (рис. 2).

Чтобы избежать дальнейших разрушений при проходке ствола в качестве постоянной крепи с глубины 547 м использовали чугунные тубинги конструкции "Шахтспецстрой" типа 85 Н с толщиной спинки 40 мм и забутовкой закрепного пространства бетоном В 15. После возобновления проходки ствола вновь возникли деформации тубинговой крепи в виде горизонтальных трещин растяжений в спинках и горизонтальных ребрах тубингов. Таким образом, усиление постоянной крепи ствола не помогло избежать проблем с ее несущей способностью. Дальнейшее возобновление проходки привело к деформациям вмещающего массива, связанным с уходом забоя ствола, в связи с чем на глубине 800 м крепь была усилена переходом на конструкцию тубинговой крепи типа 85 Н с толщиной спинки 60 мм и закрепным пространством мощностью 300 мм из монолитного бетона марки В25. Тогда же в интервале глубин 830 – 880 м крепь была дополнительно усилена второй тубинговой колонной, вписанной во внутреннее сечение ствола, что обеспечило необходимую устойчивость выработки.

В дальнейшем, после окончания проходки в 1992 г., последовал 10-летний (1994 – 2004 гг.) период мокрой консервации ствола и затем в 2004 – 2005 гг. – откачка воды и последующие работы по вводу ствола в эксплуатацию.

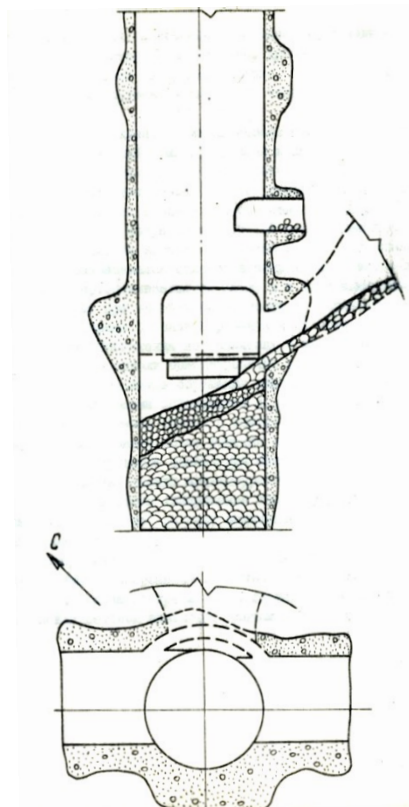


Рис. 2 – Разрушение крепи клетевого ствола на шахте «10 лет независимости Казахстана» в интервале глубин 552 – 765 м

Вместе с тем при проходке околоствольных выработок ствола «Клетевой» на гор. –560 м в порожняковой ветви сопряжений и водоотливного комплекса, включающего насосную камеру с двумя выработками водосборников, происходили нарушения железобетонной крепи: смещения и конвергенция стенок крепи, заколы и трещинообразование бетона, петлеобразные выпирания арматуры (рис. 3).



Рис. 3 – Нарушения железобетонной крепи в порожняковой ветви выработки сопряжения гор. –560 м ствола «Клетевой»

Также в стволе «Вентиляционный» возникли серьезные нарушения тюбинговой крепи при проходке сопряжения на отм. -560 м (глубина 958 м) (рис. 4).

