

УДК 622.833.5

**Сентябов Сергей Васильевич**

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

**МОНИТОРИНГ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ БЕТОННОЙ КРЕПИ  
СТВОЛОВ НА ГАЙСКОМ  
МЕСТОРОЖДЕНИИ**

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.119

**Sentyabov Sergey V.**

candidate of technical sciences,  
junior researcher,  
The Institute of Mining UB RAS,  
620075, Yekaterinburg, 58 Mamin-Sibiryak st.  
e-mail: [sentyabov1989@mail.ru](mailto:sentyabov1989@mail.ru)

**MONITORING STRESSED-DEFORMED  
STATE OF THE SHAFTS CONCRETE  
LINING THE IN GAISKY DEPOSIT**

*Аннотация:*

*Представлены результаты проведенных исследований, в значительной мере повышающие степень геомеханической изученности массива горных пород Гайского месторождения. Основной целью исследований являлось определение параметров первоначальных напряжений, действующих в бетонной крепи стволов на различных глубинах. В натурных условиях определялись параметры напряжений, действующих в крепи стволов на глубоких горизонтах рудника, производился мониторинг напряженно-деформированного состояния крепи стволов на различных горизонтах по всей глубине ствола в период 2013 – 2017 гг.*

*Ключевые слова: наблюдательная станция, деформации, мониторинг напряженно-деформированного состояния крепи стволов, переменные во времени напряжения, бетонная крепь, массив горных пород*

*Abstract:*

*The results of researches, largely increasing the degree of knowledge of the geo-mechanical rock mass in Gaisky deposit are presented. The main purpose of the research was to determine the initial parameters of stresses acting in the shafts' concrete lining at different depths. In natural conditions the parameters of the stress acting in the shafts lining in the deep horizons of the mine were determined; monitoring the stressed-deformed state of the shafts lining at different levels throughout the depth of the shaft in the period 2013 - 2017 years was carried out.*

*Key words: observation station, deformations, monitoring the shafts' lining stressed-deformed state, the voltage variable in time, concrete lining, rock mass*

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. Для замеров напряжений использовался метод щелевой разгрузки [1] (табл. 1), который хорошо себя зарекомендовал для определения напряженного состояния в монолитной бетонной крепи стволов в условиях шахт Гайского ГОКа.

Для этого был применен модифицированный вариант производства измерений. Для образования разгрузочной щели был использован бензорез, алмазная пила которого позволяла пропилить щель шириной 330 мм на глубину 120 мм. Расстояние между реперами было принято 70 мм. Это потребовало корректировки расчетной формулы [2].

Путем решения плоской задачи теории упругости пересчет полученных величин относительных деформаций в напряжения производится по формуле:

$$\sigma = \frac{U_{AB} E_B}{1,034 * 2L - l(1 - K_{\perp(l)} + \mu K_{\parallel(l)})},$$

где  $U_{AB}$  – величина смещения реперов на базе АВ, см;

$E_B$  – модуль упругости бетона, МПа;  
 $l$  – расстояние между реперами, м;  
 $L$  – радиус щели, м;  
 $K$  – интегральные коэффициенты концентрации напряжений, действующие на участках между основными реперами и разгрузочной щелью;  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона деформируемого материала крепи. При замерах в бетонной крепи ствола повсеместно принимали  $\mu = 0,3$ .

Результаты расчета напряжений, действующих в бетонной крепи, представлены в табл. 1.

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

Для замера переменных напряжений во времени, формирующихся в бетонной крепи, были оборудованы наблюдательные станции на базе 1600 мм в горизонтальном и вертикальном направлениях. Станции установлены в ходовом отделении ствола шахты «Клетевая» на отметках -830 м, -910 м, -990 м, -1070 м и -1390 м. На этих базах производились измерения изменения напряженно-деформированного состояния во времени с периодичностью раз в четыре месяца. Изменения напряжений также фиксировались и по реперам, установленным при проведении щелевой разгрузки на базах 70 мм. Характер изменения напряжений при измерении деформаций в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на базе 70 мм и на базе 1600 мм в мм представлен на рис. 1–5.

