

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В КРИОЛИТОЗОНЕ

Василий Дмитриевич Барышников

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, зав. лабораторией диагностики механического состояния массива горных пород, e-mail: vbar@misd.nsc.ru

Лидия Николаевна Гахова

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, старший научный сотрудник лаборатории диагностики механического состояния массива горных пород, e-mail: gahoval@mail.ru

Приведены результаты исследований температурного влияния на напряженно-деформированное состояние массива в окрестности одиночных выработок, пройденных в вечномерзлых породах вне зоны влияния очистных работ. Установлены закономерности изменения смещений и напряжений во вмещающем массиве и на контуре горной выработки в зависимости от срока её эксплуатации и температуры проветривания. Для условий рудника «Айхал» АК АЛРОСА показано, что при размещении выработки на глубине 350 м и её проветривании в течение 3 лет при температуре 20°C конвергенция выработки в вертикальном направлении сопоставима с упругими смещениями, вызванными проходкой выработки. Предложен подход, позволяющий на основе оценки ожидаемых смещений выработки при её проветривании определять категорию устойчивости горных пород. Выполненные исследования предназначены для разработки методических и нормативных документов по обоснованию параметров крепления горных выработок в криолитозоне.

Ключевые слова: криолитозона, горная выработка, крепь, температура, смещения, напряжения.

INFLUENCE OF TEMPERATURE IMPACT ON STRESS-STRAIN BEHAVIOR OF WORKINGS AT CRIOLITIC ZONE

Vasily D. Baryshnikov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Head of Mechanical Rock Mass State Diagnostics Laboratory, e-mail: vbar@misd.nsc.ru

Lidiya N. Gakhova

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Senior Researcher, Mechanical Rock Mass State Diagnostics Laboratory, e-mail: gahoval@mail.ru

The researching results of temperature impact on stress-strain behavior of the solid near single rooms, advanced at ever-frozen soils out of impact zones of actual mining are shown. Regularities of displacement and stress changes in containing solid and on contour of the working are established in dependence on its operation time and ventilating temperature. It is shown that in conditions of Aykhal mine, Alrosa Enterprise, at working depth 350m and its ventilation for 3 year under the temperature 20°C the working convergence in vertical direction is collated with elastic displacements being occurred by drive. The approach allowing to determine the stability category of

rock mass based on estimation of predicted displacements of working under its ventilation is proposed. Carried out investigations are aimed for development of methodologic and regulating documents to validate parameters of working support at cryolitic zones.

Key words: cryolitic zone, working, support, temperature, displacements, stresses.

Необходимым этапом проектирования и расчета крепи горных выработок является прогноз устойчивости обнажений горных пород [1]. В качестве критерия оценки устойчивости пород для горизонтальных и наклонных выработок, располагаемых вне зоны влияния очистных работ в твердых осадочных (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки и др.) и изверженных (граниты, диориты, порфириды и др.) породах, используется абсолютная величина смещений U (мм) поверхности выработок (почвы, боков, кровли). При этом согласно действующим строительным нормам Российской Федерации (СНиП) [2] используются четыре категории состояния устойчивости пород: устойчивое, среднеустойчивое, неустойчивое, очень неустойчивое [1, 2].

При расчете U не учитывается, как правило, изменение исходной температуры массива под влиянием техногенного воздействия (в частности, температуры воздуха, подаваемого для проветривания очистного пространства). Особенный интерес представляет влияние этого фактора на смещения пород при растеплении в условиях вечной мерзлоты.

Для одиночных подготовительных выработок сечением $5 \text{ м} \times 4 \text{ м}$ и их сопряжений с ортами (эквивалентный пролет $6.1 \text{ м} \times 4 \text{ м}$), пройденных на глубине 350 м и проветриваемых воздухом, для условий рудника «Айхал» АК АЛРОСА выполнена оценка дополнительных смещений, вызванных растеплением массива при проветривании.

На глубине ведения горных работ в непроветриваемых выработках при температуре $-1,5^\circ\text{C}$ по данным [3] рассолы находятся в растепленном состоянии. В этой связи фазовый переход от твердого состояния рассолов к жидкому не учитывался.

