

УДК 622.833.5:622.283.4

Сентябов Сергей Васильевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58,
e-mail: sentyabov1989@mail.ru

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
В БЕТОННОЙ КРЕПИ И МАССИВЕ
ГОРНЫХ ПОРОД
НА ГАЙСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ***

Аннотация:

Разработана и адаптирована к местным условиям методика длительного мониторинга изменения напряженно-деформированного состояния крепи стволов и массива горных пород. Определена новая структура поля напряжений в массиве горных пород; с учетом параметров переменных во времени напряжений с их хронологической привязкой можно производить расчет напряженно-деформированного состояния бетонной крепи шахтных стволов с учетом природных напряжений, рассматривая их вариации во времени. Актуальность исследований обусловлена необходимостью производить контроль и оценку эффективности мероприятий по рациональному способу добычи полезного ископаемого, обеспечивающему при прочих равных условиях безопасность и полноту его выемки и сокращение нерациональных потерь. В последние годы установлено, что природные напряжения в массиве горных пород, в результате которых формируются напряжения в крепи, изменяются во времени, и эти изменения могут приводить к увеличению напряжений в крепи, составляющих $\approx 30 \div 70$ % от нормативной прочности бетона. Изменение природных напряжений происходит с периодичностью от часов до сотен лет, и механизм формирования напряжения в крепи за счет этих напряжений неизвестен, хотя установлены случаи крупных разрушений крепи на десятках рудников в периоды, когда переменные во времени напряжения достигают своих экстремальных значений.

Ключевые слова: бетонная крепь стволов, напряженно-деформированное состояние, наблюдательная станция, устойчивость, переменные во времени напряжения, массив горных пород, физико-механические свойства.

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.069

Sentyabov Sergey V.

Candidate of Engineering Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Geodynamics and Mining Pressure,
Institute of Mining, UB RAS,
620075, Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
email: sentyabov1989@mail.ru

**PATTERNS OF STRESSED
STATE FORMATION IN CONCRETE
SUPPORT AND ROCK MASS
AT THE GAYSKOYE DEPOSIT**

Abstract:

The authors have developed and adapted the method of long-term monitoring of the changes in the stress-deformed state of the shaft lining and the rock mass to the local conditions. The new structure of the stress field in the rock mass has been defined; taking into account the parameters of the variables in the stress time with their chronological reference, it is possible to calculate the stress-deformed state of concrete support of the mine shafts subject to natural stresses, considering their time variations. The relevance of the research is determined by the need to monitor and evaluate the efficiency of measures for the rational method for extracting the mineral resources, providing the safety and completeness of its excavation and reduction of irrational losses under otherwise equal conditions. In recent years, it has been established that the natural stresses in the rock mass, which resulted in forming the stresses in the support, change over time, and these changes can lead to an increase in the stresses in the lining, constituting $\approx 30 \div 70$ % of the normative strength of the concrete. Changes in natural stresses occur at intervals from hours to hundreds of years, and the mechanism of forming the stress in the lining due to these stresses is unknown, although the cases of major destruction in the linings have been identified at dozens of mines during periods when stress variables reach their extreme values.

Key words: concrete shaft lining, stress-deformed state, observation station, stability, stress variables in time, rock mass, physical and mechanical properties.

* Исследования выполнены в рамках государственного задания №075-00581-19-00 по теме № 0405-2019-0007.

Введение

Гайское медноколчеданное месторождение начали обрабатывать в 1959 г. Оно представлено несколькими изолированными рудными залежами сложных линзообразных и жилообразных форм, различающимися по минеральному составу (сплошной медный колчедан, медно-цинковый колчедан, серный колчедан и прожилково-вкрапленные руды). Рудовмещающая свита представлена альбитофирами, туфобрекчиями, туфами основного и смешанного составов, интенсивно рассланцованными и окварцованными.

В настоящее время на Гайском подземном руднике была произведена масштабная реконструкция стволов подземного рудника ПАО «Гайский ГОК». С целью увеличения производительности Гайского подземного рудника был разработан стратегический проект развития комбината «Вскрытие и разработка глубоких горизонтов в этаже -830...-1310 метров подземного рудника». Данным проектом решаются вопросы вскрытия и разработки глубоких горизонтов подземного рудника, разработки новых схем доставки руды, реконструкции шахтных стволов и их углубки до отметки -1420 м от поверхности.

