

УДК 622.833.5

Сентябов Сергей Васильевич

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*

Аннотация:

В проводимых исследованиях была поставлена основная цель – изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонной крепи стволов и массива горных пород глубоких горизонтов Гайского ГОКа. На подземном руднике Гайского ГОКа с 2013 г. ведутся исследования формирования НДС крепи для решения задачи прогноза устойчивости стволов и предупреждения аварийных ситуаций при ведении горных работ в конструктивных элементах системы разработки. Проблема устойчивости стволов обусловила необходимость решения задачи по определению уровня НДС и прочностных свойств в бетонной крепи. Параметры НДС крепи стволов и мониторинг их изменений впервые в отечественной практике определены целевой разгрузкой – модернизированным методом измерения деформаций разгрузки. Использованы также методы лабораторных исследований и аналитического моделирования. Работа 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.

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

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.122

Sentyabov Sergey V.

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

STUDY OF FORMATION OF STRESS STATE OF DEEP HORIZONS OF GAYSKIY DEPOSIT

Abstract:

The main objective of the study was to investigate the stress-deformed state (SDS) of concrete reinforcement of shafts and rock mass of deep horizons of the Gayskiy MPS. Since 2013, at the underground mine of the Gayskiy MPS, the study has been carried out on the formation of the SDS of the concrete support to solve the problem of forecasting the shaft stability and preventing the emergencies during mining operations in structural elements of the development system. The problem of the shaft stability has caused the necessity to solve the problem of determining the level of the SDS and the strength properties in the concrete support. The parameters of the SDS of the shaft support and the monitoring of their changes have been determined for the first time in domestic practice by the slot unloading – a modernized method for measuring the unloading deformations. The laboratory study and analytical modeling methods were also used. The research paper is determined by the need to monitor and evaluate the effectiveness of measures for the rational method of extraction of mineral resources, providing the safety and completeness of its excavation and the reduction of irrational losses under otherwise equal conditions.

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

Введение

Гайское медноколчеданное месторождение обрабатывают с 1959 г., его представляют сложные линзообразные и жилообразные формы: медный колчедан, медноцинковый колчедан, серный колчедан и прожилково-вкрапленные руды. Вмещающая свита представлена альбитофирами, туфобрекчиями и туфами.

Стволы находятся в туфах андезитодацитового состава, имеющих модуль упругости в породном образце $E_0 = 0,72 \cdot 10^5$ МПа.

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

Модуль упругости в массиве определяется по следующей формуле [1]:

$$E_M = 0,93^n \cdot E_o, \text{ МПа,}$$

где E_o – модуль упругости образца горной породы; n – количество рангов геоблоков.

При определении природных напряжений изменяющихся во времени $\sigma_{\text{АФ}}$, измеряли деформацию базисов, имеющих длину 40 – 50 м. В массивах со средним размером структурных блоков 0,5 м и коэффициентом вложения $\lambda=2$ модуль упругости массива горных пород E_M на этих базах при $n = 5$ составит:

$$E_M = 0,93^n \cdot 0,72 \cdot 10^5 = 0,5 \cdot 10^5, \text{ МПа.}$$

С целью увеличения производительности Гайского подземного рудника с 5,6 до 9 млн т руды в год разработан проект развития «Вскрытие и разработка глубоких горизонтов в этаже –830...–1310 м подземного рудника». В проекте 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. С 2012 г. приоритетными объектами являются шахты «Клетевая», «Северная вентиляционная», «Эксплуатационная» и «Новая» (рис. 1) [1].

