

Особенности формирования напряженно-деформированного состояния в бетонной крепи стволов Донского и Гайского ГОКов

Зубков А. В.¹, Феклистов Ю. Г.¹, Сентябов С. В.^{1*}

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: sentyabov1989@mail.ru

Реферат

Цель исследования. Изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонной крепи стволов Донского и Гайского ГОКов. На Донском ГОКе в начале 1980-х гг. происходило спонтанное разрушение крепи стволов. Наибольшие объемы вывалов породы были отмечены в скипо-клетевом и клетевом стволах шахты «Центральная», где было обследовано 4 ствола, и 2-х стволах шахты «Молодежная». На Гайском ГОКе с 2013 г. ведутся исследования формирования НДС крепи с целью прогноза устойчивости стволов и предупреждения аварийных ситуаций.

Методика исследования. 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.

Анализ результатов. Установлено, что неравномерность распределения НДС в крепи по периметру ствола обусловлена анизотропией поля напряжений в массиве пород. При этом положение зон с наибольшим вывалообразованием хорошо согласуется с максимальными сжимающими напряжениями, действующими в крепи и в окрестном массиве пород.

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.

Ключевые слова: бетонная крепь стволов; напряженно-деформированное состояние; вывалообразование; устойчивость; целевая разгрузка; деформации разгрузки; физико-механические свойства.

Введение. В начале 1980-х гг. на шахте «Молодежная» Донского ГОКа были готовы к эксплуатации 3 вертикальных ствола. Для вскрытия мощных хромитовых залежей в поле шахты «Центральная» в стадии проходки находились 4 ствола. Основные характеристики всех стволов, закрепленных монолитной бетонной крепью, приведены в табл. 1.

На шахте «Центральная» произошли спонтанные разрушения крепи в строящихся стволах. Максимальные объемы вывалов пород и крепи зафиксированы в скипо-клетевом и клетевом стволах (табл. 2).

Шахтостроители провели ряд мероприятий для обеспечения проходки стволов: уменьшили высоту опалубки с 4 до 3 м, применили контурное взрывание, увеличили марку бетона, но разрушение приконтурного массива происходило даже впереди забоя, так как порода местами до 2,0 м разбиралась без применения

буровзрывных работ. Установлено, что объем вывалов на 1 м скипо-клетевого ствола превышает показатель по клетевому стволу в 1,7 раза.

Анализ глубины вывалов от контура стволов привязан к азимуту. В клетевом стволе прослежены диаметральные азимуты (135° и 315°) разрушений, глубина которых в 1,4–1,8 раза больше, чем на соседних участках, и они согласуются с зонами ожидаемых главных напряжений на контуре (около 145° и 325°). В скипо-клетевом стволе отмечено равномерное разрушение по периметру за исключением случаев по азимуту 45° .

Таблица 1. Основные характеристики стволов Донского ГОКа
Table 1. Main characteristics of Donskoy GOK shafts

Шахта, ствол	Диаметр, м		Глубина в проекте, м
	в свету	в черне	
<i>Молодежная</i>			
Клетевой	8,0	8,8	760
Скиповой	6,1	6,8	708
Вентиляционный	6,0	6,7	523
<i>Центральная</i>			
Клетевой	8,0	8,8	765–1290
Скипо-клетевой	7,6	8,3	696
Вентиляционный	6,6	7,2	603
Вспомогательный	6,5	7,2	649

На шахте «Молодежная» в скиповом и клетевом стволах отмечено 40 зон обрушений по направлению 30° – 45° и 210° – 225° , которые согласуются с направлением главных напряжений, действующих по азимуту 135° и в 1,5 раза превышающих по величине ортогональные напряжения.

Анализ аварий в стволах Донского ГОКа показывает, что зоны обрушения в основных стволах совпадают с зонами максимального сжатия приконтурного массива, кроме скипо-клетевого ствола шахты «Центральная».

