© С.В. Сергеев, Д.М. Казикаев, М.Н. Климентов, 2008

УДК 624.131.1

*С.В. Сергеев, Д.М. Казикаев, М.Н. Климентов*

# *ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ НАГРУЖЕНИЯ КРЕПИ СТВОЛОВ В ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОДАХ*

**Семинар № 1**

При строительстве шахтных стволов прогноз ожидаемых величин горного давления является основным фактором, влияющим на эксплуатационную надежность крепи. Особенно это касается стволов, сооружаемых в сложных горно-геоло-гических условиях. Так, стволы Яковлевского рудника впервые в горной практике сооружались способом глубокого низкотемпературного замораживания осадочной толщи. Научное сопровождение строительства осуществляли МГИ, ВИОГЕМ, НИИОСП и другие научные организации. Задачей института ВИОГЕМ было установление закономерности формирования нагрузок на крепь во всех наиболее характерных типах пород. По разработанной для наблюдений методике [1] в трех стволах рудника было ус-тановлено около 30 замерных станций. Наблюдения проводились при разных температурных режимах околоствольного массива пород [2].

Исследованиями установлено, что наиболее влияющими на интенсивность нагружения крепи являются следующие факторы: 1) тип замороженных пород; 2) температура; 3) естественная влажность; 4) глубина залегания.

По характеру воздействия замороженных пород на крепь можно выделить 3 типа пород: глинистые, песчаные и полускальные трещиноватые. Максимальные давление оказывают глинистые породы [3].

Зависимость нагрузок от температур характерна, в основном, для глинистых пород. Например, при температуре пород минус 18 $^0$С нагрузки на крепь в 1,3-1,7 раз больше, чем при температуре минус 12 $^0$С.

Третий фактор, влияющий на величину нагрузок – влажность пород. Например, ствол № 1 на глубинах 306 и 310 м сооружался соответственно в супесях и плотных маловлажных глинах. В супеси нагрузка достигла величина 11,6 МПа, а в глинах 4,1 МПа. То есть на расстоянии всего 4 м по глубине разница нагрузок достигла 2,8 раза. Основная причина такого положения в том, что имеет большую возможность для притока воды при замораживании. Анализ результатов натурных наблюдений показывает, что при предварительном замораживании осадочных пород в массиве возникают напряжения, которые при проходке ствола создают дополнительные нагрузки на крепь, не предусмотренные расчетом. Следует различать давление замораживаемых пород от морозного пучения и давления предварительно замороженных пород.

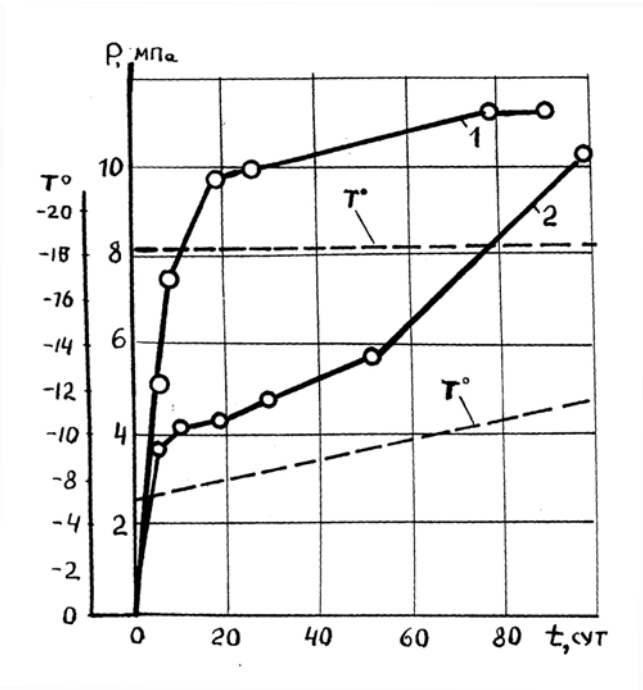


***Рис. 1. Графики давления и температур пород в глинах на глубине 383 м:*** *1* – в стволе № 1 при постоянной температуре минус 18 $^0$С; *2* – в стволе № 3 при понижении температур с минус 4 $^0$С до минус 10 $^0$С.