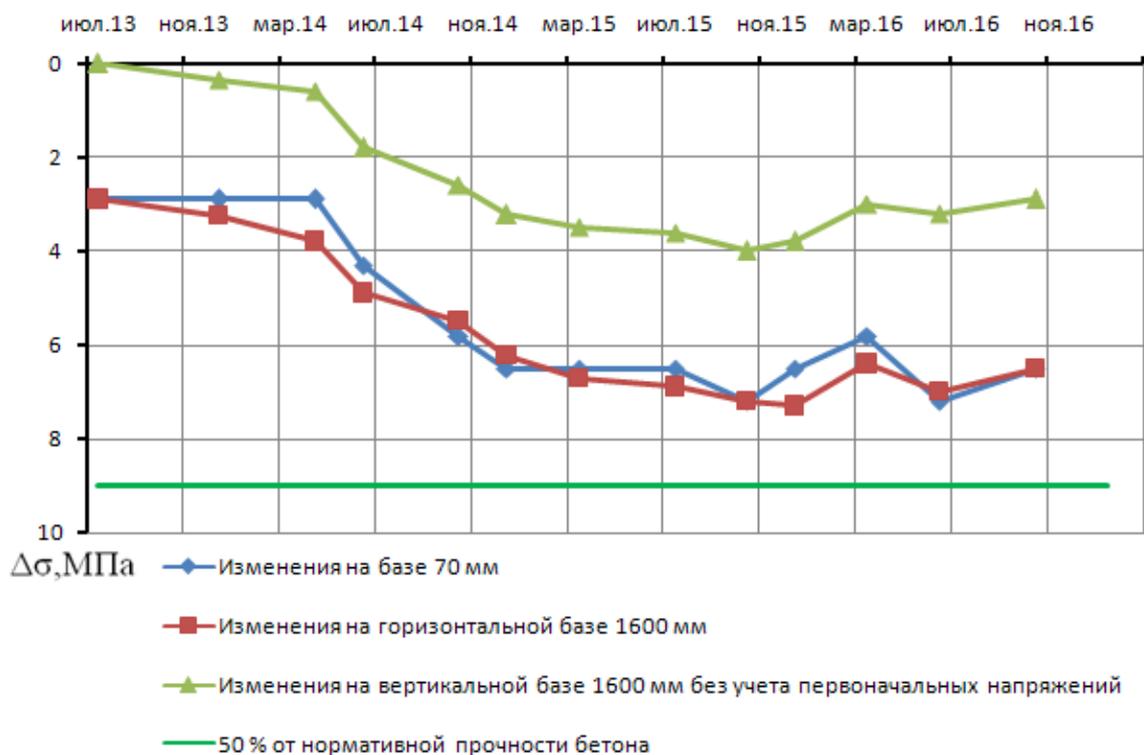


Рис. 1 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -830 м

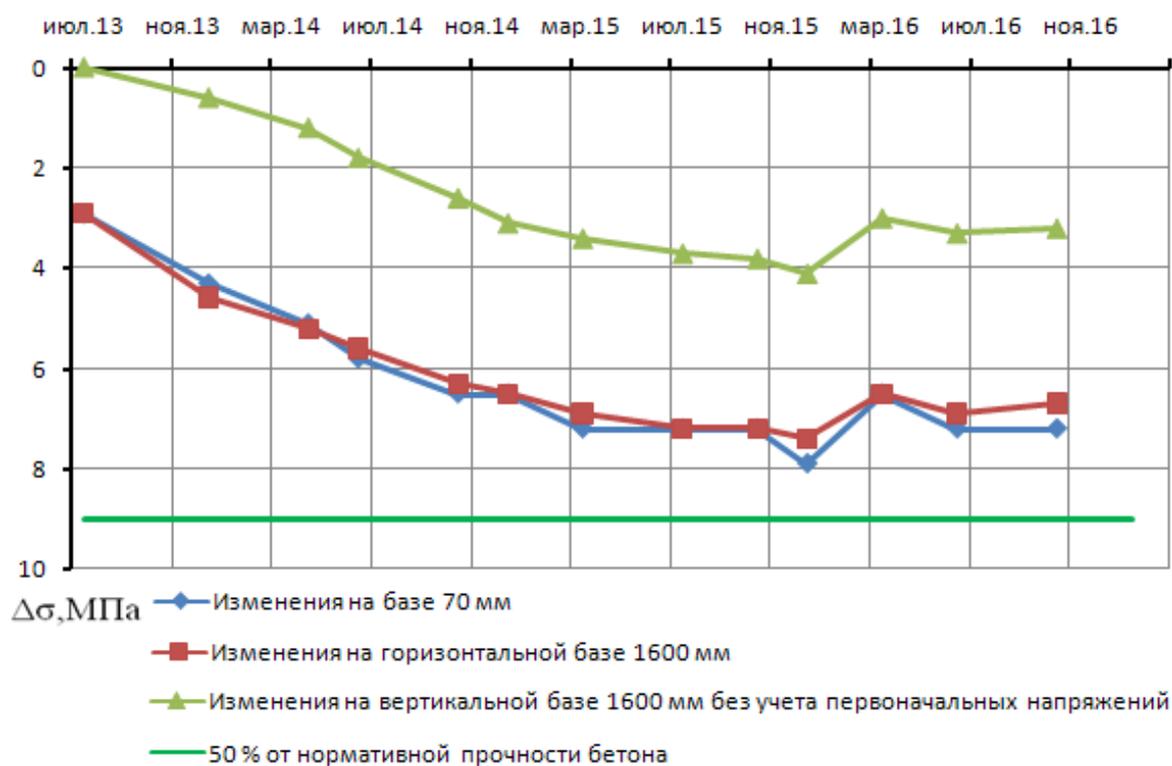


Рис. 2 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -910 м



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

