

УДК 622.01

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКИ ПОДЗЕМНЫХ КАМЕР

Барышников В.Д., к.т.н., заведующий лабораторией диагностики механического состояния массива горных пород, с.н.с.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск,  
Россия

### ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации подземных сооружений показывает, что в большинстве случаев напряжения и деформации их крепи продолжают развиваться в течение продолжительного времени после окончания строительства.

Надежность оценки технического состояния сооружений при их длительной эксплуатации во многом определяется достоверностью информации о текущем напряженном состоянии крепи, определяющим возможность их дальнейшего безремонтного использования.

Наиболее точные результаты оценки напряжений обеспечиваются применением экспериментальных геомеханических методов (метод полной и частичной разгрузки керна, метод параллельных скважин и т.д.) [1].

Для получения верхних оценок действующих напряжений в железобетонной обделке сооружений, обеспечивающих запас прочности при расчете остаточного ресурса, измерения следует проводить в наиболее нагруженных зонах крепи, что может существенно сократить объем проводимых исследований. Местоположение таких зон будет определяться состоянием закрепного пространства, то есть отсутствием пустот на контакте обделки с вмещающими породами. Предварительную оценку состояния закрепного пространства наиболее эффективно проводить с использованием геофизических методов неразрушающего контроля, в частности, с помощью метода георадиолокации.

### ВЫБОР УЧАСТКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Подземные сооружения представляют собой камеры с арочным сводом, закрепленные сплошной железобетонной крепью. Толщина крепи варьируется от 0,8 до 2,5 метров.

Для выбора места заложения измерительных скважин применялся метод георадиолокации, реализованный в георадаре SIR-3000 [2,3].

В связи с тем, что точность георадиолокационного обследования существенно зависит от соответствия диэлектрической проницаемости среды распространения зондирующего сигнала (в данном случае – бетон) значению,

указанному в настройках георадара, эту величину необходимо уточнять в процессе проведения исследований на основе сопоставления результатов бурения и волновых картин, зафиксированных на радарограммах [4].

Было выполнено георадиолокационное обследование участка крепи (антенный блок с центральной частотой 270 МГц, глубина обследования до 6 м), на котором планировалось проведение замеров напряжений, которое позволило установить несколько зон, отличающихся по условиям контакта крепи с вмещающим массивом. На рис. 2а представлена радарограмма, соответствующая неплотному контакту крепи с массивом, и соответственно, разгруженному участку крепи, не содержащему наибольшие напряжения.

На рис. 2б представлена радарограмма, соответствующая плотному (без пустот) контакту массива с крепью. Этот участок крепи является более подходящим для замеров напряжений, поскольку можно сделать предположение, что он является наиболее нагруженным, что позволит оценить наибольшие действующие в обделке напряжения.

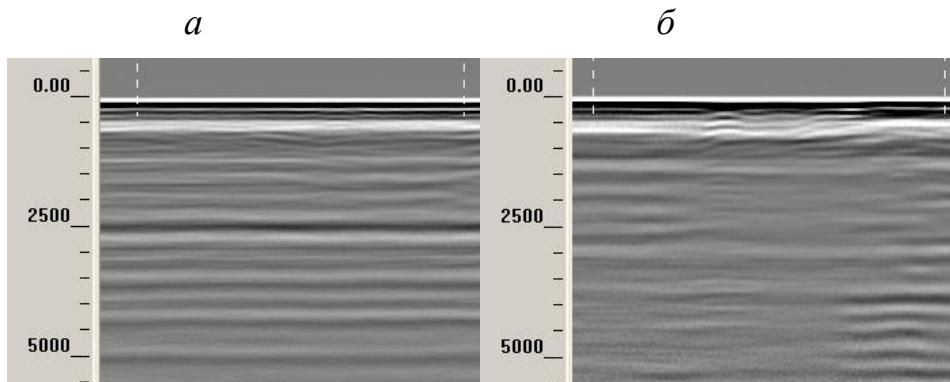


Рис. 2. Радарограммы, иллюстрирующие наличие (а) и отсутствие (б) пустот в зоне контакта «крепь-массив».