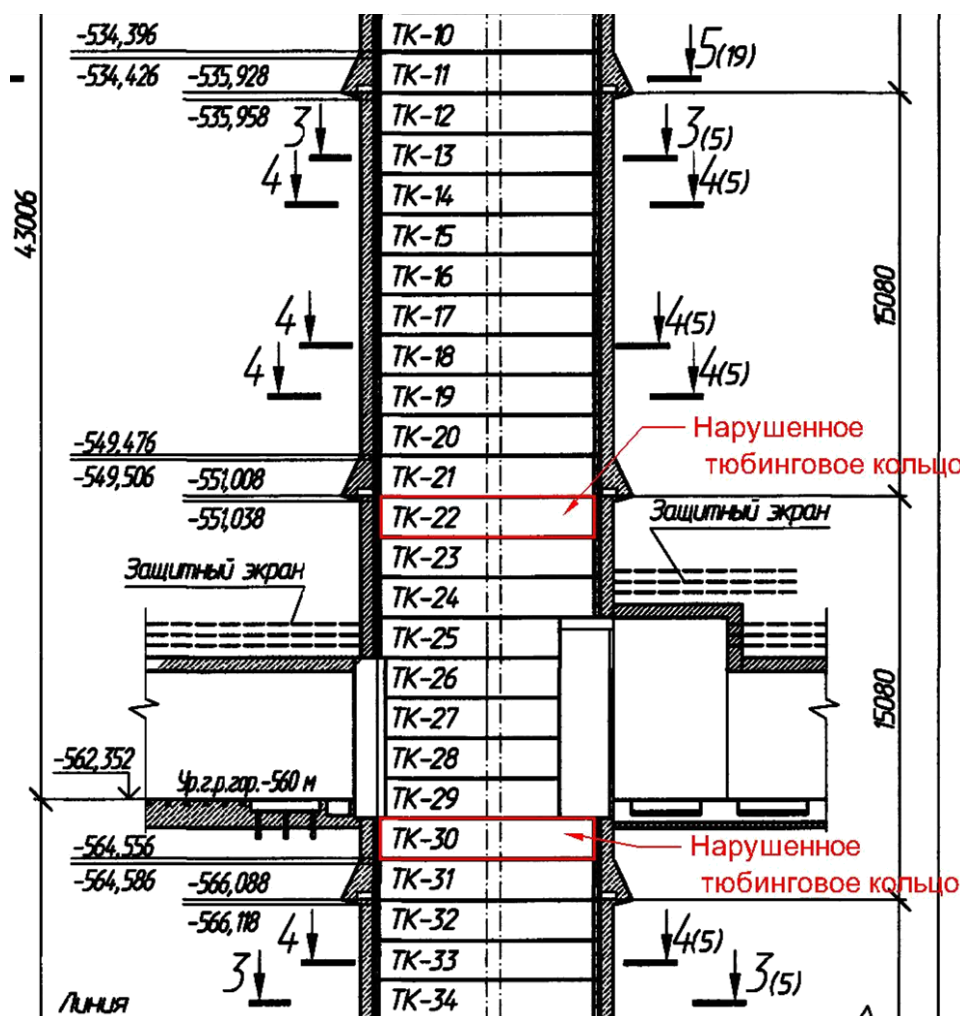


Рис. 4 – Участок нарушения крепи ствола «Вентиляционный» шахты «10 лет независимости Казахстана» в районе сопряжения отм. -560 м

По мере разделки сопряжения и углубки ствола в тюбинговых кольцах выше и ниже сопряжения образовались трещины около болтовых соединений, крепь принимала эллипсоидную форму, что привело к срезанию болтов, соединяющих тюбинги между собой.

Ключевой причиной выше приведенных нарушений целостности крепи строящихся стволов шахт и околоствольных выработок являются сосредоточенные нагрузки на крепь от смещения породных блоков окружающего породного массива.

При выемке высоконапряженного, но при этом низкопрочного серпентинитового породного массива, вследствие концентрации напряжений вокруг забоев, формируются зоны нарушений. Нарушения пород сопровождаются раскрытием трещин и подвижками по ним породных блоков.

Блочное строение вмещающего массива с зонами сильно нарушенной структуры было подтверждено геофизическим методом спектрального сейсмопрофилирования при расконсервации ствола «Клетевой» (рис. 5, 6).

Данный метод в комплексе с деформационными методами геоконтроля эффективно использовался для общей оценки состояния устойчивости клетового ствола и вмещающего массива пород после его почти десятилетней консервации и дальнейшей проходки его околоствольных выработок [5, 6].

