

ФОРМИРОВАНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВСКРЫТИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА

С.В. Сергеев

Белгородский государственный университет, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
sergeev@bsu.edu.ru

Изложены результаты экспериментальных исследований, проведенных при сооружении стволов Яковлевского рудника, проходимых способом замораживания. Установлены закономерности формирования горного давления в различных типах пород. Предложена методика прогноза величин давления замороженных глинистых пород на крепь ствола.

Ключевые слова: осадочные породы, температуры замораживания, горное давление, крепь.

Месторождения богатых железных руд КМА характеризуются большой глубиной залегания рудных тел и сложными условиями их вскрытия [1]. Например, на Яковлевском месторождении рудное тело залегает под 600-метровой осадочной толщей, представленной породами четвертичного, третичного, мелового (маастрохитский, кампан-сантонский, туронский, сеноман-альбский и апт-неокомский), юрского (вожский, кимеридж-оксфордский, келловейский и бат-байосский ярусы) и нижнекаменноугольного возраста и составленной глинами, песками, мелами, мергелями, песчаниками и известняками. Осадочная толща лежит на докембрийских изверженных породах, представленных гранитами. В табл.1 приведены характеристики пород осадочной толщи применительно к скважине 6КС в районе ствола №3 Яковлевского рудника. Видно, что осадочная толща представлена 40 слоями мощностью от 1,4 до 109,7 м, содержащей 25 водоносных горизонтов с максимальным напором до 5,1 МПа.

Таблица 1

Характеристика осадочной толщи Яковлевского месторождения

№ слоя	Порода	Геологический индекс	Глубина контакта, м	Мощность слоя, м	Удельный вес, кН/м ³	Напор вод, МПа
1.	Суглинок лессовидный	Q	1,6	1,6	15,0	—
2.	Суглинок плотный	P	7,0	5,4	18,0	-
3.	Песок кварцевый		25,9	18,9	17,8	-
4.	Песчаник слабосцементированный		31,6	5,75	16,7	-
5.	Песчаник кавернозный		45,5	13,8	17,0	0,14
6.	Песок плотный		C	50,2	4,7	17,5
7.	Мел белый	74,6		24,4	17,5	0,43
8.	Мергель трещиноватый	101,8		27,2	19,0	0,70
9.	Мергель плотный	211,5		109,7	19,0	-
10.	Мел белый	279,5		68,0	19,0	-
11.	Песок мелкий	303,5		24	17,3	2,05
12.	Глина плотная	317,1		31,6	20,8	-

13.	Песок глинистый		330,2	13,1	18,0	2,55
14.	Песчаник		349,7	6,3	26,0	2,74
15.	Песок глинистый		343,7	7,2	18,0	2,68
16.	Песчаник		349,7	6,3	26,0	2,74
17.	Песок глинистый		354,3	4,6	18,0	2,79
18.	Песчаник		358,1	3,8	26,0	2,82
19.	Глина плотная твердая					
	Песчаник		367,9	9,8	20,3	-
20.	Глина плотная		373,7	5,8	26,0	2,98
21.	Песок мелкозернистый	J	413,8	40,1	20,3	-
22.	Песчаник					
	Песок		433,6	19,8	18,0	3,51
23.	Переслаивание глин с		439,6	6,0	26,0	3,51
24.	песками		445,1	5,5	18,0	3,57
25.	Глина плотная					
	Глинистый песок		459,0	13,9	20,0	3,70
26.	Глинистый песок		481,0	22,0	20,7	-
27.			488,0	7,0	19,0	3,99
28.			495,0	7,0	20,7	-
29.	Известняк		518,0	23,0	25,0	3,99
30.	Глина плотная		522,3	4,3	22,0	-
31.	Известняк		543,0	20,7	25,0	4,47
32.	Переслаивание угли-					
	стых глин		549,3	6,3	22,0	-
33.	Известняк органоген-					
	ный	C	560,15	10,85	25,0	4,65
34.	Глина с прослоями уг-					
	ля		565,0	4,85	22,0	-
35.	Известняк		570,1	5,1	25,0	4,74
36.	Глина плотная		571,6	1,5	22,0	-
37.	Известняк		577,8	6,2	25,0	4,81
38.	Глина плотная		579,2	1,4	22,0	-
39.	Руда		592,6	13,4	32,0	4,97
40.	Каолин					
		P	597,6	5,0	22,0	5,05
41.	Плагиогранит		601,5	3,9	25,0	5,10

В таких сложных условиях стволы не сооружались ни в отечественной, ни зарубежной практике. Для проходки 3 стволов Яковлевского рудника был применен способ искусственного замораживания пород. Для создания ледопородных цилиндров бурились два ряда из 66 скважин на глубину 620 м.