Для подтверждения сделанных выше предположений авторами проведены замеры напряжений на указанных двух участках методом параллельных скважин [5].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Замеры напряжений методом параллельных скважин выполняются при следующей последовательности действий:

1. установка четырехкомпонентного деформометра для определения изменения диаметра скважины с точностью 0,7 мкм в предварительно выбуранную измерительную скважину диаметром 76 мм на такую глубину, чтобы начало и окончание бурения возмущающей скважины не оказывало влияния на его показания;

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

2. стабилизация показаний деформометра перед началом эксперимента;
3. соосное выбуривание возмущающей скважины диаметром 112 мм с толщиной перемычки между скважинами не менее 50 мм (зависит от действующих напряжений в бетоне);
4. стабилизация показаний деформометра после проведения эксперимента и установка нагрузочного устройства напротив измерительных балок деформометра в возмущающую скважину после извлечения керна;
5. ступенчатое нагружение равномерным давлением стенок возмущающей скважины с одновременной регистрацией деформаций контура измерительной скважины для определения упругих констант массива;
6. уточнение взаимного расположения скважин после завершения эксперимента.

Схема расположения измерительных станций в обследуемых камерах представлена на рис. 3.

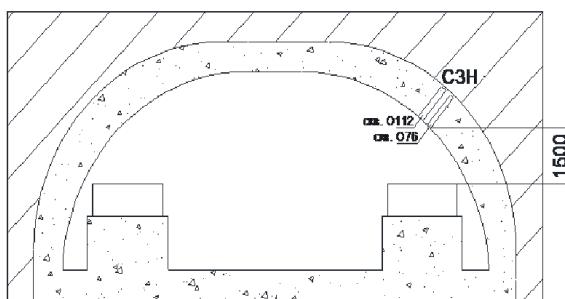


Рис.3. Схема расположения станции замера напряжений (СЗН)

При расчете значений напряжений по экспериментально полученным радиальным смещениям стенок измерительных скважин используется аппарат теории упругости, важно, чтобы исследуемая среда – железобетонная обделка – соответствовала критериям линейной упругости, сплошности, однородности и изотропии. Полученная в п. 5 информация позволяет оценить соответствие принятой расчетной модели реальному состоянию массива и его упругие свойства [6] (рис. 4).

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

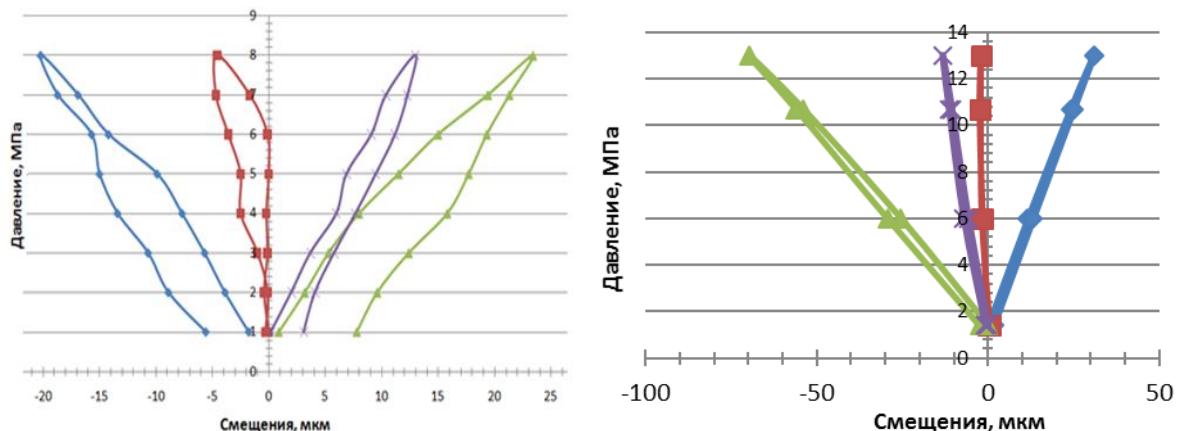


Рис. 4. Определение соответствия бетона обделки принятой математической модели: измерение на СZN1(а) и СZN2 (б)

Нелинейность, представленная на рис. 4а, соответствует тому, что бетонная обделка не является однородной и линейно-упругой в области проведения эксперимента на СZN1. На СZN2 (рис. 4б) обделка однородна и не имеет пустот. Этот факт также подтвержден результатами георадиолокационного обследования участков, где располагались СZN1 и СZN2 с помощью антенного блока с центральной частотой 2600 МГц.