Таблица 2. Объемы вывалов с глубиной на шахте «Центральная», м³
Table 2. The volume of inrushes with a depth at mine Tsentralnaia, m³

Ствол	Глубина, м						
	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700
Скипо-клетевой	492	386	360	1000	533	1074	1952
Клетевой	254	310	246	227	126	925	899

Известно, что наряду с напряженным состоянием на устойчивость массива оказывает влияние его геологическое и тектоническое строение [1, 2]. Стволы шахты «Центральная» пройдены в серпентинитах с коэффициентом крепости $f=10$. Под действием тектоники породы разбиты трещинами (от 4 до 15 на 1 м), которые заполнены серпофитом, поэтому сцепление пород слабое и они склонны к обрушению. При проходке основных стволов были пересечены три зоны неустойчивых, брекчированных от 5 до 50 см и милонитизированных пород мощностью до 1,0 м с зонами дробления размером до 200 м. Участок для проходки стволов сложный по горно-геологическим условиям и не имеет аналогов в отечественной практике.

Стволы шахты «Молодежная» пройдены по серпентинизированным дунистам. Трещины имеют крутое падение (70° – 80°). Мощных зон дробления

не встречено, но отмечены тектонические нарушения, поэтому условия проходки удовлетворительны.

Таким образом, ультраосновные вмещающие породы Донского ГОКа имеют широкий диапазон прочностных свойств и сильную трещиноватость. Заполнитель трещин – талько-сланцевидный материал, при увлажнении которого резко снижаются прочностные показатели массива.

Гайское медноколчеданное месторождение обрабатывают с 1959 г., оно представлено залежами сложных линзообразных и жиллообразных форм: медный колчедан, медно-цинковый 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.

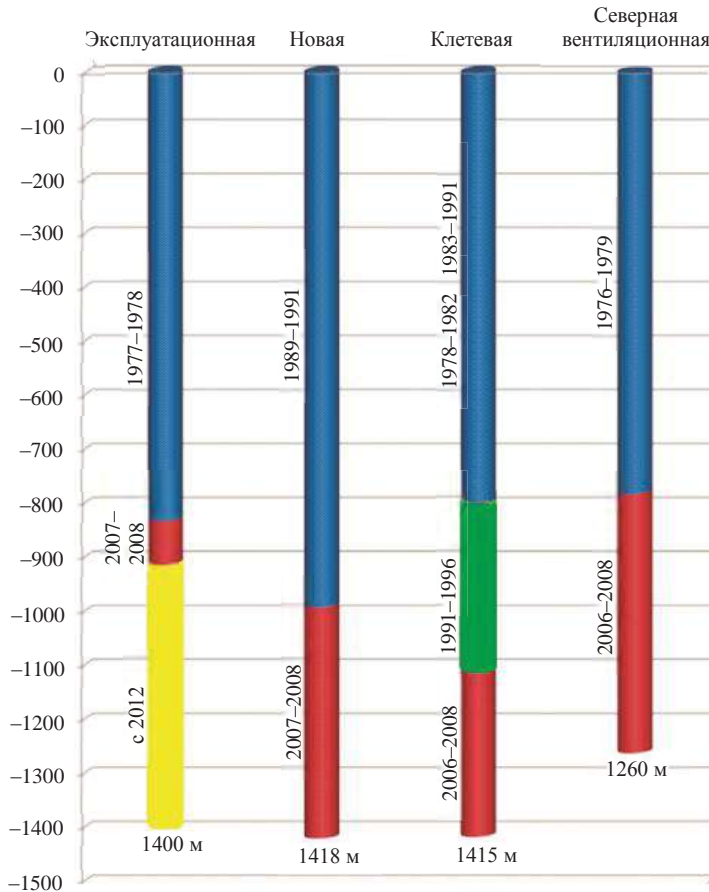


Рис. 1. Схема проходки стволов подземного рудника по годам
Fig. 1. Scheme of underground mine shaft sinking by years

Модуль упругости в массиве определяется по формуле [3]: $E_M = 0,93^n E_0$, МПа, где n – количество рангов геоблоков.

В массивах со средним размером структурных блоков 0,57 м и коэффициентом вложения $\lambda = 2$ модуль упругости пород при $n = 5$ составит $E_M = 0,5 \cdot 10^5$ МПа.

С целью увеличения производительности Гайского подземного рудника с 5,6 до 7 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).

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 соприкосновений стволов с выработками околоствольного двора.