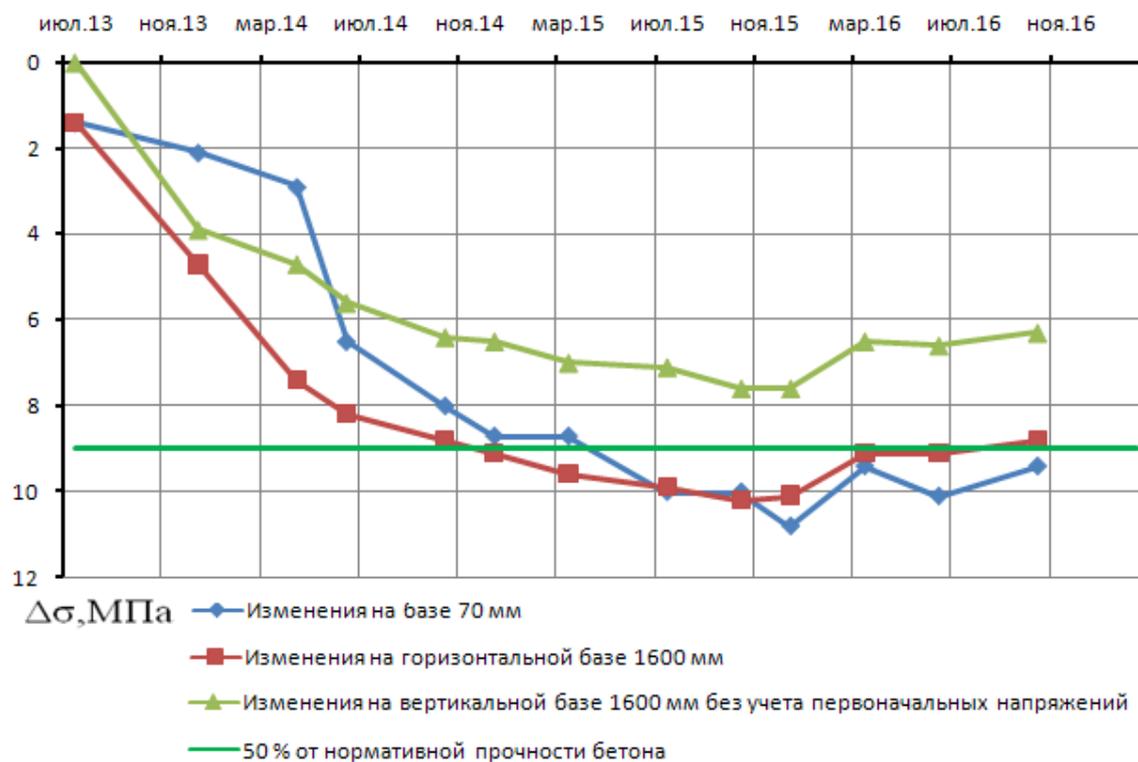


Рис. 4 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -1075 м

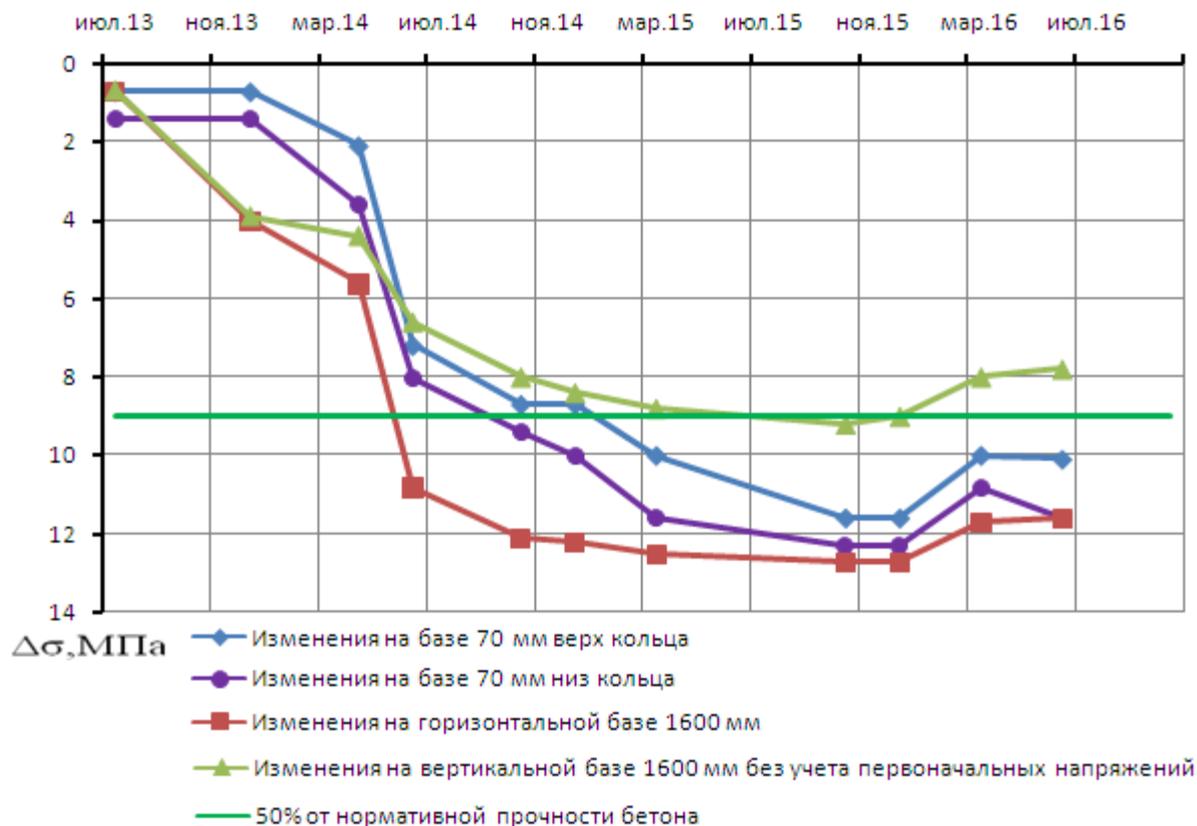


Рис. 5 – График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на горизонте -1390 м

В результате длительного геодеформационного мониторинга изменения напряженно-деформированного состояния в крепи ствола «Клетевой» было зафиксировано изменение напряженно-деформированного состояния на величину до -12 МПа на нижних горизонтах в горизонтальном ( $X$ ) направлении и на величину до -12 МПа в вертикальном ( $Z$ ) направлении.

