

УДК 622.833.5

**Сентябов Сергей Васильевич**

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)

**Sentyabov Sergei V.**

Junior researcher,  
the Institute of Mining UB RAS,  
620075, Yekaterinburg,  
Mamin-Sibiryak St., 58  
e-mail: [sentyabov1989@mail.ru](mailto:sentyabov1989@mail.ru)

**ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В  
БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
СТВОЛОВ****RELATIONSHIP GENERATING  
A VOLTAGE AT THE CONCRETE LINING  
OF THE TRUNK***Аннотация:*

Представлены результаты исследований, дано решение актуальной научной задачи, заключающейся в научном обосновании закономерностей формирования напряжений в бетонной крепи вертикальных стволов, являющихся суммой гравитационных, условно постоянных тектонических и переменных во времени астрофизических напряжений. Приведены расчеты и замеры напряжений в крепи стволов, формирующихся за счет переменных во времени астрофизических напряжений, которые могут достигать 10 – 15 МПа, а в перспективе 20 – 30 МПа.

*Ключевые слова:* условно постоянные тектонические напряжения, напряженно-деформированное состояние крепи стволов, астрофизические напряжения, бетонная крепь, массив горных пород

*Abstract:*

The results of the research, given the decision to act-Hoc scientific challenge of the scientific basis of laws of formation of stresses in the concrete lining vertical shafts which are the sum of gravity, relatively constant tectonic and time-varying astrophysical stresses of importance to science and practice of the mining industry. Calculations and measurements of stresses in the lining trunks emerging due to time-varying astrophysical stresses that can reach 10 - 15 MPa, and in the future 20 - 30 MPa.

*Key words:* conditionally permanent tectonic stresses, stress-strain state of the trunk fixing, astrophysical stresses, concrete fixing, rock mass

Капитальные бетонные сооружения (стволы), возводимые в массиве горных пород, наряду с выполнением технологических функций, должны соответствовать требованиям безопасности работающего персонала и объектов, расположенных в зоне их влияния. При расчете параметров устойчивости бетонной крепи вертикальных стволов учитывается множество технологических, технических и природных факторов.

После проходки ствола полная конвергенция его стенок в условиях плоской деформации составит

$$U_D = \frac{D(1-\mu)}{2E_n} (\sigma_1 + \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2)(3 - 4\mu)\cos 2\theta), \quad (1)$$

где  $U_D$  – конвергенция стенок ствола по диаметру, мм;  $D$  – диаметр ствола, мм;  $E_n$  – модуль упругости массива пород;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\sigma_1, \sigma_2$  – главные горизонтальные напряжения, МПа;  $\theta$  – угловая координата, град.

С приближением к забою конвергенция стенок ствола уменьшается (рис. 1), составляя на расстоянии от забоя  $2D - 100\%$ ;  $D - 97\%$ ;  $0,5D - 80\%$ ;  $0,25D - 70\%$  и у забоя  $50\%$  [1].

$$U_{D(x)} = \frac{(1-\mu^2)D}{E_n} (\sigma_x K_{x(x)} + \sigma_y K_{x(y)} + \sigma_z K_{x(z)}), \quad (2)$$

$$U_{D(y)} = \frac{(1-\mu^2)D}{E_n} (\sigma_x K_{y(x)} + \sigma_y K_{y(y)} + \sigma_z K_{y(z)}), \quad (3)$$

где  $U_D$  – конвергенция стенок ствола по диаметру, мм;  $K_{x(x)}, K_{y(x)} \dots$  – условные коэффициенты концентрации напряжений ( $\sigma_x$ ), ( $\sigma_y$ ), ( $\sigma_z$ ) по осям  $X$  и  $Y$ ;  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – составляющие главных напряжений, МПа.

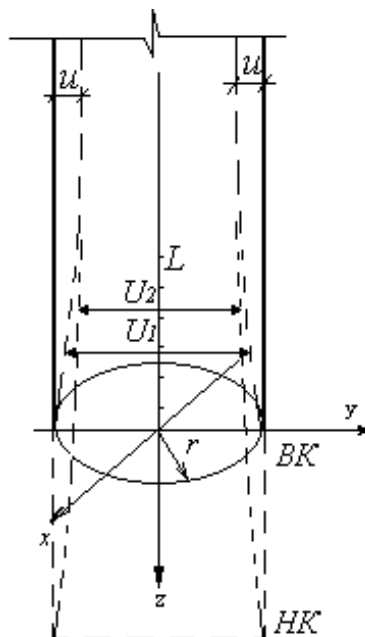


Рис. 1 – Схема конвергенции стенок ствола

Расчет произведен для Гайского подземного рудника на горизонте  $-1075\text{м}$ , где природные напряжения измеряли методом щелевой разгрузки в 2008 г. Величины первоначальных напряжений, действующих в массиве пород месторождения составляют  $\sigma_x = -32$  МПа;  $\sigma_y = -49$  МПа;  $\sigma_z = -33$  МПа.