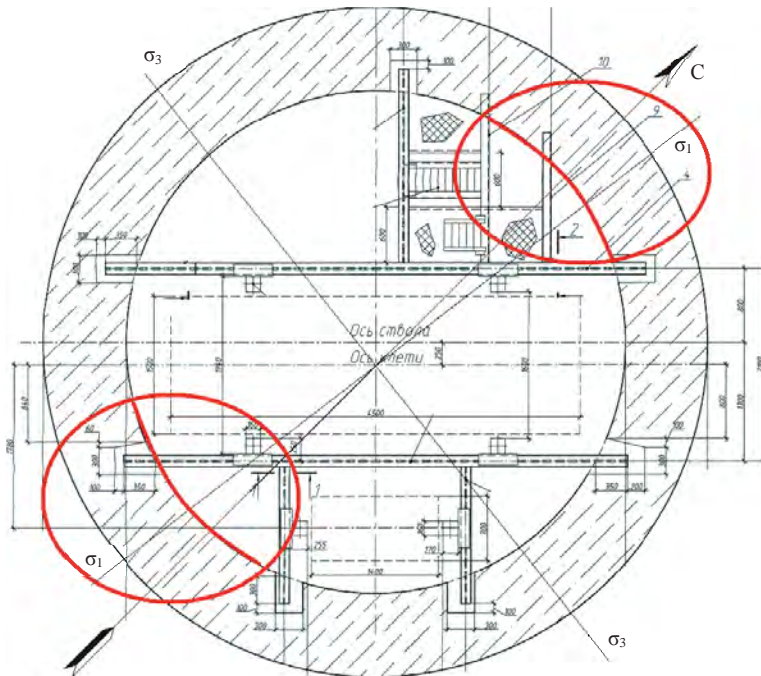


Рис. 2. Направления действия главных сжимающих напряжений с их ориентировкой к оси ствола шахты «Клетевая» Гайского ГОКа
Fig. 2. The direction of main compressive stresses action with their orientation to the axis of Kletevaia mine shaft of Gaisky GOK

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.

Цель работы. Исследование особенностей формирования напряженно-деформированного состояния бетонной крепи стволов Донского и Гайского ГОКов с целью прогноза и предотвращения аварийных ситуаций.

Исследование напряженно-деформированного состояния бетонной крепи Донского ГОКа. Учитывая сложность и трудоемкость работ по определению НДС массива горных пород в подземных условиях, на рудниках обычно прово-

дили одну серию измерений в конкретное время и на конкретной глубине и использовали эти результаты в дальнейшем, считая тектоническую составляющую σ_T константой. На ряде рудников проводили по две, три и более серии измерений по мере вскрытия новых горизонтов. Это дало возможность проследить изменение напряжений с глубиной, появилась возможность проанализировать изменение этих результатов во времени.

К сожалению, из 25 рудников Урала и Казахстана такую информацию удалось получить только на тринадцати. На других рудниках России и мира, как правило, нет точной привязки результатов измерений ко времени и даются лишь усредненные изменения напряжений с глубиной [4–7].

Анализ масштабной аварийной ситуации, имевшей место в начале 1980-х гг. на Донском ГОКа, показал, что для прогноза подобных явлений наряду с информацией о горно-геологических особенностях месторождений необходимо знать параметры НДС массива пород. Для определения величин и направления действия напряжений в крепи стволов шахт необходимо выбрать методику исследования.

Методика определения напряжений в бетонной крепи стволов и вмещающем массиве пород. Определения величин напряжений в бетонной крепи стволов в отечественной практике не отмечено. Объясняется это тем, что существует ряд условий на выбор метода измерения. Обильный водоприток и заполнитель в бетоне (щебень размером 1–1,5 см) исключает применение методов электро-тензометрических датчиков или скважинных деформометров.

В данных условиях приемлемы методы, фиксирующие деформацию разгрузки механическим способом на базах, превышающих размер заполнителя бетона не менее чем в 5 раз.

Метод щелевой разгрузки разработан в ИГД МЧМ СССР для определения напряжений на обнажениях выработок. Разгрузочную щель радиусом 0,3 м в форме полудиска бурят шпурами по шаблону. Деформации разгрузки измеряют между парными реперами до и после разгрузки.

Для определения первоначальных напряжений во вмещающем массиве используют метод частичной разгрузки на большой базе ИГД МЧМ СССР. Первый замер выполняют между парными реперами замерных станций, установленных вблизи забоя ствола. После углубки забоя делают следующие замеры. Разница в замерах дает деформацию ствола, которую используют при расчете напряжений [2].