В связи с увеличением глубины разработки месторождения усложняются горно-геологические условия ведения работ, что может привести к снижению объема производства.

Разрабатываемое месторождение полезного ископаемого и другие связанные с его разработкой объекты хозяйственной деятельности представляют собой сложную природно-техногенную систему, содержащую, как правило, ряд источников антропогенного воздействия на окружающую, в том числе геологическую, среду.

Проведение мониторинга напряженно-деформированного состояния бетонной крепи шахтных стволов и массива горных пород как объектного уровня мониторинга первоначальных природных и вторичных полей напряжений, является необходимостью для безопасного ведения горных работ при добыче полезных ископаемых.

Объекты и методы исследований

Геомеханические натурные исследования в действующем стволе шахты «Клетевая» на Гайском подземном руднике, проводимые с 2013 г., направлены на установление закономерностей влияния переменных во времени напряжений на напряженно-деформированное состояние бетонной крепи и породного массива в закрепном пространстве. Для этой цели каждые три месяца проводились замеры изменения напряжений в бетонной крепи для последующего их прогноза до 2020 г.

Строение Уральской геосинклинальной системы обусловило сложный характер напряженного состояния нетронутого массива горных пород Уральских месторождений. Наиболее объективной характеристикой напряженного состояния массива является полученная в натуральных условиях информация о параметрах тензора напряжений в нетронутом массиве горных пород, обусловленных особенностями геологических условий в процессе формирования месторождений.

В процессе исследований на Гайском месторождении натурные определения напряжений массива горных пород проводились методом щелевой разгрузки [1], который хорошо себя зарекомендовал для определения напряженного состояния в монолитной бетонной крепи стволов в условиях шахт Гайского ГОКа.

При выполнении исследований метод щелевой разгрузки [2] был значительно модернизирован за счет использования в качестве режущего инструмента бензопил последнего поколения. Для образования разгрузочной щели был использован бензорез, алмазная пила которого позволяла пропиливать щель шириной 330 мм на глубину 120 мм. Расстояние между реперами было принято 70 мм. Это потребовало корректировки расчетной формулы [3]. Суть метода заключается в измерении деформации индикатором часового типа между реперами до разгрузки и после нее. При этом данное оборудование полностью автономное, не требующее подключения к магистралям со сжатым воздухом,

привязки к электрическим сетям и водопроводу, что существенно увеличивает круг его использования.

В местах установки станций были произведены измерения действующих напряжений в крепи ствола методом щелевой разгрузки. Впоследствии на этих базах производятся измерения изменения напряженно-деформированного состояния во времени с периодичностью раз в четыре месяца. На этих же выбранных участках дополнительно были установлены станции для измерения деформаций на базе 1600 мм, способные фиксировать горизонтальные и вертикальные деформации крепи.

Параллельно с этими замерами для проверки и уточнения НДС фиксируется изменение напряжений на базах длиной 70 мм. В процессе исследований на месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного метода щелевой разгрузки.

Вместе с этим реперы также претерпели изменения. Вместо съемных цанговых реперов использовались постоянные оловянные в торце с шаровыми углублениями, установленные по обе стороны от щели на осевой линии. Это позволило снизить себестоимость их производства, а также появилась прекрасная возможность производить измерения напряженного состояния во времени.

Результаты исследований

Путем решения плоской задачи теории упругости пересчет полученных величин относительных деформаций в напряжения производим по формуле (1), результаты представлены в табл. 1:

$$\sigma = \frac{U_{AB} E_B}{1,034 \cdot 2L - l(1 - K_{I(\perp)} + \mu K_{II(\perp)})}, \quad (1)$$

где U_{AB} – величина смещения реперов на базе АВ, (БВ-БА), см;

E_B – модуль упругости бетона, МПа;

l – расстояние между реперами, м;

L – радиус щели, м.