При проветривании выработок температура воздуха может изменяться в пределах $+5^\circ\text{C} \div +20^\circ\text{C}$. Для оценки дополнительных смещений, вызванных растеплением массива, проведены термоупругие расчеты с исходной информацией, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства доломитов

Физические параметры массива	Доломиты
Удельный вес, γ , КН/м^3	25.1
Коэффициенты:	
линейного теплового расширения α , $1/\text{град}$.	$7.65 \cdot 10^{-6}$
теплопроводности k , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$	1.75
температуропроводности α , $\text{м}^2/\text{с}$	$0.7 \cdot 10^{-6}$
теплоотдачи α_1 , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$	3.51

Условия сопряжения тепловых потоков на границе неподвижной среды (твёрдого тела) с текущей средой (воздухом) задаются через коэффициент теплоотдачи воздуха $\alpha_1 = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$. Коэффициент теплообмена воздух – доломиты $h_1 = \alpha_1/k_d = 3.43 \text{ 1/м}$.

Квазистатическая термоупругая задача решалась методом граничных интегральных уравнений [4] в плоской постановке. Исходное напряженное состояние массива принято следующее [5]: $\sigma_y^0 = -\gamma H$; $\sigma_x^0 = -\lambda\gamma H$, где γ – удельный вес пород ($\text{кН}/\text{м}^3$), σ_x^0, σ_y^0 — исходные напряжения, действующие на глубине H , $\lambda=0.5$ – коэффициент бокового отпора. Модуль упругости $E = 10 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.25$.

На рис. 1 представлены горизонтальная σ_x (а) и вертикальная σ_y (б) компоненты тензора напряжений (МПа) в окрестности одиночной подготовительной выработки $5 \text{ м} \times 4 \text{ м}$ после её проходки без проветривания. На рис. 2 приведены графики приращений смещений «дно выработки – свод» (ΔU_k , мм) для подготовительной выработки (рис. 2, а) и сопряжения подготовительной выработки с ортом (эквивалентный пролет $6.1 \text{ м} \times 4 \text{ м}$, рис. 2, б) при температурах проветривания t , град. в зависимости от продолжительности их проветривания (T , год).

В табл. 2, 3 приведены значения приращений напряжений в кровле (точка А, рис. 1, а) и боку (точка В, рис. 1, б) контуров выработки и сопряжений в зависимости от продолжительности и изменении температурного режима их проветривания.