Замораживание производилось ступенями: 1 ступень – замораживание колонками внутреннего ряда с циркуляцией холодоносителя в интервале глубин 0-390 м; 2 ступень – колонками внутреннего ряда с циркуляцией холодоносителя в интервале глубин 0-390 м и колонками наружного ряда с циркуляцией холодоносителя в интервале глубин 270-620 м; 3 ступень – колонками внутреннего ряда с циркуляцией холодоносителя в интервале глубин 390-620 м и колонками наружного ряда в интервале глубин 270-620 м. В результате вокруг будущего ствола образовался ледопородный цилиндр (ЛПЦ) диаметром 20-22 м, способный воспринимать нагрузки от давления горных пород и межпластовых вод (рис. 1). Температура пород понизилась до минус 18⁰ - 24⁰С.

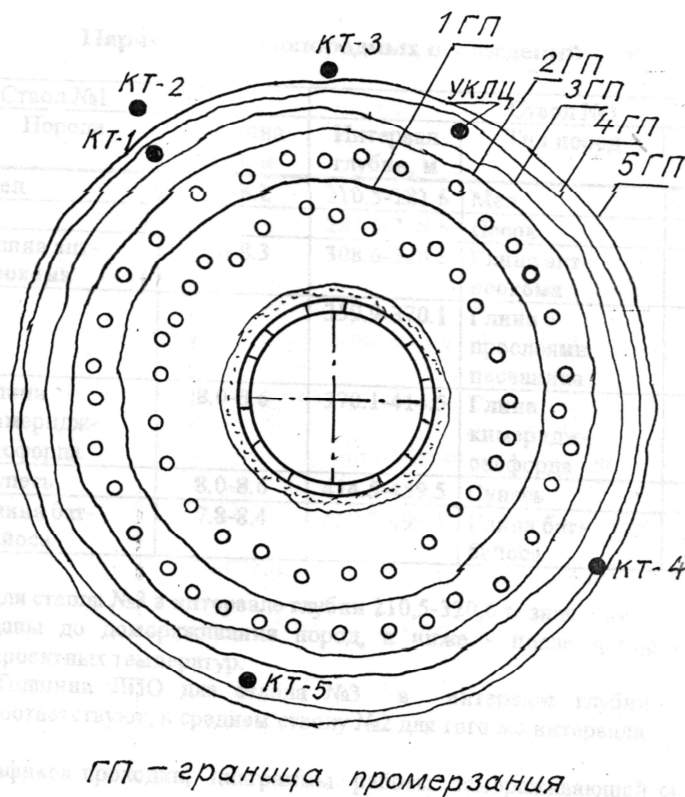


Рис. 1. План ледопородного ограждения на глубине 310 м в глинах (ствол №1):
 ГП- границы промерзания; КТ – скважина для контроля температуры;
 УКЛЦ – скважина для ультразвукового контроля ледопородного ограждения

При проектировании подземных сооружений основными исходными данными для расчета являются величины горного давления. В частности горизонтальная составляющая давления определяется по формуле:

$$\sigma_{gx} = \sum \xi_i h_i \gamma_i \quad (1)$$

где h_i – мощность i -того слоя, м;
 γ – удельный вес, кН/м^3 ;
 ξ – коэффициент бокового давления;

При наличии в слоях подземных вод учитывается их напор. Тогда общее давление на крепь шахтных стволов определяется из выражения

$$\sigma_{\text{общ.}} = \sigma_{g,x} + \sigma_w \quad (2)$$

где σ_w – напор подземных вод, МПа (см. табл.1).

Ранее в инженерной практике замораживание осадочных дисперсных пород на глубину 600 м и на температуру менее 12°C не производилось. Поэтому поведение ЛПЦ при вскрытии пород стволом прогнозировать было невозможно. Было принято решение о проведении длительных натурных исследований в стволах в период их проходки. Для этого была разработана специальная методика [2]. Согласно этой методике во всех 3 стволах во время проходки были установлены замерные станции и проводились измерения деформаций в слоях крепи. На рис. 2 показана схема расположения приборов в слоях крепи.