Таблица 1

Результаты расчета напряжений в бетонной крепи ствола методом щелевой разгрузки

1-я станция (гор. -830 м)	2-я станция (гор. -910 м)	3-я станция (гор. -990 м)	4-я станция (гор. -1075 м)	5-я станция (гор. -1390 м)	6-я станция (гор. -1390 м)
-2,9 МПа	-2,9 МПа	-0,72 МПа	-1,4 МПа	-0,72 МПа	-1,4 МПа

Полученные величины напряжений в крепи, возведенной при совмещенном способе проходки, отличаются от теоретических за счет того, что бетон не набрал полной прочности и деформировался пластично [4].

В результате геодеформационного мониторинга в крепи ствола «Клетьевой» были зафиксированы изменения напряжений во времени. Величины полученных изменений приведены на рис. 1 – 5.

В результате анализа данных мониторинга напряженно-деформированного состояния в крепи ствола «Клетьевой» было зафиксировано изменение напряженно-деформированного состояния в сторону увеличения сжатия по всем горизонтам на величину до -12МПа на нижних горизонтах в горизонтальном (X) направлении и на величину до -9МПа – в вертикальном (Z) направлении.

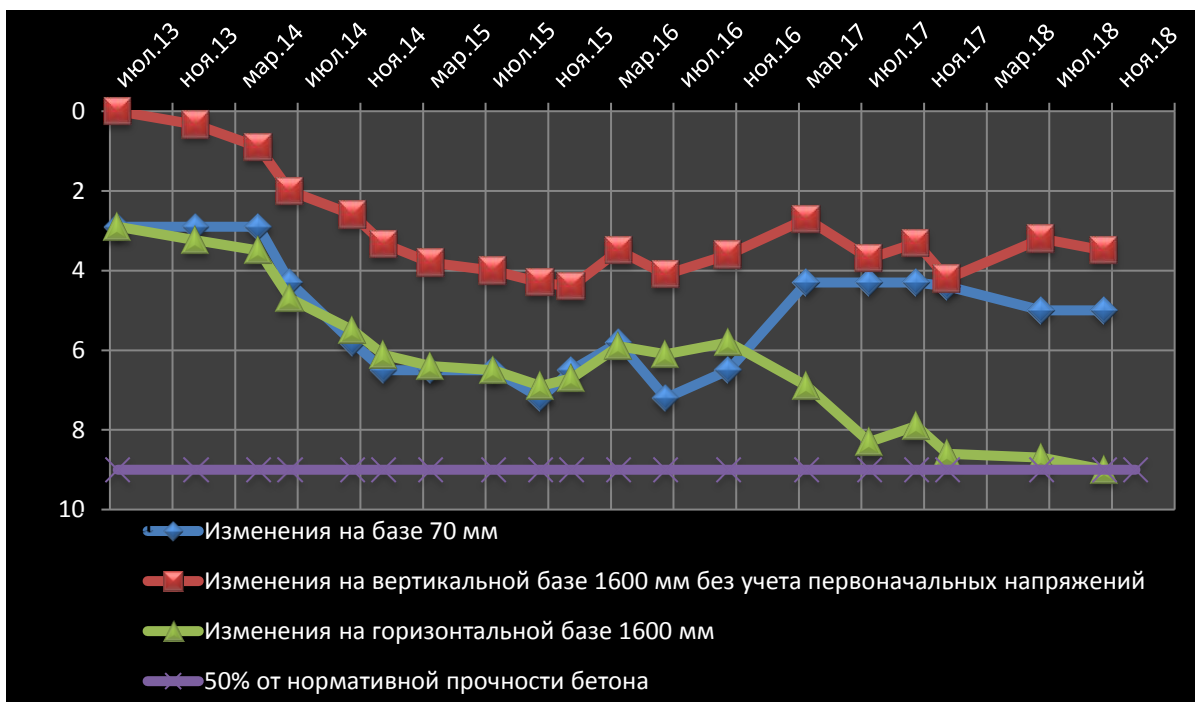


Рис. 1 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -830 м

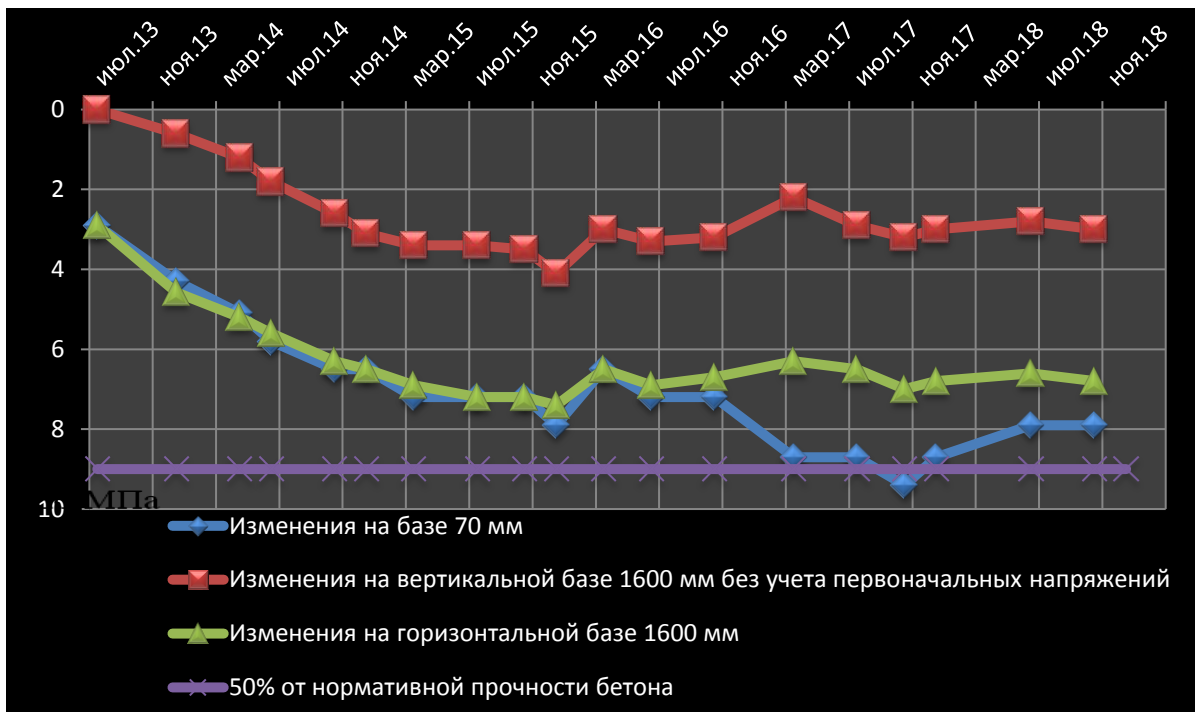


Рис. 2 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -910 м

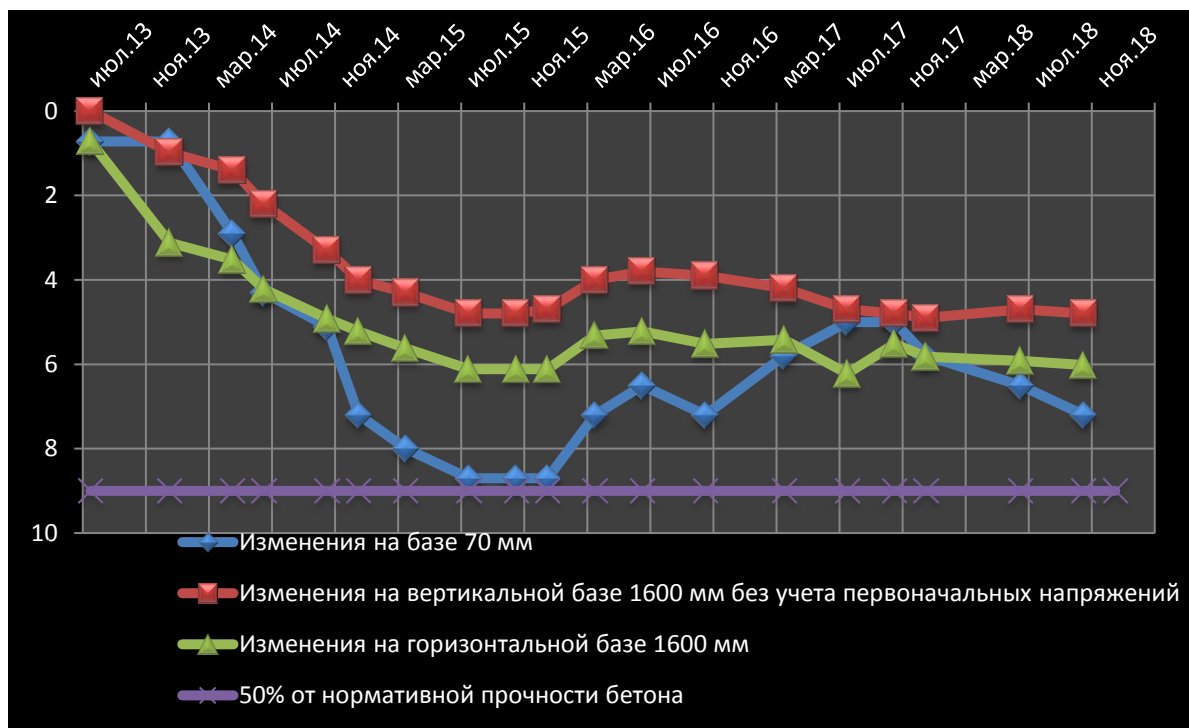


Рис. 3 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -990 м

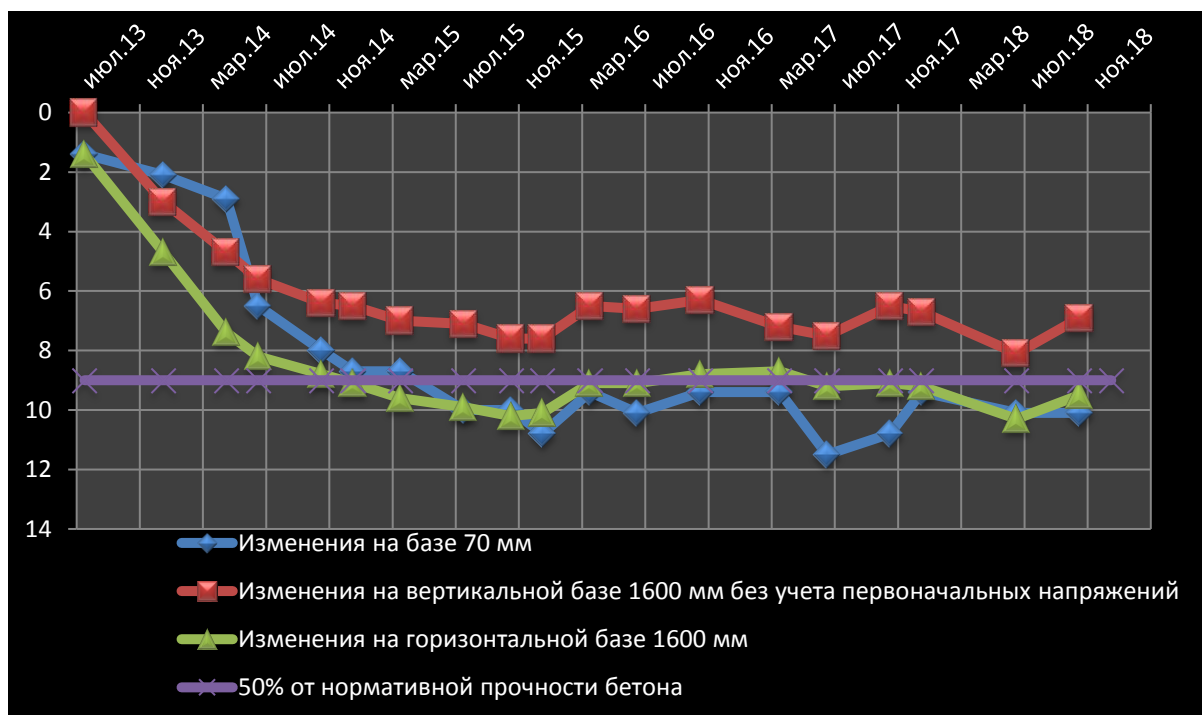