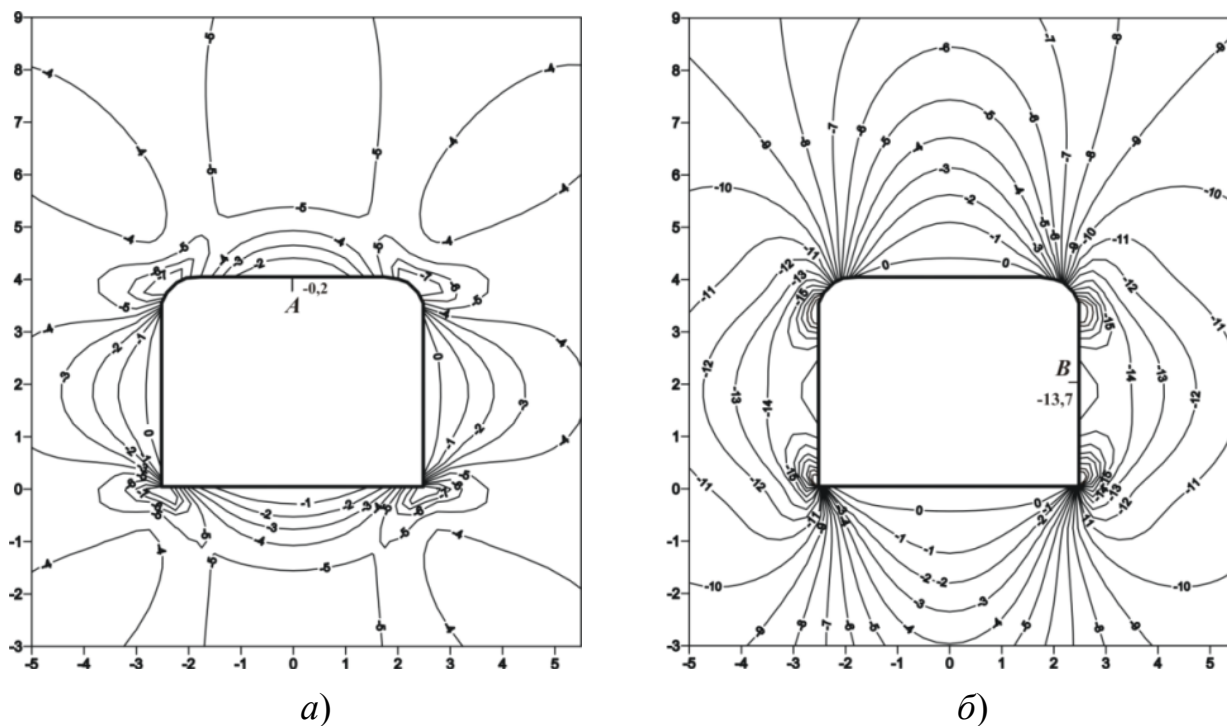


Рис. 1

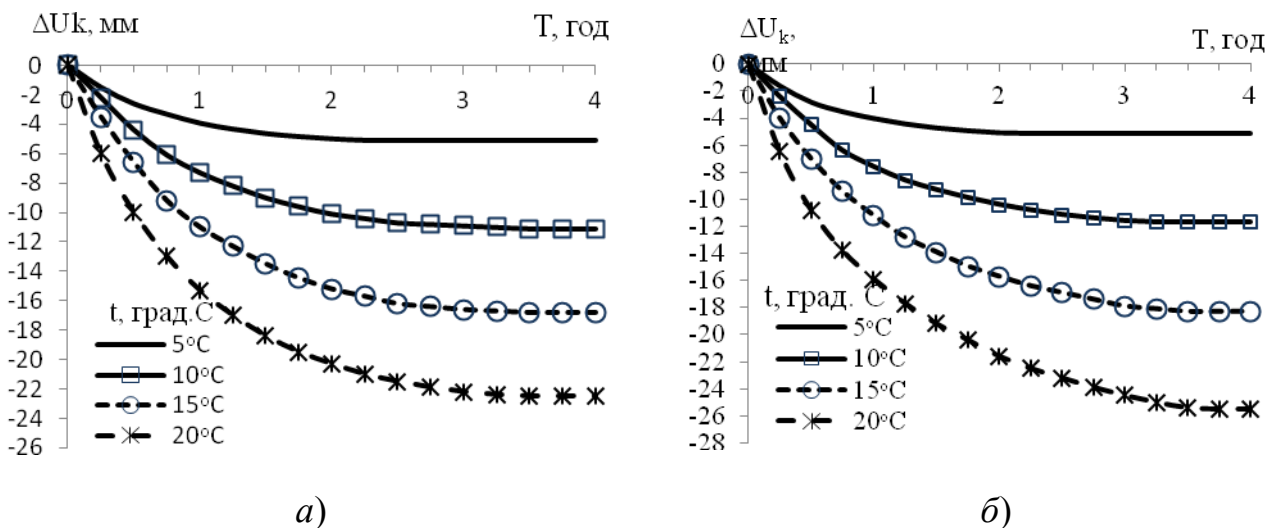


Рис. 2

Таблица 2

Приращения напряжений $\Delta\sigma_x$ (МПа) в кровле выработки 5 м × 4 м и сопряжения подготовительной выработки и орта (эквивалентный пролет 6.1 м × 4 м) при их проветривании

Температура проветривания, град. С	$\Delta\sigma_x$, МПа							
	0,5 года		1 год		2 года		3 года	
	5м×4м	5м×6м	5м×4м	5м×6м	5м×4м	5м×6м	5м×4м	5м×6м
5°C	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
10°C	-0,5	-0,6	-1,0	-1,0	-1,2	-1,35	-1,4	-1,4
15°C	-0,9	-1,0	-1,4	-1,6	-1,9	-2,1	-2,0	-2,2
20°C	-1,3	-1,5	-2,0	-2,3	-2,5	-2,8	-2,8	-3,0

Таблица 3

Приращения напряжений $\Delta\sigma_y$ (МПа) в борту выработки 5 м × 4 м и сопряжения подготовительной выработки и орта (эквивалентный пролет 6.1 м × 4 м) при их проветривании