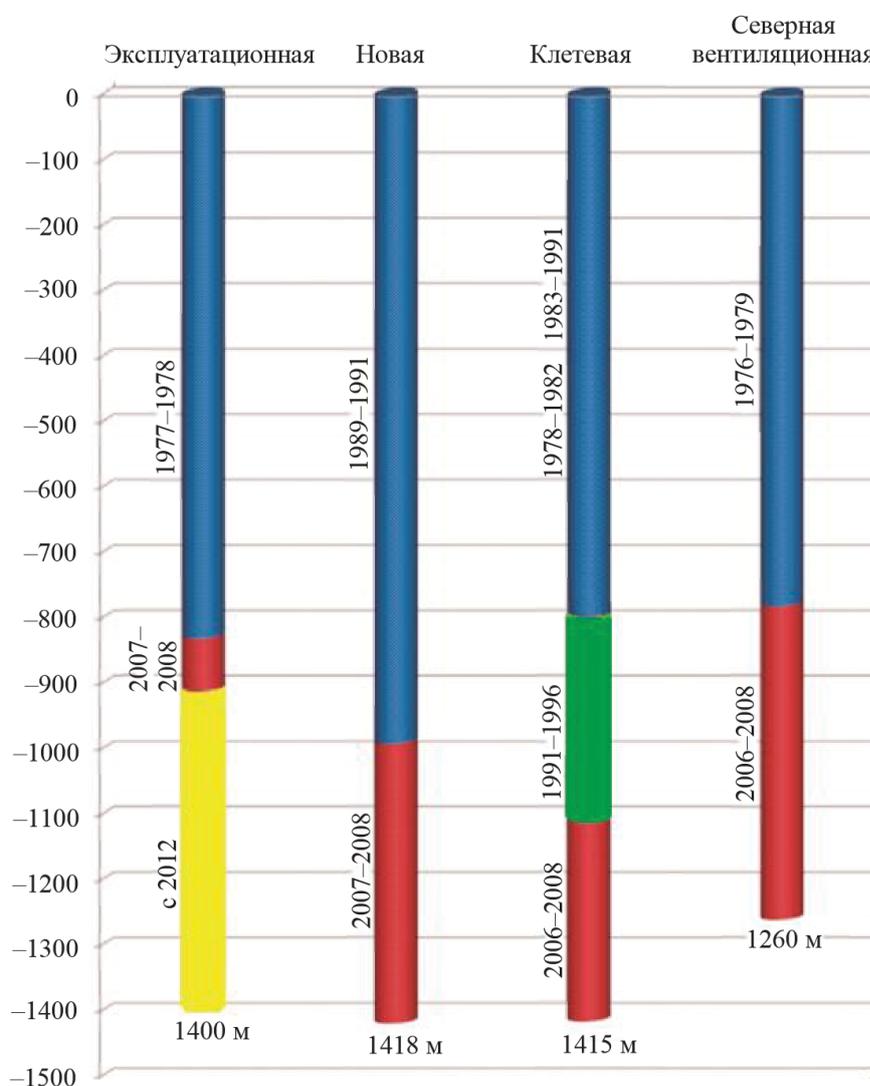


Рис. 1 – Схема проходки стволов подземного рудника по годам

Объекты и методы исследований

С 2013 г. на Гайском подземном руднике ведется мониторинг напряженно-деформированного состояния крепи стволов. В 2019 г. продолжились исследования изменения напряжений в крепи ствола шахты «Клетевая» и массиве горных пород на различных горизонтах.

На данном этапе исследований на месторождении были определены изменения напряжений, действующих в крепи ствола шахты «Клетевая». Измерения проводились на базах различной длины и различных горизонтах.

Станции установлены в ходовом отделении ствола шахты «Клетевая» на отметках –830, –910, –990, –1070 и –1390 м.

При визуальном осмотре ствола шахты «Клетевая» с горизонта –750 м и ствола шахты «Эксплуатационная» выявлен ряд нарушений крепи, характерных при проявлении высокого горного давления. По всей глубине стволов были зафиксированы разрушения стыков между бетонными кольцами, а также в местах сопряжений стволов с выработками околоствольного двора.