Рис. 4 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -1075 м

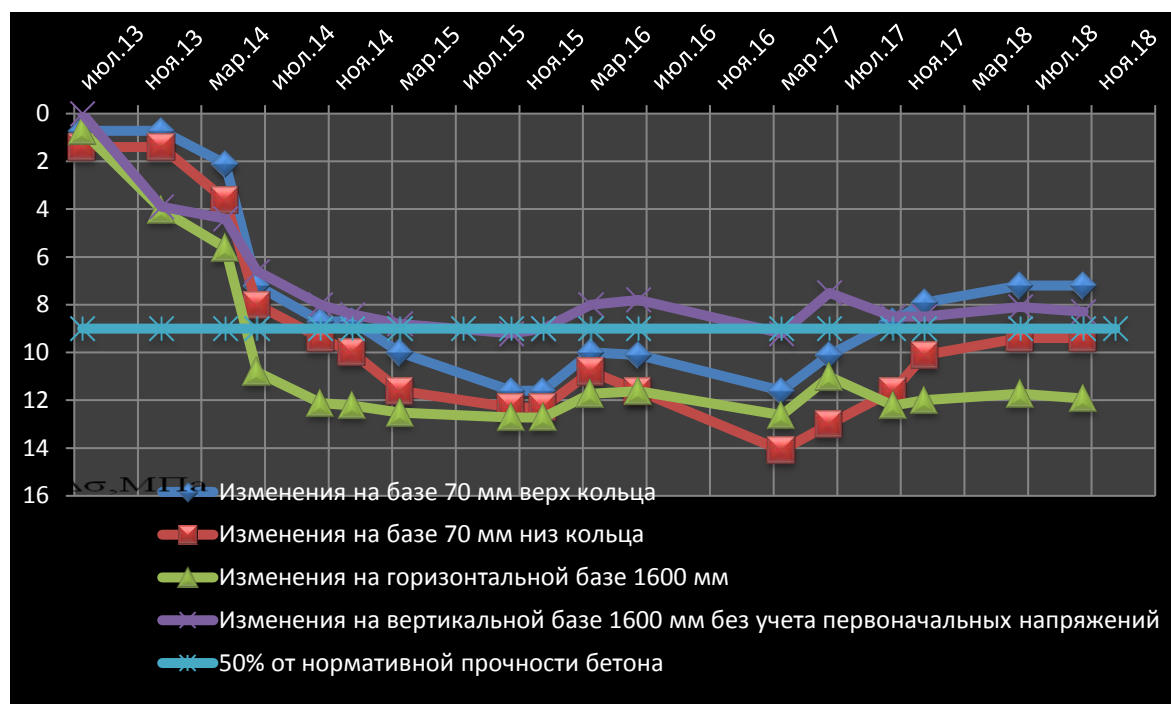


Рис. 5 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -1390 м

Графики, приведенные на рис. 1 – 5, согласуются с результатами измерений переменных напряжений во времени в массиве проводимых лабораторией геодинамики и горного давления с 2001 г. на протяжении всей серии измерений напряжений, действующих в массиве горных пород. Измерения проводились методом гибких нитей [5] на базах до 50 м на станциях, установленных в выработках околоствольного двора гор. -830 м. Линия № 1 установлена в соединительном штреке и ориентирована по азимуту 21°, Линия № 2 установлена в уклоне и ориентирована по азимуту 153°, Линия № 3 установлена в кваршлагае и ориентирована по азимуту 90°, Линия № 4 установлена в выработке ремонтной мастерской и ориентирована по азимуту 146°. Результаты измерений представлены на рис. 6.

Схема расположения наблюдательных станций на гор. -830 м показана на рис. 7.

За время наблюдения, в течение года, было зафиксировано незначительное сжатие массива, не превышающее 2 МПа. По линии, ориентированной по азимуту 146°, зафиксировано сжатие на -1,5 МПа. В крепи ствола шахты «Клетевая» на большинстве горизонтов также было зафиксировано незначительное сжатие в пределах одного мегапаскаля. Данное изменение напряженно-деформированного состояния существенно не повлияет на устойчивость крепи ствола.