Прочностные и упругие свойства бетонной крепи определены по ГОСТам [8]. Испытание образцов крепи показало, что прочность бетона при сжатии составляет 34–49 МПа, а модуль упругости $E = (0,23–0,25) \cdot 10^5$ МПа. В пределах нагрузок до 20 МПа отмечена линейная связь между напряжениями и деформацией.

Результаты измерения НДС в крепи стволов Донского ГОКа. При совмещенном способе проходки и крепления ствола напряжения в крепи обусловлены деформацией стенок ствола после возведения крепи, а также упругими свойствами и толщиной бетонной крепи [1].

Согласно исследованиям ИГД МЧМ СССР установлено: при действии начальных напряжений массива пород деформация ствола у забоя составляет 60–70 % от максимальной деформации U_{\max} , которая происходит выше забоя на расстоянии более 2,5 радиусов ствола $R_{\text{ств}}$ [1, 3].

Измерения были проведены в «Клетевом» (39), «Скипо-клетевом» (31), «Северном вентиляционном» (4) и «Вспомогательном» (6) стволах шахты «Центральная», а также в «Клетевом» (9) и «Вентиляционном» (4) стволах шахты «Молодежная». В скобках приведено количество точек измерений. Всего по шахтам выполнено соответственно 80 и 13 замеров.

По полученным тангенциальным напряжениям были построены эпюры распределения напряжений по периметру ствола на уровне низа заходок крепи (рис. 3).

В результате появилась возможность определить максимальные σ_{\max}^k и минимальные σ_{\min}^k напряжения в крепи, а также азимут их действия. Наличие максимумов и минимумов объясняется анизотропией поля напряжений в массиве пород [9].