Результаты измерений переменных во времени напряжений, представленные на графиках (рис. 1 – 5), согласуются с результатами измерений в массиве, проводимых лабораторией геодинамики и горного давления с 1998 г. [3].

При поддержке РФФИ в 1998 г. ИГД УрО РАН начал изучение периода, амплитуды и азимутов пульсации тектонических напряжений в земной коре Северного, Среднего и Южного Урала, в рамках наноцикла 15-го класса [4]. Были оборудованы геодезические пункты (ГП) под землей и на поверхности. Подземные ГП расположены на действующих рудниках вне зоны влияния горных работ, в районе следующих городов: Краснотурьинск на глубине -600 м; Нижний Тагил (-480 м); Березовский (-512 м; -712 м), Гай (-830 м), а также на поверхности в окрестностях г. Екатеринбург.

Для подземных ГП выбраны различно ориентированные выработки, в которых заложены реперные линии на базах 40 – 50 м. Расстояния между реперами измеряются рулеткой по методике гибких нитей [5], что обеспечивает точность измерения изменения базы до 0,2 мм. На поверхности измерения производили на базах от 1,5 км с помощью спутниковой навигационной системы *GPS*.

Обработка результатов заключалась в следующем:

- была выбрана база  $L_0$ , измеренная, к примеру, в декабре 1998г., относительно которой оценивали изменение длины в последующие замеры;
- по полученным изменениям длины линий  $\Delta(L_i - L_0)$  определялась относительная деформация массива горных пород  $\varepsilon_i$ ;
- подбирались комбинации из трех линий и находились  $\Delta\sigma_1$ ;  $\Delta\sigma_2$ , (МПа);  $\alpha_{l-1}$ , (град);
- после статистической обработки получали средние значения  $\Delta\sigma_1$ ;  $\Delta\sigma_2$ ;  $\alpha_1$  и азимут действия  $\Delta\sigma_1$ ;
- за весь период наблюдений был найден средний азимут действия  $\Delta\sigma_1$  или  $\Delta\sigma_2$ , который принимается за ось абсцисс  $X$  и  $\Delta\sigma_x$ ;  $\Delta\sigma_y$ ;  $\Delta\tau_{xy}$ , которые более наглядно характеризуют изменение напряжений во времени.

Анализ изменения во времени (пульсации) значений  $\Delta\sigma_1$ ;  $\Delta\sigma_2$  на месторождениях Урала показал, что они примерно равны, поэтому было принято решение в дальнейшем величину, характеризующую изменение горизонтальных напряжений, принимать как среднее значение ( $\Delta\sigma_{cp}$ )  $\Delta\sigma_1$  и  $\Delta\sigma_2$ . Так как предполагается, что это изменение вызвано астрофизическими явлениями, то вышеописанное среднее значение ( $\Delta\sigma_{cp}$ ) обозначается  $\sigma_{AF}$ :

$$\sigma_{AF} = \Delta\sigma_{cp} = (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2)/2.$$

Наиболее близки к таким явлениям галактические космические лучи (протон-электронная плазма), периодичность интенсификации которых имеет 11-летний цикл и совпадает по фазе с  $\sigma_{AF}$ , но в противофазе с интенсивностью пятнообразования ( $W$ ) и солнечной постоянной ( $S_0$ ) [6]. Считается, что преобладание протонного излучения приводит к сжатию, а преобладание электронного – к расширению материала [7].

На рис. 6 представлены графики изменения составляющих НДС массива  $\sigma_{AF}$  (астрофизические напряжения) и  $\varepsilon_{AF}$  (деформация, вызванная действием  $\sigma_{AF}$ ) на рудниках в городах Урала и Алтая на фоне изменения излучения Солнца  $S_0$  в 11-летних циклах. Данные изменения НДС на рудниках Алтая были взяты из литературы [8]. Из графика на рисунке видно, что изменения тренда НДС массива точно повторяют изменения  $S_0$ . Деформация Земли получена по прогнозу В.Е. Хаина [9, 10].

