

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОННОЙ ПЛОТИНЕ

Василий Дмитриевич Барышников

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения российской академии наук, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 54, зав. лаборатории ДМСМГП, тел. (383)217-05-41

Владислав Генрихович Качальский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения российской академии наук, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 54, старший научный сотрудник лаборатории ДМСМГП, тел. (383)217-05-41

Дмитрий Васильевич Барышников

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения российской академии наук, 630091, Россия, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 54, младший научный сотрудник лаборатории ДМСМГП, тел. (383)217-05-41

В статье приведены результаты экспериментальной оценки физико-механических свойств и величин действующих напряжений в низовой грани бетонной плотины СШ ГЭС.

Ключевые слова: плотина, напряжение, метод параллельных скважин, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

EXPERIMENTAL ESTIMATE OF EFFECTIVE STRESSES IN A CONCRETE DAM

Vasily Dm. Baryshnikov

Federal State-Funded Institution of Science, N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, 630091, Russia, Novosibirsk, Head of Laboratory for Diagnostics of Mechanical Condition of Rocks, Phone: (383)217-05-41

Vladislav G. Kachalsky

Federal State-Funded Institution of Science, N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, 630091, Russia, Novosibirsk, Senior researcher, Phone: (383)217-05-41

Dmitry V. Baryshnikov

Federal State-Funded Institution of Science, N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, 630091, Russia, Novosibirsk, Junior researcher, Phone: (383)217-05-41

The paper presents experimental assessment of physico-mechanical properties and the evaluation of effective stresses at the bottom of the Sayano-Shushenskaya Dam.

Key words: dam, stress, method of parallel borehole measurement, elastic modulus, Poisson's ratio.

Одним из показателей безопасного состояния гидротехнических сооружений (ГТС) являются величины действующих напряжений в элементах конструкций, оценка которой традиционно производится с использованием закладной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). В процессе длительной эксплуатации ГТС показания датчиков не отвечают требованиям надежности полученных оценок из-за превышения срока их гарантийной работы.

ИГД СО РАН предложил методический подход по организации контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонных плотин в эксплуатационный период. Он основан на использовании экспериментальных методов определения напряжений и последующих наблюдениях за их изменениями по измерению деформации бетона контролируемого участка [1].

Для количественной оценки напряжений в механике скальных пород разработан ряд методов, основанных на измерении деформаций скважины, вызванных изменением НДС в зоне установки датчиков. Достоверность полученных оценок определяется тем, насколько точно выбранная расчетная модель и ее параметры отвечают реальному поведению и свойствам массива. Основным недостатком данных методов применительно к использованию в бетоне – малая база измерений, что в условиях его неоднородности может привести к значительным погрешностям оценок напряжений. Поэтому в каждом проводимом эксперименте необходимо подтверждение правомерности использования принятой в расчетах модели реальному состоянию и свойствам бетонного массива.

Одним из методов натурального определения напряженного состояния массива горных пород является разработанный в ИГД СО РАН метод параллельных скважин [2,3]. Сущность его заключается в следующем. В предварительно пробуренную в массиве скважину (в дальнейшем будем называть ее измерительной) помещается прибор (деформометр) для измерения радиальных перемещений ее стенок. После этого напряженно-деформированное состояние в окрестности скважины изменяется выбуриванием параллельной (возмущающей) скважины. Бурение возмущающей скважины осуществляется с таким расчетом, чтобы в начальном и конечном положении торец скважины не оказывал влияние на показания деформометра. Происходящие при этом радиальные перемещения контура измерительной скважины регистрируются по нескольким (минимум трем) направлениям и определяются разностью между начальными (до возмущения) и конечными (после возмущения) показаниями.

Важным достоинством метода является то, что деформационные характеристики материала, необходимые для расчета величин напряжений, определяются в натуральных условиях непосредственно в той же “точке” массива [4]. Для этого в возмущающей скважине “напротив” деформометра размещается нагрузочное устройство, с помощью которого нагружают равномерным давлением стенки скважины, а реакцию горных пород фиксируют деформометром в соседней скважине.

Расчетная схема метода основана на решении задачи теории упругости о напряженно-деформированном состоянии плоскости с двумя круговыми отверстиями, так как характер деформации контура измерительной скважины не зависит от осевой компоненты напряжений [3]. По результатам одного замера

удается определить величины напряжений, действующих в плоскости, нормальной к оси измерительной скважины. Использование многокомпонентных деформометров с измерениями деформаций контура более чем в трех направлениях позволяет получать в каждом конкретном опыте ответ о соответствии принятой расчетной модели реальному поведению массива, определять ее параметры (упругие константы массива) [4], а также оценивать погрешность полученных результатов в рамках принятой модели (т. е. методические погрешности отдельного опыта).