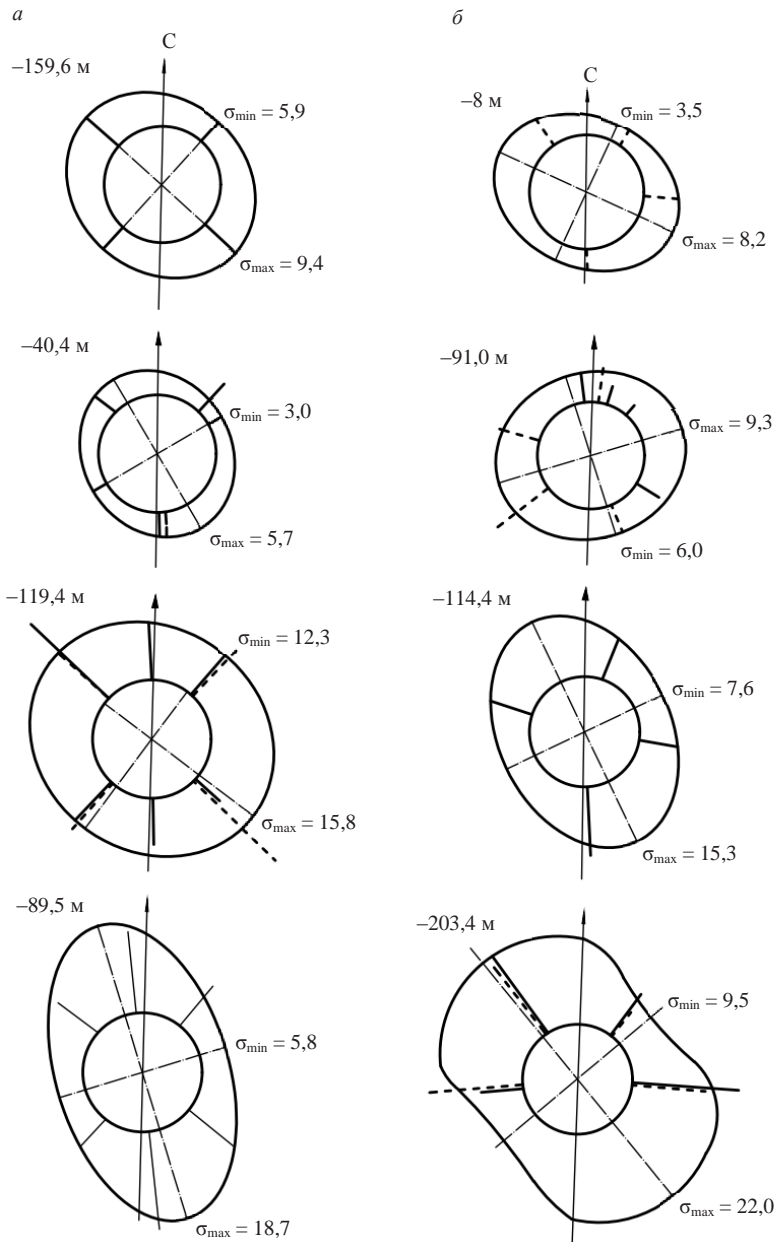


Рис. 3. Эпюры распределения напряжений в бетонной крепи клетевой и скипо-клетевой ствола шахты «Центральная» Донского ГОКа:

a – клетевой; *б* – скипо-клетевой

Fig. 3. Stress distribution diagrams in concrete support of cage and skip-cage shafts of Donskoy GOK mine Tsentralnaia:

a – cage; *b* – skip-cage

Исследованиями первоначального напряженного состояния массива на шахте «Молодежная» методами щелевой и частичной разгрузки на большой базе было установлено: на гор. -135 м вертикальные напряжения равны весу пород

$\sigma_z^M = -13,5$ МПа; горизонтальные, действующие по простиранию месторождения (азимут 45°), $\sigma_y^M = -13$ МПа, а вкрест простирания $\sigma_x^M = -18$ МПа. По аналогии с рудными месторождениями Урала [10] и Казахстана изменение напряжений по глубине H , МПа, можно выразить зависимостями:

$$\sigma_z^M = -0,026H;$$

$$\sigma_y^M = -0,026H;$$

$$\sigma_x^M = -0,026H + 4,5.$$

При определении напряжений методом частичной разгрузки на большой базе во вспомогательном стволе шахты «Центральная» на глубине 500 м установлено, что его деформация по периметру неодинакова. Замерная станция, установленная в 1,5–2 м от забоя, после углубки ствола на 3,5–4 м показала уменьшение диаметра ствола по азимуту 55° на 12 мм, а по азимуту 145° на 5 мм. По мере дальнейшей углубки деформация возрастала соответственно до 23 и 10 мм.

Такая деформация ствола с учетом модуля упругости породы в массиве $E_n = 7 \cdot 10^3$ МПа (по данным института ВИОГЕМ) согласно теории возможна при действии в массиве пород горизонтальных напряжений $\sigma_1^M = -13,2$ МПа и $\sigma_2^M = -20,9$ МПа. Напряжения σ_2^M действуют по азимуту 55° .

Напряжения в массиве на шахте «Центральная», МПа, можно выразить следующим образом:

$$\sigma_z^M = -0,026H;$$

$$\sigma_1^M = -0,026H;$$

$$\sigma_2^M = -0,026H + 7,7.$$

Анализ параметров σ_{\max}^K и σ_{\min}^K погоризонтно в стволах шахты «Центральная» показал, что главные напряжения в массиве действуют по азимуту 22° – 72° , в среднем 51° . Это согласуется с результатами измерения напряжений на большой базе, где азимут определен 55° . Это подтверждают и зоны с максимальными вывалами из стенок стволов [1]. На шахте «Молодежная» ориентировка главных напряжений и вывалы крепи стволов подтверждают их действие в массиве пород по азимуту 135° .

Измеренные параметры НДС дают возможность проследить по всем стволам изменение главных напряжений с глубиной (рис. 4). До глубины 450–500 м главные напряжения в крепи не превышают 10 МПа и вариация их в пределах 4–10 МПа объясняется различием толщины крепи от 0,4 до 1,0 м, а также различием геологического строения массива на горизонтах [11]. Однако взаимность влияния этих факторов на σ_{\max}^K установить не удалось.

Начиная с глубин 450–500 м и ниже наблюдается резкий рост напряжений. Так, при увеличении глубины всего на 100 м (до 550–600 м) уровень напряжений возрастает в 2 раза. Если подобная тенденция их роста сохранится, то на нижних отметках клетевых стволов шахт «Центральная» и «Молодежная» следует ожидать σ_{\max}^K соответственно 30–35 МПа и 25 МПа, что близко к пределу измеренной прочности бетона в образце, но выше нормативной прочности этих бетонов.