Температура проветривания, град. С	$\Delta\sigma_y$, МПа							
	0,5 года		1 год		2 года		3 года	
	5м×4м	5м×6м	5м×4м	5м×6м	5м×4м	5м×6м	5м×4м	5м×6м
5°C	-1,3	-1,4	-1,9	-2,0	-2,5	-2,6	-2,5	-2,7
10°C	-2,2	-2,2	-3,6	-3,8	-4,9	-5,1	-5,4	-5,5
15°C	-3,4	-3,3	-5,5	-6,0	-7,5	-7,6	-8,3	-8,4
20°C	-5,0	-5,0	-7,5	-7,7	-9,9	-10,2	-11,0	-11,3

Анализ результатов расчетов свидетельствуют о значительном влиянии проветривания на напряженно-деформированное состояние контура выработки и её сопряжений с ортом. Установлено, что для условий рудника «Айхал» проветривание одиночной выработки и её сопряжения с ортом на глубине 350 м температурой воздуха 20°C в течение 3 лет приводит к росту сжимающих вертикальных напряжений в борт у выработки и эквивалентного пролета на 75–80 % (с 13,7 до 24,7 МПа в борт выработки, на сопряжении с 15,9 до 27,2 МПа); приращение конвергенции ΔU_k достигает 22 мм и 25,5 мм соответственно. Приращения сжимающей горизонтальной компоненты тензора напряжений в кровле выработок изменяются от -0,2 МПа до -2,8 МПа (одиночная выработка) и -0,3 МПа до -3 МПа (сопряжения). В зависимости от температуры проветривания t наибольшие приращения смещения ΔU_k наблюдаются в первый год проветривания и стабилизируются при $t = 5^\circ\text{C}$ к концу первого года, при $t = 20^\circ\text{C}$ – через три года.

Для учета дополнительных смещений, вызванных растеплением массива, при определении категории устойчивости выработки и её отнесение к той или иной категории суммируются абсолютные значения максимальных смещений пород U_k на контуре поперечного сечения, определяемых дифференцированно в кровле, почве и боках выработки и сопряжения [6] и дополнительные смещения ΔU_k .

Заключение

По результатам термоупругих расчетов напряженно-деформированного состояния подготовительных выработок и сопряжений (с учетом эквивалентного пролета), выполненных с использованием метода граничных интегральных уравнений, определены приращения смещений их контуров в зависимости от температуры и сроков проветривания. Установлено, что для условий рудника «Айхал» проветривание одиночной выработки и её сопряжения с ортом на глубине 350 м температурой воздуха 20°C в течение 3 лет приводит к росту сжимающих вертикальных напряжений в борту выработки и сопряжения на 75–80 %, при этом приращения σ_y достигают 11–11,3 МПа. Приращение горизонтальных напряжений в кровле не превосходит -2,8 МПа для одиночной выработки и -3 МПа для сопряжения. Наибольшие приращения смещений «дно выработки – свод» наблюдается через три года проветривания и достигает 22–25,5 мм, что сопоставимо с конвергенцией выработки при её проходке.

Полученные оценки следует использовать при определении категории устойчивости вмещающего массива для выбора типов и параметров крепления с учетом показателей прочностных свойств основных типов пород на месторождении и максимальных смещений на контуре поперечного сечения выработки.

Работа выполнена в рамках научного проекта ФНИ № гос. регистрации ААА-А17-117121140065-7 и при финансовой поддержке АК «АЛРОСА».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Gakhova L.N. Assessment and control of stress of waterworks in service // Conference proceedings of 18th international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2016: Albena: STEF92 Technology Ltd., 2018. – pp. 87-93.
2. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. – М., Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012.
3. Бондаренко И.Ф., Жариков С.Н., Зырянов И.В., Шеменёв В.Г. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. – 172 с.
4. Гахова Л.Н. Температурные напряжения в кусочно-однородном массиве // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 81–86.
5. Барышников В. Д., Гахова Л. Н. К вопросу оценки формирования напряженно-деформированного состояния подкарьерной потолочины численными методами // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 3. – С. 39–44.
6. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации» // [http://www.gosnadzor.ru public/discussion/acts/anker](http://www.gosnadzor.ru/public/discussion/acts/anker) дата обращения 107.20.

© В. Д. Барышников, Л. Н. Гахова, 2019