В ИГД СО РАН создан программно-технический комплекс, отвечающий современным требованиям в части автоматизации процесса измерений и обработки данных [5]. В комплексе использованы промышленные модули аналого-цифровых преобразователей, сертифицированные датчики давления и перемещений и передача данных от измерительного устройства до промышленного компьютера. Принятые решения дают возможность получать более точные результаты и работать в полевых условиях с автономным питанием.

Экспериментальная апробация комплекса проведена при исследовании напряжений на низовой грани бетонной плотины Саяно-Шушенской ГЭС. Актуальность оценки величин действующих напряжений на участке низовой грани и IV столба плотины вызвана отсутствием экспериментальных данных по закладной КИА в этой зоне. В то же время, в период эксплуатации отмечены необратимые перемещения плотины в сторону нижнего бьефа, раскрытие контактного шва в основании плотины и образование зон трещинообразования в растянутой зоне со стороны напорной грани, повлекших необходимость проведения ремонтных работ [6]. Указанные явления свидетельствуют об отклонении работы сооружения от проектных предположений, что требует уточнения НДС сооружения после завершения ремонтных работ.

В качестве иллюстрации возможности применения метода и технических средств измерений для определения НДС бетонного массива, приведем данные, полученные на низовой грани секции 27. Для нахождения упругих констант и компонент напряжений в массиве используются соответствующие теоретические зависимости радиальных смещений контура измерительной скважины в процессе выбуривания возмущающей скважины и последующего нагружения ее контура равномерным давлением [3].

На рис. 1 показаны графики деформации контура измерительной скважины при ступенчатом нагружении возмущающей скважины. Ориентация измерительных направлений (1,2,3,4) деформометра относительно, соединяющей центры скважин, принята следующая: 1 – 90°; 2 – 135°; 3 – 0°; 4 – 45°.

Полученные данные позволяют определить упругую константу бетона G_{α} в точке измерения [4]:

$$G_{\alpha} = \frac{E}{4(1-\nu^2)},$$

где E – модуль упругости, МПа; ν – коэффициент Пуассона.

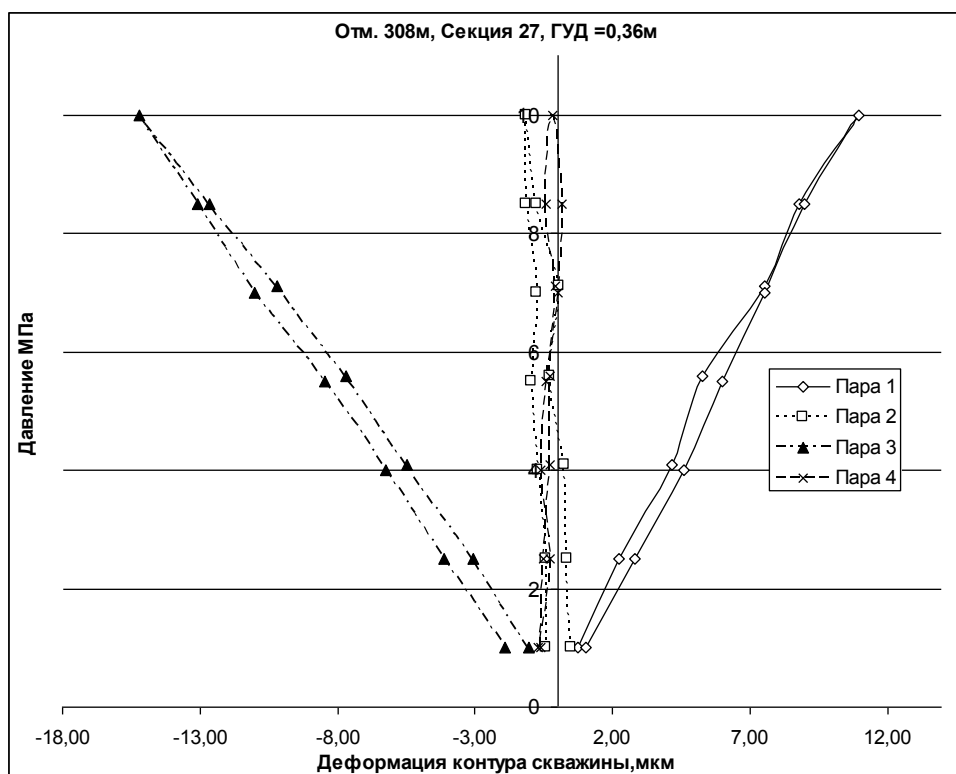


Рис. 1. Деформации контура скважины в секции 27 при определении модуля G_{α} в методе параллельных скважин

На рис.2 приведена экранная форма результатов вычислений G_{α} и напряжений в бетоне с соответствующими статистическими погрешностями их определения. В табл. 1 и на рис. 3 показаны компоненты и главные напряжения в плоскости нижней грани плотины.

Таблица 1

Величины напряжений в бетоне 27 секции нижней грани.