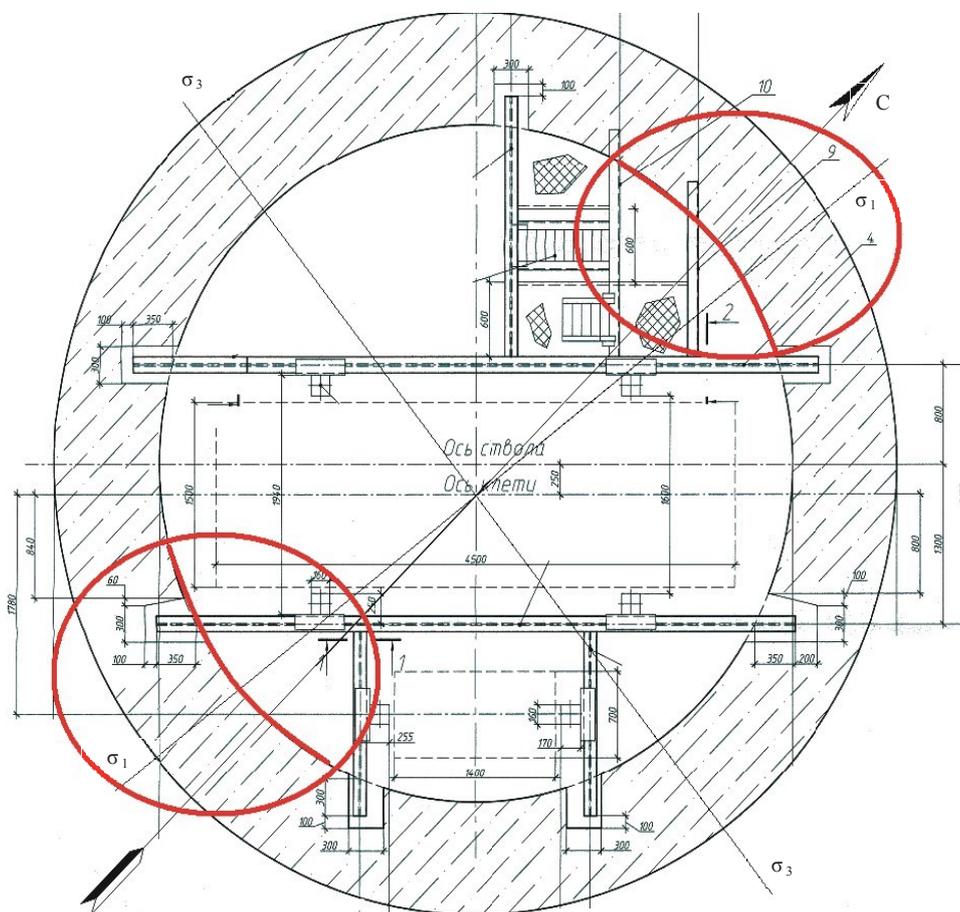


Рис. 2 – Направления действия главных сжимающих напряжений с их ориентировкой к оси ствола шахты «Клетевая» Гайского ГОКа

Большинство нарушений было отмечено в северной части стволов. Поскольку главные сжимающие напряжения σ_3 ориентированы по азимуту 97° , то в районе действия σ_1 по азимуту 7° формируется зона максимального сжатия, где и были отмечены нарушения. Следовательно, крепь находится под действием высокого горного давления. Направления действия главных сжимающих напряжений с их ориентировкой к оси ствола представлены на рис. 2. Зона максимального сжатия обозначена красным цветом.

Для установления картины распределения параметров НДС по периметру крепи на различных глубинах и в обозначенных зонах был выполнен конкретный комплекс исследований.

По результатам измерений с помощью нового метода были получены определенные деформации (табл. 1), которые путем решения плоской задачи теории упругости пересчитаны в напряжения и приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты измерения деформаций бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на базе 70 мм

Станция	Деформация, мм	
	до разгрузки	после разгрузки
1-я (гор. –830 м)	0,89	0,93
2-я (гор. –910 м)	0,61	0,65
3-я (гор. –990 м)	1,63	1,64
4-я (гор. –1075 м)	1,10	1,12
5-я (гор. –1390 м)	Верх кольца 0,88	Верх кольца 0,89
6-я (гор. –1390 м)	Низ кольца 0,66	Низ кольца 0,68

Для уточнения физико-механических характеристик бетонной крепи в местах установки деформационных станций было проведено определение прочности бетона склерометрическим неразрушающим методом. Согласно ГОСТ 22690-88. «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля», подтверждено соответствие бетона на данных участках ствола проектному классу М200 и требованиям СНиП 3.02.03-84 и СНиП 11-94-80.