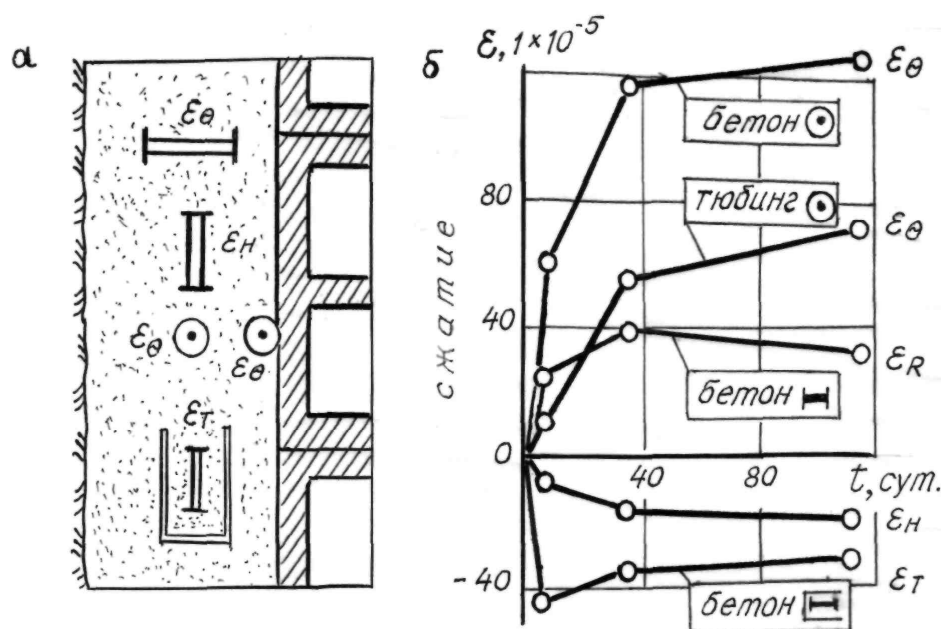


Рис.2. Схема расположения измерительных приборов в крепи из монолитного бетона и чугунных тюбингов и графики измеренных деформаций (Яковлевский рудник, ствол №1, глубина 101 м, мергель)

По измеренным в слоях деформациям определялись напряжения, а затем величины горного давления:

$$P_2 = \sigma_{\theta}^{(2)} / k_{0(6)} \cdot k_{0(5)} (m_{1(4)} - m_{2(4)} \cdot k_{0(4)}) \quad (3)$$

где: $\sigma_{\theta}^{(2)}$ – тангенциальное напряжение в слоях крепи, МПа;

$k_{0(4)}$, $k_{0(5)}$, $k_{0(6)}$, – коэффициенты передачи напряжения через слои;

$m_{1(4)}$, $m_{2(4)}$ – коэффициенты, характеризующие геометрические размеры крепи.

В табл. 2 приведено сравнение расчетных величин горного давления с фактически измеренными.

Таблица 2

Сравнение расчетных и фактических давлений на крепь в стволах 1,2,3

Глубина от поверхности, м			Расчетная величина давления, МПа			σ_z МПа	Наибольшее фактическое давление, МПа		
1	2	3	1	2	3		1	2	3
8	34	-	0,2	0,1	-	0,6	1,0	0,7	-
102	101	-	0,5	0,5	-	1,1	3,8	1,2	-
278	275	-	4,1	4,1	-	3,2	6,6	5,4	-
306	-	-	34	-	-	3,3	11,6	-	-
310	-	318	1,9	-	2,0	5,9	4,2	-	5,4
383	-	383	3,3	-	3,2	7,1	11,7	-	4,2/10,5
398	-	-	3,5	-	-	7,7	7,5	-	-
-	406	406	-	3,6	3,6	7,8	-	5,7	5,8
-	471	-	-	5,8	-	9,1	-	8,5	-
-	496	-	-	6,1	-	9,6	-	8,2	-
-	541	-	-	5,4	-	10,7	-	8,9	-

Видно, что фактические величины горного давления значительно больше, чем расчетные. Анализ результатов наблюдения показывает, что величина интенсивности нагружения крепи зависит от типа, температуры и влажности пород [3]. Установлено, что увеличение

горного давления вызвано дополнительным преднапряжением ледопородного цилиндра при фазовом переходе поровой воды в лед, сопровождаемой ее объемным расширением. На рис. 3 показано фото массива замороженных глин кимеридж-оксфорда, которые от внутренних напряжений разделились на отдельные структурные блоки.