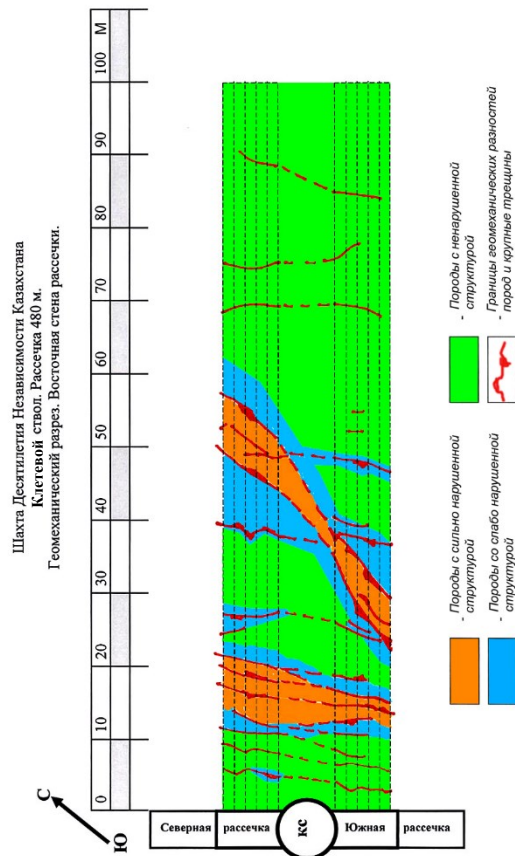


Рис. 5 – Геомеханический разрез гор. –480 м. Юго-Восток

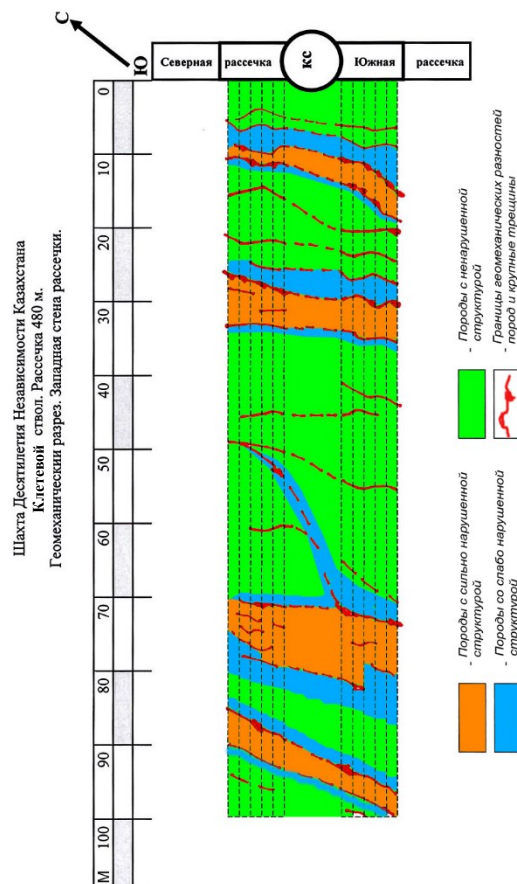


Рис. 6 – Геомеханический разрез гор. –480 м. Юго-Восток

Для замеров абсолютных значений напряжений, действующих в ребрах нагруженной тубинговой крепи клетевого ствола на момент проведения измерений, применяли метод щелевой разгрузки, заключающийся в следующем [4]:

- в формировании плоской щели (щелей) в исследуемой напряженной среде: горной породе, бетоне или, как в рассматриваемом случае, чугуна тубинговой крепи;
- замере по смещениям предварительно установленных реперов, деформаций напряженной среды на сформированную щель (щели);
- пересчете полученной величины относительных деформаций в абсолютные напряжения путем решения соответствующей задачи теории упругости с использованием известных параметров: формы и размеров щели, а также деформационных характеристик среды – модуля упругости и коэффициента Пуассона [7].

Анализ результатов натуральных исследований свидетельствует, что произошедшие нарушения тубинговой крепи ствола «Клетевой» так же, как и на стволе «Вентиляционный», обусловлены неравномерностью нагружения тубинговых колец. Неравномерность эта качественно отличается от неравномерности нагружения бетонной крепи. В монолитной бетонной крепи неравномерность нагружения имеет выраженную направленность, связанную с анизотропией поля напряжений окружающего горного массива. Инструментальные же наблюдения за напряженным состоянием тубингов показывают, что неравномерность их нагружения повсеместно имеет случайный характер, причем как в пространстве, так и во времени.

Скачкообразно и зачастую знакопеременно изменяясь в процессе проходки ствола «Клетевой», неравномерность эта сохранялась даже после достижения системой "крепь – околоствольный породный массив" относительно стабильного равновесного состояния, устанавливающегося спустя 3 – 5 месяцев после монтажа очередного тубингового кольца. Амплитуда этих изменений в среднем составляла порядка 150 МПа, а в ряде случаев была более 350 – 400 МПа, что существенно превышало усредненные напряжения тубинговых колец, которые как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях были на 30 – 50 % ниже предела прочности чугуна СЧ-21, составляющего на сжатие – $[\sigma_{сж}] = -450 - -500$ МПа, на растяжение – $[\sigma_{раст}] = 200 - 210$ МПа [7].