Для проведения долговременных наблюдений за изменением НДС в крепи ствола шахты «Клетевая» специально устанавливались станции на глубине –830, –910, –990, –1075 и –1390 м в ходовом отделении ствола ортогонально для определения горизонтальных и вертикальных деформаций. В местах установки станций были произведены измерения действующих напряжений в крепи ствола методом щелевой разгрузки. В данное время на этих базах производятся измерения изменения НДС во времени с периодичностью раз в четыре месяца.

В результате длительного геодеформационного мониторинга в крепи ствола шахты «Клетевая» были зафиксированы изменения напряжений во времени [2].

Таблица 2

Результаты измерения напряжений в бетонной крепи ствола методом щелевой разгрузки, МПа

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)
–2,90	–2,90	–0,72	–1,40	–0,72	–1,40

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 [3].

Результаты исследований

В результате анализа данных мониторинга напряженно-деформированного состояния в крепи ствола «Клетевой», приведенных на рис. 3 – 7, было зафиксировано изменение напряженно-деформированного состояния в сторону увеличения сжатия по всем горизонтам на величину до -12 МПа на нижних горизонтах в горизонтальном (X) направлении и на величину до -9 МПа в вертикальном (Z) направлении.

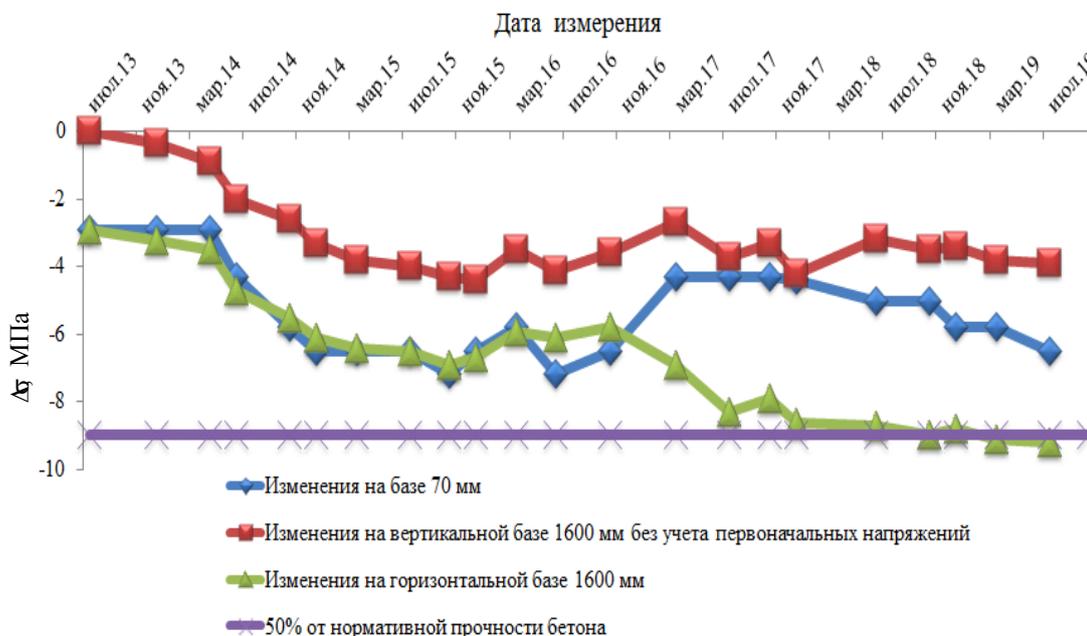


Рис. 3 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -830 м

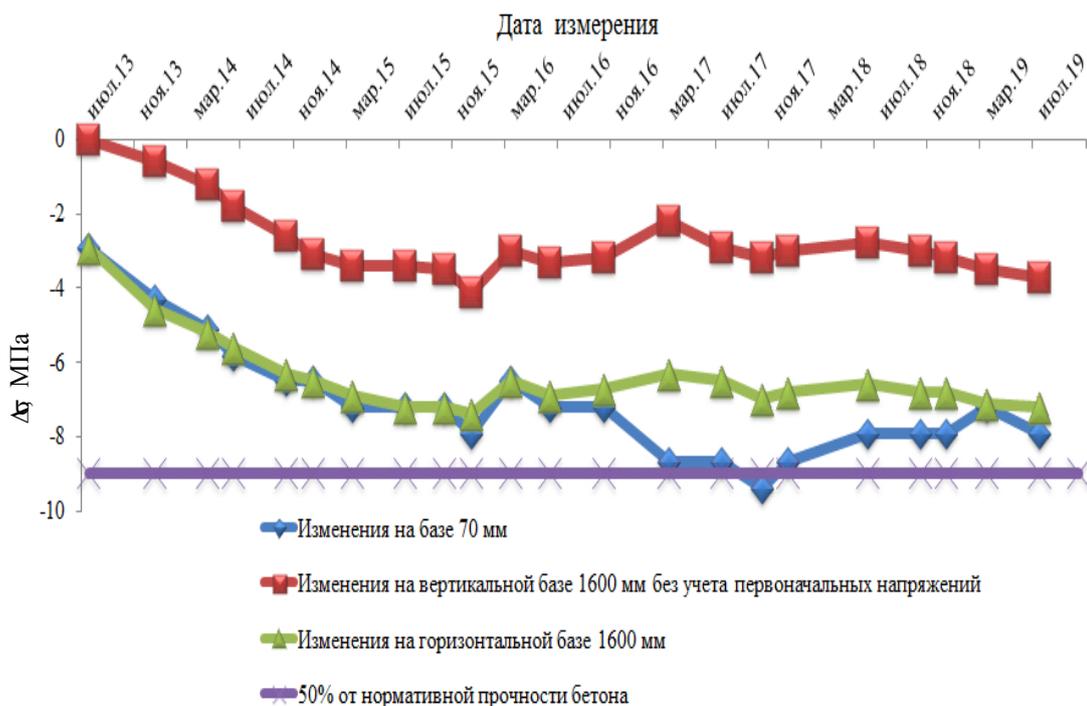


Рис. 4 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -910 м

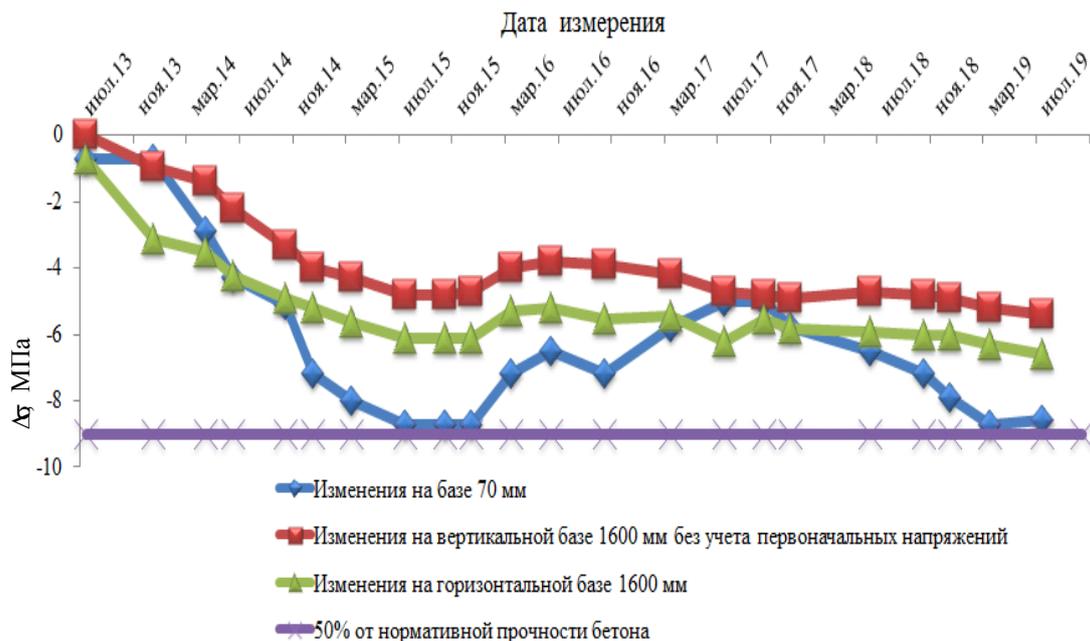


Рис. 5– График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -990 м

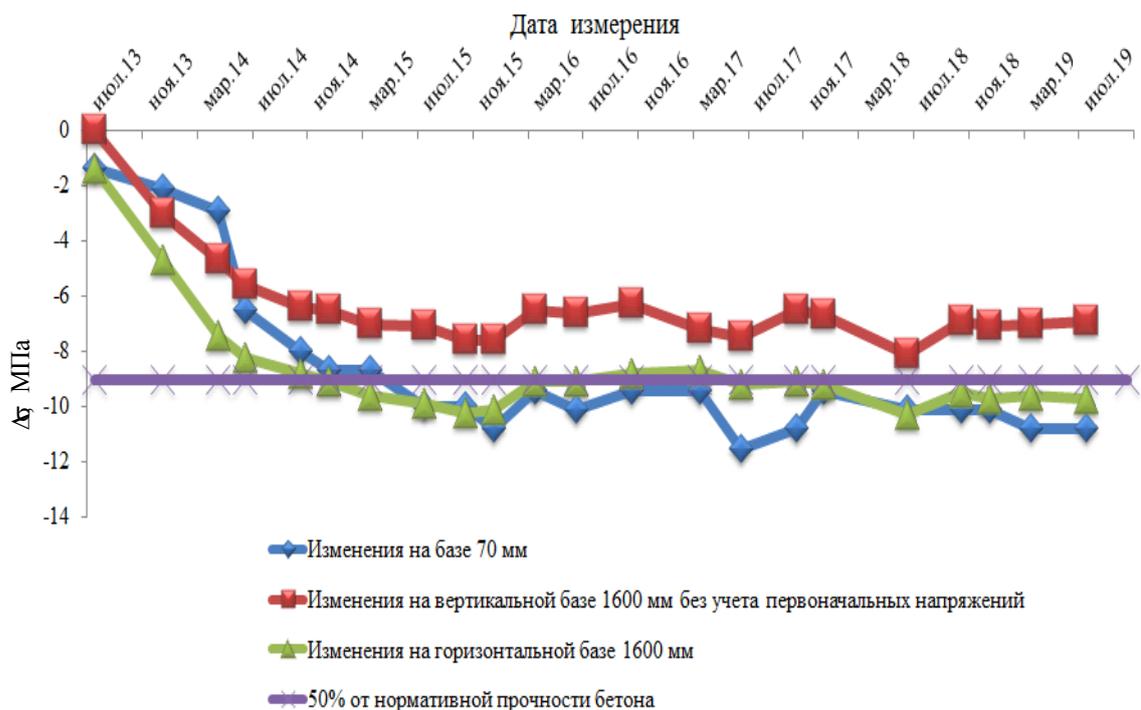


Рис. 6 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -1075 м

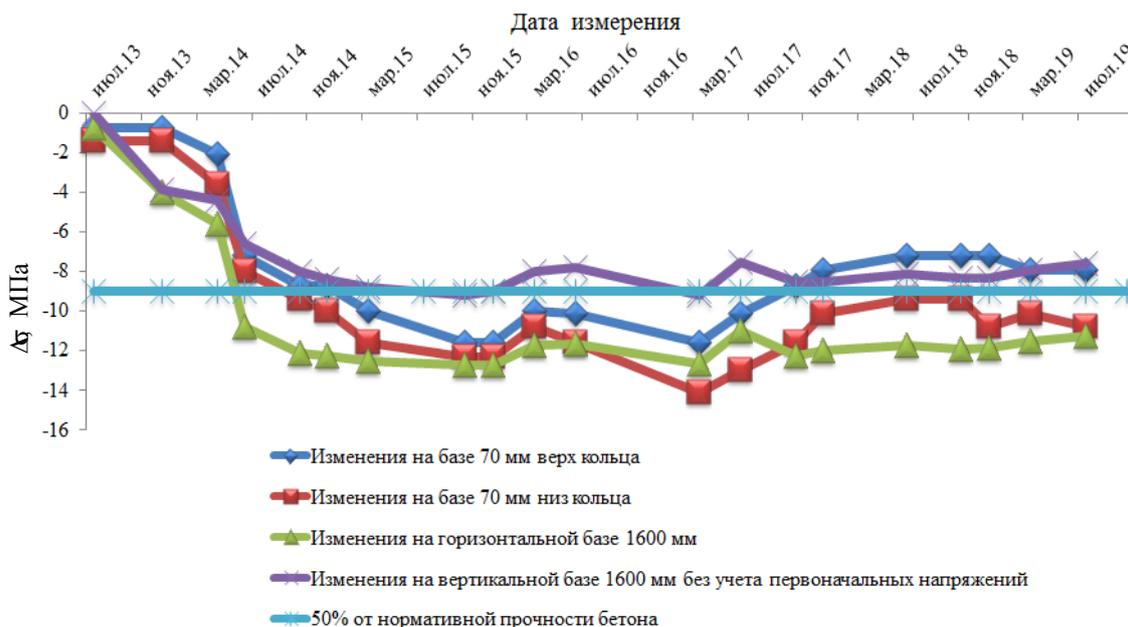


Рис. 7 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. -1390 м

Графики, приведенные на рис. 3 – 7, 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 [4] на базах до 50 м на станциях, установленных в выработках околоствольного двора горизонта -830 м.

Анализ результатов

Анализ изменения во времени (пульсации) значений $\Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_2$ на месторождениях Урала [5, 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 работах [7] высказано мнение, что это изменение вызвано астрофизическими явлениями, таким образом, вышеописанное среднее значение ($\Delta\sigma_{ср}$) обозначим $\sigma_{АФ}$. Наиболее близки к таким явлениям галактические космические лучи (протон-электронная плазма), периодичность интенсификации которых имеет 11-летний цикл и совпадает по фазе с $\sigma_{АФ}$, а в противофазе – с интенсивностью пятнообразования (W) и солнечной постоянной (S_0) [8]. Считается, что преобладание протонного излучения приводит к сжатию, а преобладание электронного – к расширению материала [9, 10].

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 влияет на устойчивость крепи ствола.

Выводы

На практике предложено использовать основные выявленные положения, а именно: напряженное состояние крепи шахтных стволов формируется как функция их конструктивных параметров, полного тензора гравитационно-тектонических напряжений, действующих в массиве пород на момент начала исследований и

переменных во времени, которые определяют натурными и аналитическими методами. Обязателен также учет физико-механических свойств породного массива и бетона крепи.

Поле напряжений массива пород месторождения характеризуется как типично тектоническое, в котором все главные напряжения являются сжимающими, а наибольшим по величине является горизонтальное напряжение субширотного направления (σ_2), ориентированное по азимуту 97° , что характерно (с небольшими отклонениями) для большинства месторождений Северного, Среднего и Южного Урала.

Литература

1. Зубков А.В. Модуль деформации массива горных пород – функция рангов слагающих ее блоков / А.В. Зубков, Ю.М. Зубков // Геомеханика и напряженное состояние земных недр: матер. междунар. конф. (Новосибирск, 4–7 октября 1999 г.). - Новосибирск, 1999. - С. 65 – 70.
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. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. – 333 с.
4. Сентябов С.В. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов / С.В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 415 – 419.
5. Юревич Г.Г. Охрана горных выработок от воздействия взрывов / Г.Г. Юревич, В.Д. Беляков, Б.Н. Севастьянов. - М.: Недра, 1972. - 136 с.
6. 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.
7. Зубков А.В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры / А.В. Зубков // Доклады Академии наук. - 2018. - Т. 483. - № 3. - С. 1 - 11.
8. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду / Х.И. Абдусаматов. – СПб.: Нестор– История, 2013. - 246 с.
9. Тарасов Б.Г. Пульсация земли и циклы геодинамической активности в потоках космической плазмы / Б.Г. Тарасов. - СПб: Издание МАНЭБ, 2009. – 319 с.
10. Хаин В.Е. Геотектоника с основами геодинамики: 2-е изд. / В.Е. Хаин, М.Г. Ломидзе. – М.: МГУ, 1995. – 463 с.