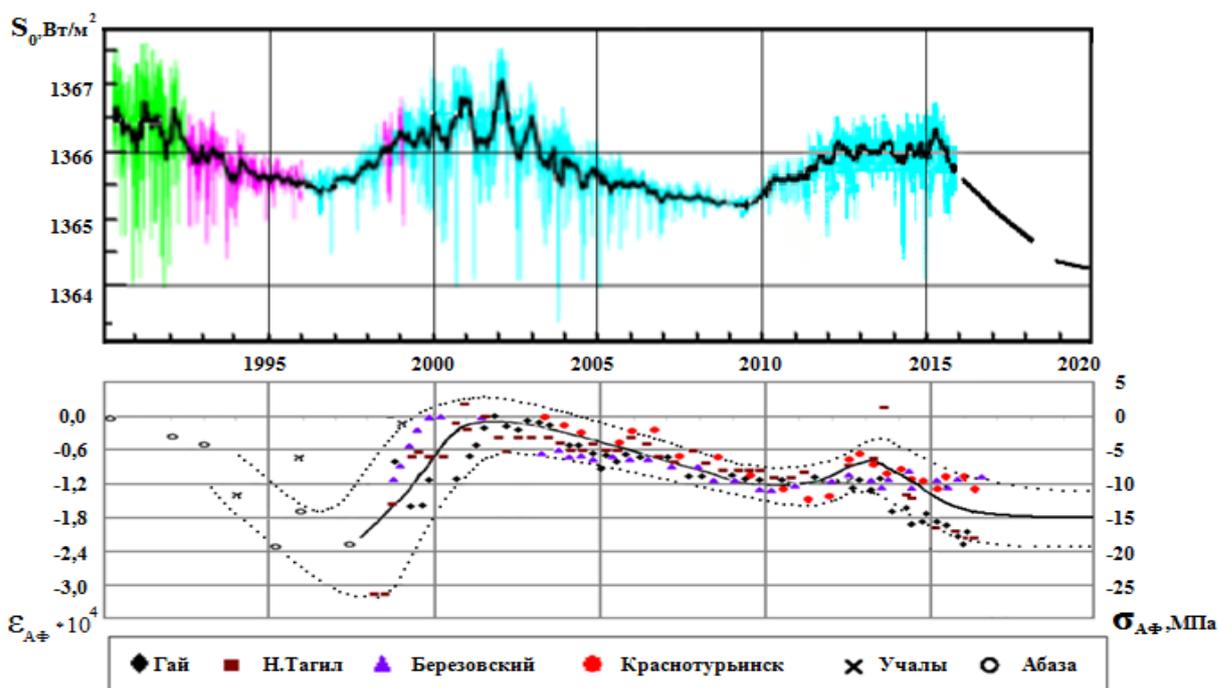


Рис. 6 – Изменение НДС массива  $\sigma_{АФ}$  и  $\epsilon_{АФ}$  на рудниках в городах Урала и Алтая на фоне изменения излучающей способности Солнца  $S_0$  и интенсивности космического излучения

В 2013 г. на Гайском подземном руднике были зафиксированы  $\sigma_{АФ} = -9$  МПа. В соответствии с прогнозируемым трендом изменения переменных во времени напряжений к 2020 г. их величины могут достигнуть  $-30$  МПа, при этом напряжения в бетонной крепи вертикальных стволов значительно увеличатся при модуле упругости массива пород  $E_m = 0,72 \cdot 10^5$  до горизонта  $-1075$  м,  $E_m = 0,57 \cdot 10^5$  – до горизонта  $-1390$  м, а модуль упругости бетона  $E_b = 0,2 \cdot 10^5$ . Прогнозные результаты напряжений в бетонной крепи ствола представлены в табл. 2.

Величины расчетных напряжений близки к нормативной прочности бетона. Вследствие этого, одной из основных задач является поиск конструктивных и технологических решений, направленных на повышение устойчивости крепи. Эта задача решается за счет применения упрочняющих видов крепления: анкерования приконтурного массива штанговыми или тросовыми анкерами, смолоинъекцией, цементацией и прочими способами повышения сцепления между структурными породными блоками.