Результаты исследования НДС крепи стволов Гайского ГОКа. В процессе исследований на Гайском месторождении натурные определения напряжений, действующих в крепи стволов, проводились при помощи модифицированного

метода щелевой разгрузки [12, 13]. Измерения были проведены на глубине –830, –910, –990, –1075 и –1390 м Гайского подземного рудника.

По результатам измерений с помощью нового метода были получены следующие деформации, представленные в табл. 3.

Путем решения плоской задачи теории упругости пересчет полученных величин относительных деформаций в напряжения приведен в табл. 4.

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 проектного классу М200 и требованиям СНиП 3.02.03-84 и СНиП 11-94-80.

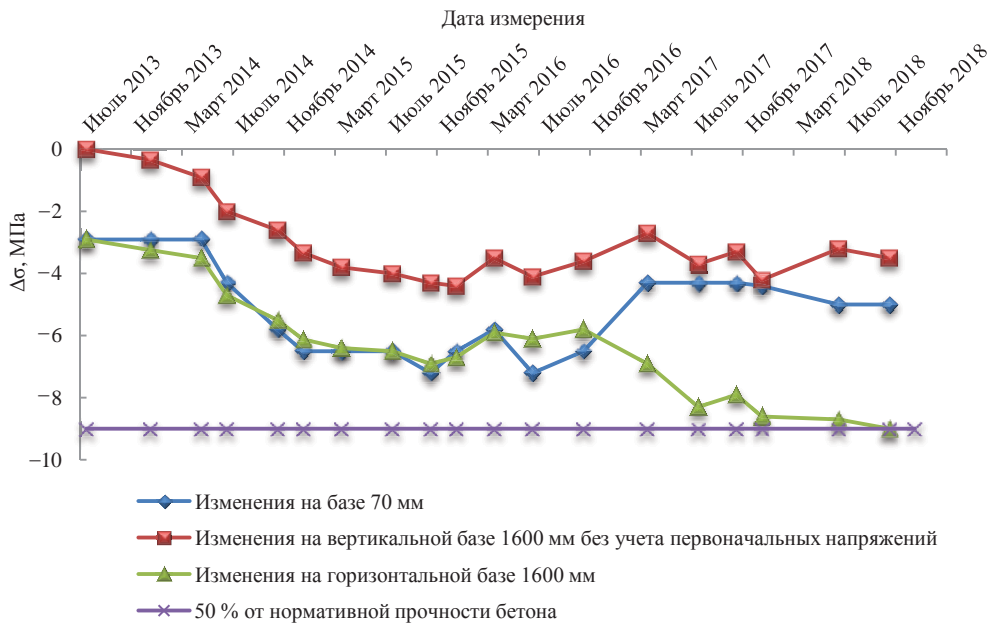


Рис. 4. График изменения напряжений в бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на гор. –830 м
Fig. 4. The graph of stress changes in concrete support of Kletlevaia mine shaft on the horizon –830m

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 [13]. Величины полученных изменений приведены на рис. 4.

Область применения результатов. Практическое применение результатов исследования представляется в использовании выявленных закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния бетонной крепи стволов Донского и Гайского ГОКов при расчетах их дальнейшей устойчивости на весь период эксплуатации. Результаты также могут быть использованы для рас-

чета устойчивости стволов на других подземных рудниках с идентичными горно-геологическими условиями.

Заключение. На основании проведенного комплекса исследований по определению состояния устойчивости бетонной крепи строящихся и действующих стволов Донского и Гайского ГОКов можно сделать следующие выводы.

Таблица 3. Результаты измерения деформаций бетонной крепи ствола шахты «Клетевая» на базе 70 мм
Table 3. Deformation measurement results in concrete support of Kletevaia mine shaft on a 70 mm base

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

Горно-геологические условия группы стволов шахт «Центральная» и «Молодежная» относятся к крайне сложным, не имеющим аналогов в отечественной практике. Проходка стволов в сложных горно-геологических условиях сопровождалась большим количеством вывалообразований, интенсивность которых резко увеличилась с глубин 500–600 м.

Прочность бетонной крепи строящихся стволов подземных рудников в основном соответствует проектной марке и во многих случаях превышает ее.

Таблица 4. Результаты измерения напряжений в бетонной крепи ствола методом щелевой разгрузки, МПа

Table 4. Stress measurement results in shaft concrete support using the method of slot relief

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

Для определения фактических напряжений в бетонной крепи стволов впервые в отечественной практике применен модернизированный метод щелевой разгрузки, разработанный Институтом горного дела.