В итоге при проходке ствола экстремальные значения горизонтальных и вертикальных напряжений (как сжимающих, так и растягивающих) в отдельных тубинговых кольцах, вне зависимости от расстояния до рассечек и ориентировки тубингов, превышали нормативную прочность, составляющую 75 % от предельной на сжатие – $[\sigma_{сж}]_n = -38$ МПа, на растяжение – $[\sigma_{раст}]_n = +158$ МПа. Вблизи выработок рассечек, в особенности на сопряжении с гор. –560 м, в отдельных тубингах напряжения были близки к предельным. Однако в целом тубинговая крепь находилась в устойчивом состоянии на всем протяжении ствола.

По ряду смежных замерных станций, отстоящих друг от друга на 8 – 10 м, наблюдалось качественное совпадение картины распределения растяжений и сжатий по тубингам, которое сохранялось при последующих хаотичных изменениях напряженного состояния тубингов в течение всего 3 – 5-месячного периода наблюдений. Этот факт указывал на то, что на такие участки воздействовали случайные подвижки одних и тех же крупномасштабных блоковых структур окружающего породного массива.

Таким образом, в условиях неустойчивых, но тектонически напряженных горных массивов неравномерность напряженно-деформированного состояния тубинговой крепи в основном обусловлена блоковым характером деформирования окружающего массива скальных пород. Вследствие этого взаимные подвижки отдельных породных объемов вызывают концентрированные пригрузки локальных участков крепи. Первопричина такого поведения – в превышении первоначальными напряжениями на глубинах 500 – 600 м пределов прочности массива и, вследствие этого, переходе в его предельное напряженно-деформированное состояние, проявляющееся в разнонаправленных и хаотичных подвижках блоковых породных структур [8, 9].

То, что ключевой причиной неравномерности нагружения тюбинговой крепи ствола являются подвижки структурных блоков приконтурного массива, было также подтверждено и при расконсервации ствола. Проведенные в 2004 – 2008 гг. замеры показали существенное, более чем в 2 раза, снижение напряжений в крепи по сравнению с состоянием ствола до мокрой консервации (рис. 7). При этом произошло не только снижение среднего уровня напряженного состояния всей тюбинговой колонны в интервале глубин 550 – 1000 м в целом с –150 МПа до –68 МПа, но и максимальных сжимающих напряжений, действующих в отдельных тюбингах с –433 МПа до –213 МПа. Уменьшилась и неравномерность распределения напряжений по тюбингам.