Рассмотрим деформации  $U_{D(x)}$  и  $U_{D(y)}$  на разных расстояниях от забоя  $L/D$  (табл. 1) и построим графики  $U_{D(x)}$  и  $U_{D(y)}$  (рис. 2, 3) в зависимости от отношения  $L/D = 0,1; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4$  (табл. 2).

Таблица 1

**Условные коэффициенты концентрации на различном удалении от забоя**

	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$K_{x(x)}$	1,68	2,02	2,38	2,64	2,84	2,9	3,0
$K_{x(y)}$	-0,6	-0,62	-0,8	-0,88	-0,92	-0,98	-1,0
$K_{x(z)}$	-0,32	-0,29	-0,24	-0,15	-0,08	-0,025	0

Таблица 2

**Изменение диаметра ствола за счет конвергенции стенок**

$L/D$	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$U_{D(y)}$	-1,75	-3,1	-4,3	-5,1	-5,5	-5,6	-5,7
$U_{D(x)}$	-6,7	-8,8	-11,3	-12,7	-13,3	-13,6	-13,7

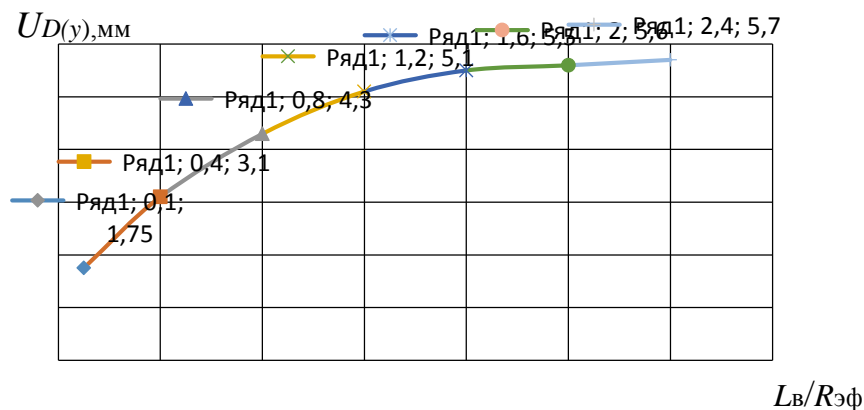


Рис. 2 – График изменения диаметра ствола за счет конвергенции стенок  $U_{D(y)}$

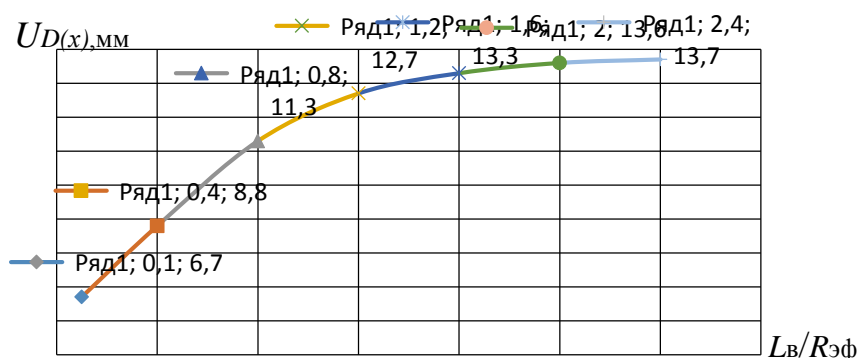


Рис. 3 – График изменения диаметра ствола за счет конвергенции стенок  $U_{D(x)}$