Рассмотрим это на примере ствола № 1 и ствола № 3 Яковлевского рудника, которые проходились при разных температурных режимах около-ствольных пород. В стволе № 3 на глубине 383 м в глинах киммеридж-оксфорда после крепления ствола было проведено доморaживание по-род с температуры минус 4 $^0$С до ми-нус 10 $^0$С. Давление на крепь при на-чальной температуре было равно Р = 4,2 МПа (см. рис. 1). При понижении температуры в среднем на 6$^0$ произошло увеличение нагрузки до 10,2 МПа, то есть в 2,5 раза. В стволе № 1 при аналогичных условиях температура пород при проходке была равна минус 18 $^0$С. При этом нагрузки на крепь достигли тех же значений, что при доморaживании, но более низкой температуре пород.

Таким образом, давление глинистых пород при их доморaживании больше, чем давление предварительно замороженных пород. Поэтому шахтные стволы необходимо проходить по замороженным до проектных температур породам.

Изучением деформационных свойств мерзлых пород Яковлевского железорудного месторождения занимались МГУ, МГИ, ВНИИОМШС, НИИОСП и др. При этом пучинистые свойства пород не рассматривались. Результаты натурных наблюдений в стволе № 2 Яковлевского рудника, сооруженного первым, показали необходимость проведения лабораторных исследований пучинистых свойств основных типов пород месторождения. Они были выполнены сотрудниками отдела специальных горных работ института ВИОГЕМ Н.А. Селезневым, С.А. Сьединым, А.В. Топорковым. Образцы пород отбирались в местах установки замерных станций. Отобранные монолиты размерами до 20х20х25 см в мерзлом состоянии доставлялись в предварительно охлажденную до температур -10…-20 $^0$С холодильную камеру. В дальнейшем из этих монолитов готовили образцы цилиндрической формы, которые оттаивали до положительной температуры и помещали в форму, уплотняли с помощью пресса под давлением. Затем форму с образцом переносили в камеру, имеющую заданную температуру (0…-30 $^0$С), и помещали в прибор, создавали на образец давление с помощью нагрузочного устройства. Измерение деформаций и напряжений пучения

***Результаты лабораторных исследований пучения глинистых пород***

| Тип породы, глубина, м | Влажность, % | Т, Градус С | Начальное давление при замораживании, МПа | Относительная пучинистость, % | Напряжения пучения, МПа |
|---|---|---|---|---|---|
| Мергель, 102,0 | 33,2 | -16 | 1,0 | 0 | |
| | | -16 | 2,0 | 0,25 | 5 |
| Песок, 295,0 | 22,9 | -20 | 1-10 | 0 | 0 |
| Супесь, 305,0 | 16,0 | -24 | 4 | 1,25 | 15,4 |
| | 25,0 | -24 | 4 | 1,65 | 21,4 |
| | 21,0 | -12 | 12 | 0,52 | 18,4 |

измерялись по мере понижения температуры.

В табл. 1 приведены некоторые результаты исследований:

Исследование деформаций, промерзающих под давлением глинистых пород показал, что объем породы вначале уменьшается, после чего происходит изменение знака деформирования – объем начинает интенсивно расти (рис. 2). Уменьшение объема на первом этапе объясняется теморфизическим сокращением охлажденной породы до фазового перехода воды в лед. В дальнейшем при уменьшении температуры -4 $^0$С…-7 $^0$С увеличение вертикальных деформаций происходит на 0,65 %, а давление пучения – на 4 МПа.

Таким образом, лабораторные исследования, проведенные в НИИ ВИОГЕМ, подтвердили результаты натурных наблюдений.