Для вновь строящихся шахт проведенные исследования показывают, что применение бетонной крепи для поддержания стволов в условиях экстремальных значений переменных во времени напряжений не обеспечит необходимого запаса прочности, т. е. действующие напряжения в крепи могут превысить нормативную прочность бетона.

Учитывая, что стволы будут работать в сложных условиях, можно рекомендовать тубинговую крепь с тампонажем закрепного пространства цементно-песчаной смесью и последующим упрочнением массива путем цементации, что обеспечит устойчивое состояние ствола. В табл. 2 приведены данные напряжений, которые могут возникнуть в крепи при экстремальных значениях переменных во времени напряжений. В таких условиях бетонная крепь не обеспечит устойчивость ствола, поэтому необходимо применять крепь из чугунных тубингов.

Упрочнение массива путем цементации позволит создать вокруг ствола упрочненную породобетонную оболочку и повысить несущую способность крепи.

Таблица 2

**Расчетные напряжения в крепи при экстремальных значениях переменных во времени напряжений**

Вид крепи	Гор. -830 м	Гор. -910 м	Гор. -990 м	Гор. -1075 м	Гор. -1390 м	Гор. -1390 м
$\sigma_{\theta(\kappa)}$ бетон, МПа	-20,38	-20,38	-18,8	-23,5	-22,97	-23,5
$\sigma_{\theta(\kappa)}$ чугун, МПа	-68,38	-68,38	-66,8	-59,19	-58,66	-59,19

Сравнивая расчетные величины напряжений в крепи с расчетными сопротивлениями чугуна, можно отметить, что тубинговая крепь с тампонажем закрепного пространства 30 см обеспечит устойчивое состояние ствола при прогнозируемых условиях работы.

**Выводы**

В результате проведенных исследований в значительной мере повышена степень геомеханической изученности массива горных пород Гайского месторождения.

Основные практические выводы и рекомендации, полученные при выполнении работы, сводятся к следующему:

1. Расчет напряженного состояния бетонной крепи шахтных стволов должен производиться с учетом суммы гравитационных, статических тектонических и переменных во времени напряжений в окружающем массиве горных пород.

2. Напряжения в бетонной крепи стволов формируются как в момент строительства с учетом способа проходки, так и за счет дополнительного воздействия переменных напряжений в исследуемый момент времени, которые с 1998 по 2017 год изменились от 0 до 15 МПа.

3. Зафиксировано изменение напряженно-деформированного состояния в крепи ствола шахты «Клетевая» на величину до -12 МПа на нижних горизонтах в горизонтальном (X) направлении и на величину до -12 МПа в вертикальном (Z) направлении.

**Литература**

1. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. – 333 с.
2. Сентябов С.В. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов / С.В. Сентябов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 415 – 419.
3. Зубков А.В. Горнотехнические условия отработки колчеданных месторождений / А.В. Зубков // Уральский горнопромышленный форум: V: Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд: матер. Всерос. науч. конф. Чтения памяти С.Н. Иванова / УрО РАН, Институт геологии и геохимии УрО РАН и др. - Екатеринбург, 2013. – С. 60 - 62.
4. 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.
5. Зубков А.В. Напряженное состояние Земной коры Урала / А.В. Зубков // Литосфера. - 2002. - № 3. - С. 13 - 18.

6. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду / Х.И. Абдусаматов. – СПб.: Нестор, 2013. – 246 с.
7. Тарасов Б.Г. Пульсация земли и циклы геодинамической активности в потоках космической плазмы / Б.Г. Тарасов. - СПб: МАНЭБ, 2009. – 319 с.
8. Синкевич Н.И. Исследование напряженно-деформированного состояния в призабойном массиве вертикальных стволов Абаканского месторождения / Н.И. Синкевич // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2006. - № 5. - С. 32 - 35.
9. Хаин В.Е. Геотектоника с основами геодинамики: 2-е изд./ В.Е. Хаин, М.Г. Ломидзе. – М.: МГУ, 1995. – 463 с.
10. Штенгелов Е.С. Современное раздвижение земной коры и гипотезы тектоники плит / Е.С. Штенгелов // Бюллетень МОИП. Отд. геол. - 1982. - № 3. - С. 13 - 17.