При дальнейшей проходке этот участок ствола испытывает максимальную нагрузку в соответствии со следующими зависимостями:

$$\sigma_{\theta(x)} = \frac{(1 - \mu_B^2) E_B}{E_{II}} \left[ \sigma_X^{\Pi} (K_{X(x)}^0 - K_{X(x)}^1) + \sigma_Y^{\Pi} (K_{X(y)}^0 - K_{X(y)}^1) + \sigma_Z (K_{X(z)}^0 - K_{X(z)}^1) \right] \quad (4)$$

$$\sigma_{\theta(y)} = \frac{(1 - \mu_B^2) E_B}{E_{II}} \left[ \sigma_Y^{\Pi} (K_{Y(x)}^0 - K_{Y(x)}^1) + \sigma_Y^{\Pi} (K_{Y(y)}^0 - K_{Y(y)}^1) + \sigma_Z (K_{Y(z)}^0 - K_{Y(z)}^1) \right] \quad (5)$$

где  $K_{n(i)}^0$  – коэффициенты концентрации на удалении от забоя более  $1,5 D$ ;

$K_{n(i)}^1$  – коэффициенты концентрации в сечениях ближе чем  $1,5 D$ ;

$E_{II}$  – модуль упругости массива пород, МПа;

$E_B$  – модуль упругости бетона, МПа;

$\sigma_X^{\Pi}; \sigma_Y^{\Pi}; \sigma_Z$  – главные первоначальные напряжения, МПа.

Таблица 3

**Расчетные напряжения в бетонной крепи**

Горизонт	Верх кольца		Низ кольца	
	$\sigma_{\theta(x)}$ , МПа	$\sigma_{\theta(y)}$ , МПа	$\sigma_{\theta(x)}$ , МПа	$\sigma_{\theta(y)}$ , МПа
-830 м	-8,5	-0,77	-15,3	-0,6
-910 м	-8,7	-0,9	-15,8	-0,8
-1075 м	-8,8	-1,2	-16,6	-4,8

На основании полученных результатов представляется возможным сделать следующий предварительный вывод об устойчивости крепи стволов рудника. На участках, где проходку приостанавливали на время, когда бетон набирал свою полную прочность, в крепи ствола возникали максимальные напряжения (табл. 3). Величины рассчитанных напряжений на горизонте  $-830$  м и ниже близки к нормативной прочности бетона, равной для М200 18 МПа. На этих участках есть опасность нарушения крепи стволов.

В процессе исследований на месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного метода щелевой разгрузки [1]. Измерения были проведены на глубине  $-830$ ,  $-910$ ,  $-990$ ,  $-1070$  и  $-1390$  м Гайского подземного рудника.

По результатам измерений с помощью нового метода были получены определенные деформации и пересчитаны в напряжения, представленные в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты расчета напряжений в бетонной крепи ствола методом щелевой разгрузки**

1-я станция (горизонт $-830$ м)	2-я станция (горизонт $-910$ м)	3-я станция (горизонт $-990$ м)	4-я станция (горизонт $-1075$ м)	5-я станция (горизонт $-1390$ м)	6-я станция (горизонт $-1390$ м)
$-2,1$ МПа	$-2,1$ МПа	$-0,52$ МПа	$-1,05$ МПа	$-0,52$ МПа	$-1,05$ МПа

Полученные величины напряжений в крепи, возведенной при совмещенном способе проходки, подтверждают, что бетон не набрал полную прочность и деформировался пластично.

По выполненным измерениям вычисляем  $\Delta L$  смещения реперов на базе 70 мм, путем решения плоской задачи теории упругости получаем напряжения в бетонной крепи по табл. 5 и строим график изменения напряжений во времени в бетонной крепи ствола «Клетевой» на базе 70 мм (рис. 4).

График на рис. 4 согласуется с измерениями изменений астрофизических напряжений в массиве, проводимых лабораторией геодинамики и горного давления с 1998 г. [2]. Для этого были оборудованы наблюдательные станции в различных районах Урала: подземные – вне зоны влияния горных работ в районе городов Красноуральск, Нижний Тагил, Березовский и Гай, на глубинах от 420 до 1070 м.

Были установлены наблюдательные станции, и измерения проводились 3 – 4 раза в год. В ходе анализа результатов натурных исследований было установлено явление периодического изменения НДС массива горных пород вследствие расширения и сжатия земной коры (Земли) с временным интервалом в среднем 11 лет. Но разница в величинах напряжений объясняется разномодульностью пород и концентрацией напряжений в приконтурной части ствола. На рис. 5 представлен график изменений астрофизических напряжений в массиве пород месторождения с начала 2013 г.