На основании результатов измерений установлено, что неравномерность распределения напряжений в крепи по периметру ствола обусловлена анизотропией поля напряжений в массиве горных пород.

Максимальные сжимающие напряжения в крепи стволов шахты «Центральная» действуют по азимуту 55°, что хорошо согласуется с напряжениями, действующими в массиве горных пород, и подтверждается положением зон с максимальными вывалообразованиями.

Максимальные напряжения в крепи стволов до глубины 450–600 м не превышают 10 МПа, но с увеличением глубины резко возрастают, примерно в 2 раза. На глубине 700–750 м максимальные напряжения могут достигать величины 30–35 МПа, что соответствует пределу прочности бетона, но выше нормативной прочности.

Катастрофические явления в стволах Донского ГОКа обусловили проведение длительного комплекса исследований по определению параметров НДС и

устойчивости стволов на подземных рудниках Гайского ГОКа с целью прогноза и предупреждения негативных явлений. 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.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 18-5-5-51.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влох Н. П., Зубков А. В., Феклистов Ю. Г. Совершенствование метода щелевой разгрузки // Диагностика напряженного состояния породных массивов. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1980. С. 30–35.
2. Влох Н. П. Метод частичной разгрузки на большой базе // Диагностика напряженного состояния породных массивов. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1980. С. 37–42.
3. Зубков А. В., Зубков Ю. М. Модуль деформации массива горных пород – функция рангов слагающих ее блоков // Геомеханика и напряженное состояние земных недр: матер. Междунар. конф. (Новосибирск, 4–7 октября 1999 г.). Новосибирск, 1999. С. 65–70.
4. Brown E. T. Trends in relation between measured in situ stresses with depth // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. 1978. Vol. 15. No. 4. P. 211–215.
5. Kanagawa T. In situ stress measurements in the Japanese Island, over-coring results from a multielement gauge used at 23 sites // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract. 1986. Vol. 23. No. 1. P. 29–39.
6. Lean J. L. Cycles and trends in solar irradiance and climate // John Wiley & Sons. Ltd. Climat change. 2010. Vol. 1. No. 1. P. 111–122.
7. Sugawara K. Measuring rock stress and rock engineering in Japan // Proc. Int. Symp. Rock Stress, Kumamoto: Department of Civil Engineering and Architecture, Japan. Balkema: S.n., 1997. Vol. 15–24. No. 1. P. 473.
8. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение: ГОСТ 10180-76. М.: Госкомстройиздат, 1982. 23 с.
9. Смирнов О. Ю. Отработка рудных месторождений в условиях повышенной напряженности // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 29–35.
10. Зубков А. В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры // Литосфера. 2015. № 6. С. 116–129.
11. Озорнин И. Л., Боликов В. Е. Мониторинг деформационных процессов в условиях вторичного структурирования приконтурного массива подземных сооружений // Проблемы недропользования. 2017. № 4. С. 81–88.
12. Сентябов С. В. Учет иерархической блочности массива при решении геомеханических задач // ГИАБ. 2017. № 10. С. 161–166.
13. Сентябов С. В. Исследование и прогноз изменения напряженно-деформированного состояния крепи шахтных стволов на Гайском руднике // ГИАБ. 2018. № 10. С. 79–85.

Поступила в редакцию 27 декабря 2018 года

Сведения об авторах:

Зубков Альберт Васильевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Феклистов Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН. E-mail: feclistov@igduran.ru

Сентябов Сергей Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН. E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Special characteristics of stress-strain state development in a concrete support of Donskoy and Gaisky GOKs shafts

Albert V. Zubkov¹, Iurii G. Feklistov¹, Sergei V. Sentiabov¹

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research aims to examine the stress-strain state (SSS) in Donskoy and Gaisky GOKs shafts concrete support. Donskoy GOK experienced spontaneous destruction of shafts support in the early 1980s. The largest rock inrushes were recorded in the skip-cage and cage shafts of mine Tsentralnaia with 4 examined shafts, and 2 shafts at mine Molodezhnaya. To forecast the stability of shafts and prevent emergency, support SSS development has been examined since 2013 at Gaisky GOK.