Стабилизация нагрузки на крепь стволов в замороженных породах происходит в течение 14-30 сут. Их величина сохраняется постоянной в период пассивного замораживания. После отключения замораживающей станции начинается уменьшение нагрузок. При естественном размораживании этот процесс продолжается в течение 1,5-1,8 лет. В глинистых породах уменьшение нагрузок происходит в среднем на 30-50 % и зависит от величины максимальной достигнутой нагрузки. Например в стволе № 1 на глубинах 383 и 398 м нагрузки на крепь соответственно были: Р = 11,8 МПа и Р = 9,8 МПа. При размораживании пород спад произошел соответственно на 49 и 41 %. Результаты близкие к этим значениям получены В.Ф. Дробышевым на Запорожском железорудном комбинате и в Германии в стволах шахты Лоберг 3.

В песках после размораживания произошло восстановление гидростатического напора. Например, в стволе № 3 на глубине 318 м увеличение нагрузки составило 1,4 МПа.

Формирование нагрузок в водонасыщенных пластичных мелах носит другой характер. Здесь после крепления наблюдается неуклонный рост нагрузок. При этом резкий рост значительно превышающий расчетный последовал в начале цикла оттаивания пород, который достиг своего пика при температуре -1…-3 $^0$С. После полного оттаивания пород произошел некоторый спад нагрузок. Особенности формирования нагрузок в мелах при замораживании и оттаивании видимо связаны с его структурой. По размерам твердых частиц мел близок к глинистым породам. Типы воды в мелах изучены мало. Известно, что мела обладают малым коэффициентом

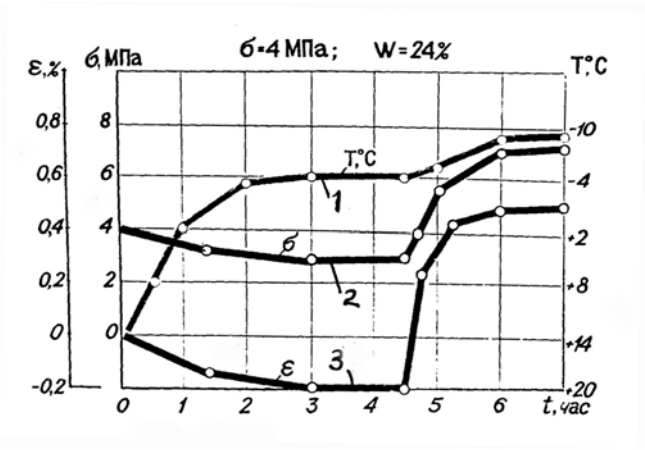


***Рис. 2. Графики деформации охлаждаемой глины аптнеокома при начальных W = 24 %, P=4 МПа:*** *1* – график температуры; *2* – график давления пучения;*3* –осевые деформации пучения

фильтрации, видимо, в них вода содержится как в связном, так и в свободном виде. Поведение водонасыщенного мела при замораживании и размораживании под давлением необходимо исследовать в лабораторных условиях.

Таким образом, натурные наблюдения, проведенные при сооружении стволов Яковлевского рудника, показали, что инженерно-геологические условия являются решающими при выборе крепи стволов, сооружаемых в водонасыщенных осадочных породах при проходке их замораживанием. Результаты будут использованы при дальнейшем освоении месторождений на КМА.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***

1. *Казикаев Д.Н., 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.

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

3. *Казикаев Д.Н., Борисов О.П., Сергеев С.В.* Результаты натурных наблюдений в стволах Яковлевского рудника КМА //Механика подземных сооружений: Сб. научн. тр. /ТПИ. – Тула. 1985. – С. 72-73. ГИАБ

## *Коротко об авторах*

*Казикаев Д.М.* – профессор Московского государственного горного университета,
*Сергеев С.В.* – профессор,
*Климентов М.Н.* – профессор,
Белгородский государственный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин.*