В 2013 г. на Гайском подземном руднике были зафиксированы  $\sigma_{\text{АФ}} = -7$  МПа; в соответствии с прогнозируемым трендом изменения астрофизических напряжений к 2020 г. их величины могут достигнуть  $-30$  МПа, при этом напряжения в бетонной крепи вертикальных стволов значительно увеличатся (рис. 6) при модуле упругости массива пород  $E_{\text{М}} = 0,72 \cdot 10^5$  до горизонта  $-1075$  м,  $E_{\text{М}} = 0,57 \cdot 10^5$  до горизонта  $-1390$  м, а модуль упругости бетона составит  $E_{\text{Б}} = 0,2 \cdot 10^5$ . Прогнозируемые результаты расчета напряжений в бетонной крепи ствола представлены в табл. 6.

Таблица 5

**Величины замеренных деформаций и вычисленных напряжений в бетонной крепи ствола «Клетьевой» на базе 70 мм**

Горизонт	10.07.13		18.12.13		03.04.14		18.06.14		07.10.14		16.12.14	
	$\Delta L$ , см	$\Delta\sigma$ , МПа	$\Delta L$ , см	$\Delta\sigma$ , МПа	$\Delta L$ , см	$\Delta\sigma$ , МПа	$\Delta L$ , см	$\Delta\sigma$ , МПа	$\Delta L$ , см	$\Delta\sigma$ , МПа	$\Delta L$ , см	$\Delta\sigma$ , МПа
-830м	-0,004	-2,1	-0,004	-2,1	-0,008	-4,2	-0,008	-4,2	-0,008	-4,2	-0,009	-4,7
-910м	-0,004	-2,1	-0,006	-3,15	-0,009	-4,7	-0,009	-4,7	-0,009	-4,7	-0,009	-4,7
-990м	-0,001	-0,52	-0,001	-0,52	-0,007	-3,7	-0,007	-3,7	-0,007	-3,7	-0,01	-5,2
-1075м	-0,002	-1,05	-0,003	-1,5	-0,011	-5,8	-0,011	-5,8	-0,011	-5,8	-0,012	-6,3
-1390м*	-0,001 -0,002	-0,52 -1,05	-0,001 -0,002	-0,52 -1,05	-0,012 -0,013	-6,3 -6,8	-0,012 -0,013	-6,3 -6,8	-0,012 -0,013	-6,3 -6,8	-0,012 -0,014	-6,3 -7,3

\*в числителе указаны значения, замеренные вверху кольца бетонной крепи, в знаменателе внизу кольца, соответственно

$\Delta\sigma, \text{МПа}$

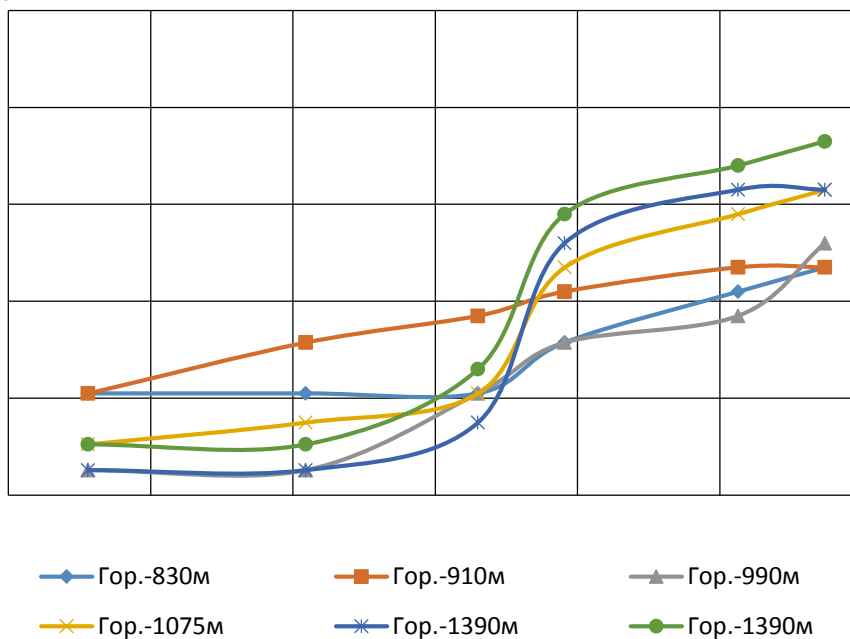


Рис. 4 – График изменения напряжений во времени в бетонной крепи ствола «Клетьевой» на базе 70 мм