Рис. 3. Характер разделения замороженных глин кимеридж-оксфорда на структурные блоки при их вскрытии (ствол №1, глубина 371 м)

Нами предложен метод оценки дополнительных напряжений в замороженных глинистых породах [4]. Он основан на решении задачи о равновесии бесконечной пластины с круговым отверстием, в которое вложена упругая круговая шайба большего диаметра. Окончательное выражение для определения горизонтальных дополнительных напряжений имеет вид:

$$\sigma_{\text{доп}(x)}^{(0)} = 4G_0K(\sqrt{1 + 0,09W_{\text{л}} - 1})/[2 + G_0/G_1(\chi_1 - 1)]; \quad (4)$$

где: $\chi_1 = 3 - 4\nu_1$

G_0, G_1 – модули сдвига пород в незамороженном и замороженном состоянии;

ν_1 – коэффициент Пуассона замороженных пород;

$W_{\text{л}}$ – часть поровой воды, перешедшая в лед;

K – эмпирический коэффициент.

Правомерность применения формулы 4 подтверждена исследованиями ВАОГЕМ (Съедин С.А., Топорков А.В.), где в лабораторных условиях определены напряжения пучения образцов глинистых пород, находящихся под нагрузкой. Натурные исследования на Яковлевском руднике проведены на всех этапах сооружения стволов. Установлено, что процесс естественного размораживания продолжается 1,5-1,8 лет. При этом в глинистых породах наблюдается уменьшение давлений на 30-50 %. Интенсивность спада зависит от уровня температуры в ледопородном цилиндре, достигнутой к началу размораживания. В водонасыщенных песках после размораживания происходит восстановление гидростатического напора подземных вод на крепь.

Заключение

В результате долговременных экспериментальных исследований в стволах Яковлевского рудника, сооружаемых способом замораживания:

1) установлены закономерности формирования горного давления на крепь ствола в зависимости от типа, температуры замораживания и физических свойств осадочных пород в интервалах глубин от 17 до 603 м, в диапазоне отрицательных температур от -6 до -25°C ;

2) По характеру воздействия на крепь ствола выделены три типа пород: глинистые, песчаные и полускальные трещиноватые.

3) определены особенности изменения горного давления при естественном размораживании ледопородного цилиндра;

4) впервые разработан метод прогноза дополнительных напряжений в ледопородном цилиндре.

На КМА имеется 7 месторождений богатых железных руд и бокситов, горно-геологические условия залегания которых аналогичны Яковлевскому месторождению. Их вскрытие возможно только с применением способа замораживания. Поэтому полученные нами результаты будут использованы при освоении этих месторождений.

Список литературы

1. Геология, гидрогеология и железные руды Курской магнитной аномалии (КМА). Железные руды / Под ред. И.Н. Леоненко – М.: Недра, 1969. – Т.3.

2. Казикаев Д.М., Борисов О.П., Сергеев С.В. Методические рекомендации по проведению натурных наблюдений в стволах, сооружаемых в сложных горно-геологических условиях / ВИОГЕМ – Белгород, 1985. – 35 с.

3. Казикаев Д.М., Борисов О.П., Сергеев С.В. Закономерности формирования нагрузок на крепь ствола, сооружаемого с применением замораживания пород / Шахтное строительство. – 1984. - №3. – С. 11-13.

4. Булычев Н.С., Сергеев С.В. Оценка влияния замораживания на напряженное состояние массива осадочных пород / Сб. научн. тр. ТулГУ: Тула. – 2001. – С. 205–208.

FORMATION OF MINING PRESSURE IN THE DEVELOPMENT OF KMA DEPOSITS

S.V. Sergeev

Belgorod State University, 85 Pobeda Str., Belgorod, 308015
sergeev@bsu.edu.ru

The paper deals with the results of the experimental investigations, carried out place along with building the shafts in Yakovlevskiy Mine, passable by means of freezing. The rules of mining pressure formed in different types of solids are established here. The article suggests the prognostic methods of value of the frozen clay solids pressure on the shaft barring.

Key words: sedimentary rocks, freezing temperatures, mining pressure, barring.