Research methodology. Shaft stability problem has conditioned the need to solve the task of SSS level determination together with strength characteristics in a concrete support. For the first time in national practice, the parameters of shaft support SSS and their variation monitoring have been determined through slot stress relief – an advanced method of measuring relief strains. Laboratory study and analytical simulation methods were also used.

Results analysis. It has been determined that SSS irregular distribution in the support around the shaft perimeter is conditioned by stress field anisotropy in the rock mass. At the same time, the position of the zones with the largest inrush agrees well with the maximum compressive stresses acting in the support and in the surrounding rock mass.

Conclusions. It is proposed to use the main identified provisions in practice, namely: the stress state of mine shaft supports is formed as a function of their design parameters, the total tensor of gravitational-tectonic stresses acting in the rock mass at the time of the start of research and time variables determined by natural and analytical methods. It is also necessary to take into account the physical and mechanical properties of the rock mass and concrete of the support.

Key words: concrete support of shafts; stress-strain state; inrush; stability; slot relief; relief strain; physical and mechanical properties.

Acknowledgements: the research has been carried out under UB RAS Program for basic research, project no. 18-5-5-51.

REFERENCES

1. Vlokh N. P., Zubkov A. V., Feklistov Iu. G. Improving the method of slot relief. In: *Diagnostics of the stress state of rock masses*. Novosibirsk: IM SB AS USSR Publishing; 1980. p. 30–35. (In Russ.)
2. Vlokh N. P. The method of partial relief on a large base. In: *Diagnostics of the stress state of rock masses*. Novosibirsk: IM SB AS USSR Publishing; 1980. p. 37–42. (In Russ.)
3. Zubkov A. V., Zubkov Iu. M. The modulus of rock mass deformation is a function of the ranks of the blocks composing it. In: *Geomechanics and stress state of the earth's interior: International Conference Proceedings*. Novosibirsk, October 4–7, 1999. Novosibirsk; 1999. p. 65–70. (In Russ.)
4. Brown E. T. Trends in relation between measured in situ stresses with depth. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.* 1978; 15 (4): 211–215.
5. Kanagawa T. In situ stress measurements in the Japanese Island, over-coring results from a multielement gauge used at 23 sites. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 1986; 23 (1): 29–39.
6. Lean J. L. Cycles and trends in solar irradiance and climate. *John Wiley&Sons. Ltd. Climat change.* 2010; 1 (1): 111–122.
7. Sugawara K. Measuring rock stress and rock engineering in Japan. In: *Proceedings Int. symp. Rock stress, Kumamoto: Department of Civil Engineering and Architecture, Japan.* Balkema: S.n. 1997; 15–24 (1). p. 473.
8. *Concretes. Methods for determining the compressive and tensile strength: GOST 10180-76.* Moscow: Goskomsstroyizdat Publishing; 1982. (In Russ.)
9. Smirnov O. Iu. Ore deposits development in conditions of higher stress. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2017; 7: 29–35. (In Russ.)
10. Zubkov A. V. The regularities of rock mass stressed state formation in the upper part of the Earth crust. *Litosfera = Lithosphere.* 2015; 6: 116–129. (In Russ.)
11. Ozornin I. L., Bolikov V. E. Monitoring of deformational processes in the conditions of secondary structurization of underground structures near-outline rock mass. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use.* 2017; 4: 81–88. (In Russ.)

12. Sentiabov S. V. Taking into account hierarchical block structure of rock mass when solving geomechanical problems. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 10: 161–166. (In Russ.)
13. Sentiabov S. V. Analysis and prediction of change in stress state of shaft lining in Gaisky Mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 10: 79–85. (In Russ.)

Received 27 December, 2018

Information about authors:

Albert V. Zubkov – DSc (Engineering), chief researcher, Institute of Mining UB RAS.
E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Iurii G. Feklistov – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Mining UB RAS.
E-mail: feclistov@igduran.ru

Sergei V. Sentiabov – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Mining UB RAS.
E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Для цитирования: Зубков А. В., Феклистов Ю. Г., Сентябов С. В. Особенности формирования напряженно-деформированного состояния в бетонной крепи стволов Донского и Гайского ГОКов // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 12–23. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-12-23

For citation: Zubkov A. V., Feklistov Iu. G., Sentiabov S. V. Special characteristics of stress-strain state development in a concrete support of Donskoy and Gaisky GOKs shafts. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 12–23 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-12-23