Результаты замеров напряжений в подземных камерах представлены в табл. 1, а также на рис. 5.

Таблица 1.

Результаты замера напряжений

Номер станции	Глубина установки деформометра, м	Главные напряжения, МПа		Угол между горизонтом и $\sigma_1$ , $\phi$ , град.
		$\sigma_1$	$\sigma_2$	
СZN1	1,01	-4,9	-1,0	67
СZN2	0,48	-5,6	-1,7	86

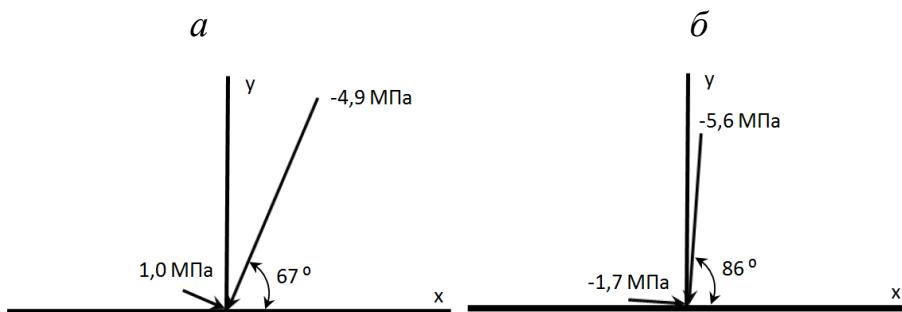


Рис. 5. Результаты замера напряжений на СZN1(а) и СZN2 (б)

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Таким образом, можно заключить, что результаты измеренных напряжений на второй станции замера превышают значения, полученные на первой станции, что подтверждает предположение авторов о том, что в местах плотного механического контакта между железобетонной крепью и вмещающим массивом напряжения будут выше, чем на участках с пустотами в зоне контакта.

## ВЫВОДЫ

На основании результатов, полученных в процессе проведения исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Метод параллельных скважин позволяет оценивать напряжения в железобетонной обделке подземных камер, а также соответствие принятой математической модели реальным параметрам среды измерений.
2. Для повышения эффективности исследований при выполнении экспериментов по определению напряженного состояния железобетонной обделки методом параллельных скважин следует проводить выбор места заложения измерительных скважин на основе результатов георадиолокационного обследования для исключения попадания створа скважин в места расположения пустот в зоне механического контакта «крепь – массив».
3. Для исключения ошибок в оценках напряженного состояния железобетонной обделки подземных камер следует проводить измерения на участках обделки за зоной влияния металлической арматуры в бетоне.

## Список литературы:

1. Шкуратник, В.Л. Методы определения напряжённо-деформированного состояния массива горных пород: научно-образовательный курс / В.Л. Шкуратник, П.В. Николенко. – М.: МГГУ, 2012. – 112 с.
2. Владов, М.Л. Введение в георадиолокацию: Учебное пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
3. Руководство по эксплуатации георадара SIR-3000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geophysical.com/Documentation/Brochures/GSSI-SIR-3000/Brochure.pdf>.
4. Барышников, В.Д. Диагностика состояния бетонной обделки горных выработок на наличие в ней неоднородностей с помощью георадиолокационного метода / В.Д. Барышников, А.П. Хмелинин, Е.В. Денисова // ФТПРПИ. – 2014. – № 1. – С. 30 – 38.

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

5. А. с. № 877005 СССР, Способ определения НДС в массиве горных пород / М.В. Курлена, В.Д. Барышников, Г.Ф. Бобров, С.Н. Попов, В.К. Федоренко. – Опубл. в 1981, бюл. № 40.

6. Барышников, В. Д. Способ натурного определения упругих свойств горных пород в методе параллельных скважин / В.Д. Барышников, М.В. Курлена, С.Н. Попов и др. // ФТПРПИ. — 1982. — №1. — С. 18 – 23.