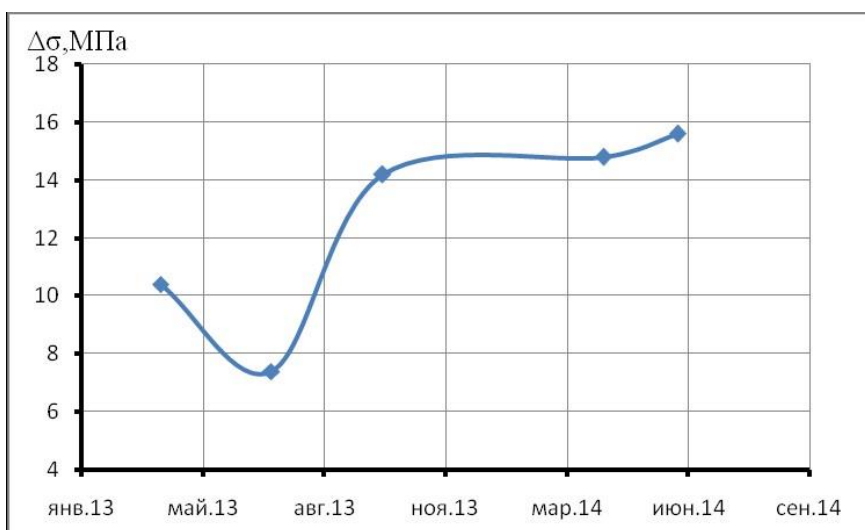


Рис. 5 – График изменения астрофизических напряжений  $\sigma_{АФ}=-7$  в массиве пород Гайского месторождения

Таблица 6

**Прогнозные результаты напряжений в бетонной крепи ствола**

1-я станция (горизонт -830 м)	2-я станция (горизонт -910 м)	3-я станция (горизонт -990 м)	4-я станция (горизонт -1075 м)	5-я станция (горизонт -1390 м)	6-я станция (горизонт -1390 м)
-14,71 МПа	-14,71 МПа	-13,13 МПа	-13,66 МПа	-16,22 МПа	-16,75 МПа

Если судить о совпадении величин  $\epsilon$  на Солнце и на Земле и времени достижения ими экстремумов при проецировании на излучающую способность Солнца  $S_0$  и принять во внимание то, что в нано- и пикоциклах Земля (Земная кора) сжимается и расширяется объемно-равномерно в вертикальном и горизонтальном направлениях, то причиной этого явления могут быть

- магнитозвуковые волны космоса [3];
- излучение протонное (материал сжимается) и электронное (материал расширяется) [4];
- галактические космические лучи [5];
- гравитационные волны;
- электромагнитное излучение и т. п.

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 (см. рис. 6).



Рис. 6 – График прогнозного изменения напряжений во времени в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая»

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При совмещенном способе проходки природные напряжения практически не оказывают влияния на формирование напряжений в бетонной крепи ствола, они не превышают 2 – 3 МПа из-за того, что бетон при совмещенном способе проходки не набрал полную прочность и деформировался пластично.

2. Основные напряжения в бетонной крепи ствола формируются за счет переменных во времени астрофизических напряжений, которые могут достигать 10 – 15 МПа, а в перспективе 20 – 30 МПа, что может привести к напряжениям, близким к нормативной прочности бетона.

### Литература

1. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - 335 с.
2. Зубков А.В. Горнотехнические условия отработки колчеданных месторождений / А. В. Зубков // V Уральский горнопромышленный форум: Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд: материалы Всерос. науч. конф.

Чтения памяти С. Н. Иванова / УрО РАН; Институт геологии и геохимии УрО РАН и др. - Екатеринбург, 2013. – С. 60 - 62.

3. Русинов Ю.И. Ионосфера в едином поле волн [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// comm. goscocosmos. ru/Docs/RusF2.doc](http://comm.goscocosmos.ru/Docs/RusF2.doc) или [www.ntpo.com](http://www.ntpo.com) в разделе «Тайны космоса», 2008.

4. Тарасов Б.Г. Пульсация земли и цикла геодинамической активности в потоках космической плазмы / Б.Г. Тарасов. – СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 2009.

5. Распопов О.М. Долговременные тренды в модуляции космических лучей солнечным ветром за последние 150 лет / О.М. Распопов, В.А. Дергачев // Эффекты модуляции космических лучей солнечным ветром. - СПб.: ИЗМИРАН, 2003.