Анализ изменения во времени (пульсации) значений $\Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_2$ на месторождениях Урала [6] показал, что они примерно равны, поэтому было принято решение в дальнейшем величину, характеризующую изменение горизонтальных напряжений, принимать как среднее значение ($\Delta\sigma_{ср}$) $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\sigma_2$. В работе [6] высказано мнение, что поскольку это изменение вызвано астрофизическими явлениями, то вышеописанное среднее значение ($\Delta\sigma_{ср}$) обозначим $\sigma_{АФ}$:

$$\sigma_{АФ} = \Delta\sigma_{ср} = (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2)/2.$$

Наиболее близки к таким явлениям галактические космические лучи (протон-электронная плазма), периодичность интенсификации которых имеет 11-летний цикл и совпадает по фазе с $\sigma_{АФ}$, но в противофазе – с интенсивностью пятнообразования (W) и солнечной постоянной (S_0) [7, 8]. Считается, что преобладание протонного излучения приводит к сжатию, а преобладание электронного – к расширению материала [9, 10].

Выводы

Катастрофические явления в стволах различных горных предприятий обусловили проведение долговременного комплекса исследований по определению параметров НДС и устойчивости стволов на подземных рудниках Гайского ГОКа с целью прогноза и предупреждения негативных явлений. В 2018 г. продолжились исследования изменения переменной составляющей природных напряжений, с декабря 2017 г. по декабрь 2018 г. было проведено четыре серии наблюдений. Было установлено, что в 2018 г. начался довольно значительный рост астрофизических напряжений после стабилизации этой составляющей в 2015 – 2017 гг.

Теоретические и экспериментальные исследования доказывают, что иерархически блочный массив магматических и метаморфических горных пород ведет себя как упругая и изотропная среда и изменения природных напряжений в массиве $\Delta\sigma_{\text{ДФ}}$ на базе 5 – 7 рангов геоблоков, на контуре ствола $\Delta\sigma_{\text{ств}}$ на базе 2 рангов геоблоков и в бетонной крепи шахтных стволов $\Delta\sigma_{\text{б}}$ подчиняются этому закону.

Таким образом, напряженное состояние бетонной крепи шахтных стволов формируется как функция конструктивных параметров ствола, полного тензора гравитационно-тектонических напряжений и переменных во времени, действующих в массиве горных пород на момент начала исследований. Обязателен также учет физико-механических свойств породного массива, модуля упругости бетона, который зависит от скорости усадки и дополнительных напряжений, обусловленных вне зоны влияния горных работ циклическим изменением природных напряжений, а в зоне влияния выработанного пространства – изменением вторичного поля напряжений.

По полученным результатам расчетных напряжений в бетонной крепи прогнозируемые напряжения на участках, где были установлены измерительные станции, в крепи ствола могут возникнуть максимальные напряжения. Величины расчетных напряжений близки к нормативной прочности бетона.

Вследствие этого одной из основных задач является поиск конструктивных решений, направленных на повышение устойчивости крепи.

Литература

1. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. – 333 с.
2. Сентябов С.В. Исследование и прогноз изменения напряженно-деформированного состояния крепи шахтных стволов на Гайском руднике / С.В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 79 – 85.
3. Сентябов С.В. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов / С.В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 415 – 419.
4. Юревич Г.Г. Охрана горных выработок от воздействия взрывов / Г.Г. Юревич, В.Д. Беляков, Б.Н. Севастьянов. - М.: Недра, 1972. - 136 с.
5. Зубков А.В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры / А.В. Зубков, К.В. Селин, С.В. Сентябов // Литосфера. - 2015. - № 6. - С. 116 - 129.
6. Зубков А.В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры / А. В. Зубков // Доклады Академии наук. - 2018. - Т. 483. - № 3. - С. 1 - 11.
7. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду / Х.И. Абдусаматов. – СПб.: Нестор–История, 2013. - 246 с.
8. Тарасов Б.Г. Пульсация земли и циклы геодинамической активности в потоках космической плазмы / Б.Г. Тарасов. - СПб: Издание МАНЭБ, 2009. – 319 с.



9. Хаин В.Е. Геотектоника с основами геодинамики: 2-е изд. / В.Е. Хаин, М.Г. Ломидзе. – М.: МГУ, 1195. – 463 с.

10. Штенгелов Е.С. Современное раздвижение земной коры и гипотезы тектоники плит. / Е.С. Штенгелов // Бюл. МОИП Отд. геол. - 1982. - № 3. - С. 13 - 17.