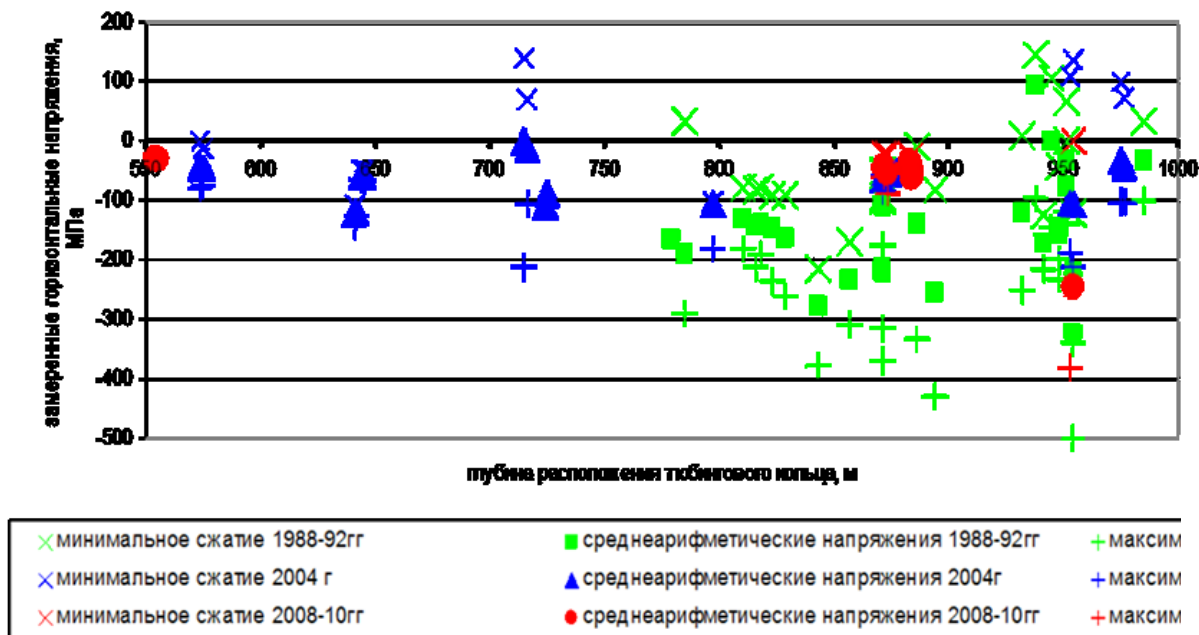


Рис. 7 – Распределение по глубине ствола «Клетевой» напряжений, замеренных в тюбингах в различные периоды времени:
1988 – 92 гг. – в процессе проходки ствола;
2004 г. – в процессе откачки воды после мокрой консервации;
2008 – 2010 гг. – в процессе проходки выработок на горизонтах

Заключение, вытекающее из всего вышепредставленного комплекса натуральных данных, является закономерным следствием нахождения низкопрочного породного массива глубоких горизонтов шахты "10 лет независимости Казахстана" в запредельном напряженно-деформированном состоянии. Или, говоря иными словами, нахождения его на ниспадающей ветви диаграммы "напряжения-деформации".

В этом состоянии в изначально высоконапряженном породном массиве в процессе разнонаправленных хаотичных подвижек структурных блоков различных размеров и форм происходит снижение общего (т.е. в среднем по рассматриваемому объему деформируемой среды) уровня напряжений. При этом неизбежно перераспределяются и выравниваются нагрузки, передающиеся на крепь шахтных стволов, и, соответственно, перераспределяются и выравниваются напряжения, действующие в тюбинговых кольцах и в отдельных тюбингах. Нагрузка же на крепь от сползающих под собственным весом породных объемов даже для самых нарушенных массивов существенно меньше нагрузок от тектонических напряжений.

При этом, разумеется, следует помнить, что улучшение НДС происходит лишь с течением времени после окончания горных работ. В ходе же их проведения подвижки отдельных породных блоков оказывают сосредоточенные нагрузки на шахтную крепь и могут вызывать ее нарушение. А вследствие вероятностной природы этого процесса спрогнозировать место и время такого рода нарушений сложно.

Вывод. В условиях запредельного напряженного состояния, характерного для тектонически напряженных низкопрочных массивов скальных горных пород на глубоких горизонтах шахты "10 лет независимости Казахстана", ведение горных работ в окрестностях шахтных стволов и их рассечек в конечном итоге улучшает напряженно-деформированное состояние крепи. Имеются в виду все виды работ, провоцирующие деформирование приконтурного породного массива и, соответственно, подвижки его структурных блоков: разделка рассечек, мокрая консервация и последующая откачка воды, проходка выработок околоствольных дворов, очистная выемка руды и перераспределение первоначальных напряжений в процессе развития зоны обрушения и т. п.

Литература

1. Панжин А.А. Диагностика современной геодинамической активности массива и исследование процесса сдвижения на шахтах Донского ГОКа / А.А. Панжин, В.И. Ручкин, А.В. Третьяк // Горный журнал Казахстана. - 2014. - № 3. - С. 32 - 36.
2. Усанов С.В. Мониторинг геодинамических движений горного массива Высокогорского железорудного месторождения при масштабном техногенном воздействии сложного горнодобывающего комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 10. - С. 208 - 213.
3. Озорнин И.Л. Формирование напряжений в крепи при строительстве вертикальных стволов в тектонически напряженном горном массиве / И.Л. Озорнин, Т.Ф. Харисов // Известия вузов. Горный журнал. - 2013. - № 6. - С. 60 - 67.
4. Озорнин И.Л. Оценка напряженно-деформированного состояния тюбинговой крепи стволов / И.Л. Озорнин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - № 12. - С. 281 - 288.
5. Мельник В.В. Исследование структурных особенностей массива горных пород подземных сооружений / В.В. Мельник, А.Л. Замятин // Известия вузов. Горный журнал. - 2008. - № 8. - С. 165 - 171.
6. Мельник В.В. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок / В.В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2005. - № 10. - С. 69 - 74.
7. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. - Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - 335 с.
8. Балек А.Е. Особенности формирования напряжений в крепи вертикальных выработок в условиях запредельного напряженно-деформированного состояния скальных породных массивов / А.Е. Балек // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 11. - С. 202 - 212.
9. Балек А.Е. Проблема оценки природного напряженно-деформированного состояния горного массива при освоении недр / А.Е. Балек, А.Д. Сашурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2016. - № S21. - С. 9 - 23