Параметры напряжённого состояния бетона на нижней грани плотины					
Компоненты напряжений величина/ср.квадр. откл., МПа			Главные в плоскости грани, МПа		Угол между горизонтом и σ_2 , град
σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	
-0,5/0,2	-5,6/0,3	1,0/0,1	-0,3	-5,8	-80

Анализ результатов позволяет отметить следующее.

1. При расстоянии между осями скважин около 150 мм подтверждено соответствие принятой в расчетах модели реальному поведению бетона на участке измерений: линейная зависимость «нагрузка–деформация» практически без остаточных деформаций измерительной скважины (см. рис.1) свидетельствуют об упругости и сплошности материала.

2. Незначительное расхождение значений упругой константы $G_{\sigma\epsilon}$, определенных по 4-измерительным направлениям (90% доверительный 7400÷8300 МПа при среднем значении 7805 МПа по ветви разгрузки; см. рис.2)

3. Среднеквадратические отклонения компонент напряжений составляют 0.1÷0.3 МПа, что не превышает 6% от максимального значения напряжений (см. табл. 1).

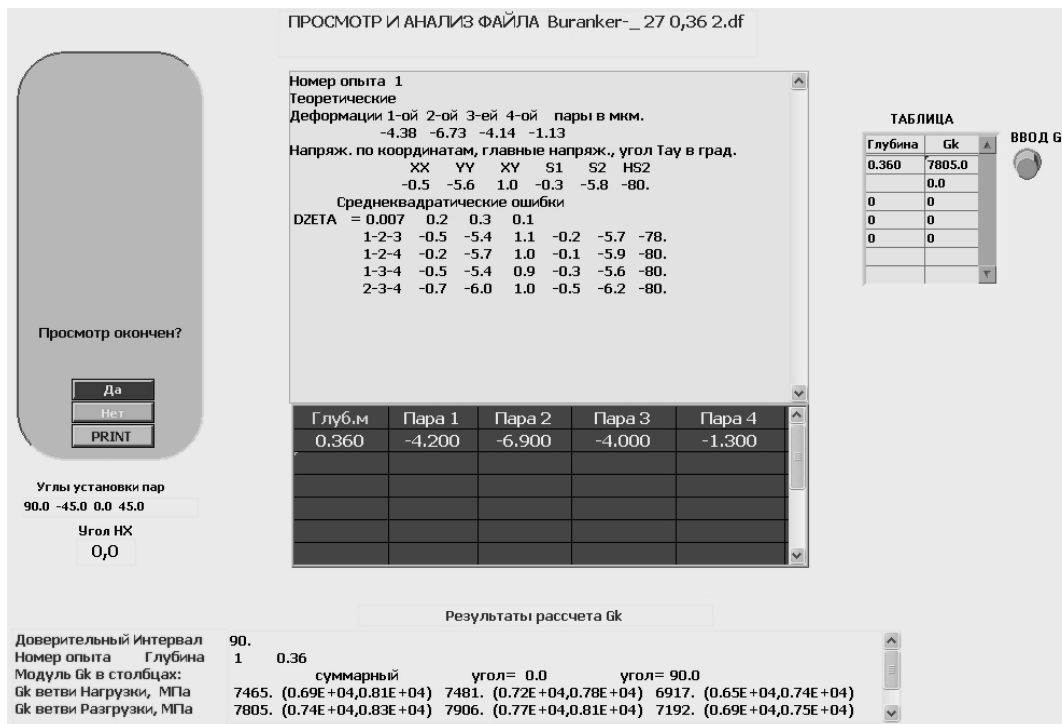


Рис. 2. Экранная форма результатов вычислений напряжений

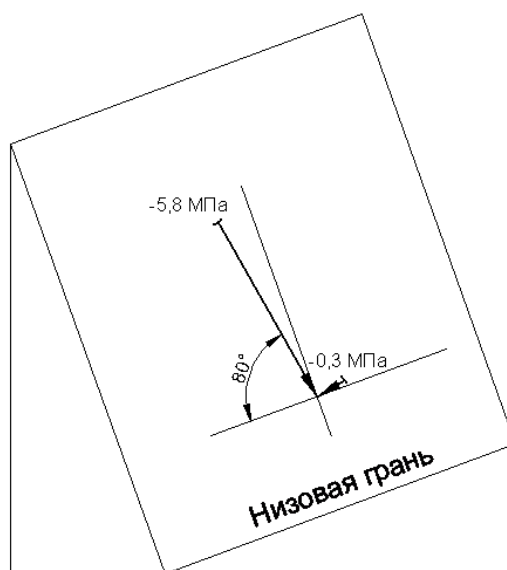


Рис. 3. Величины и направления действия главных напряжений в секции 27

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о применимости метода параллельных скважин и разработанных программно-технических средств для количественной оценки величин действующих напряжений в бетонных элементах конструкций ГТС, а полученные результаты могут быть использованы для тестирования численных расчетов и организации системы контроля НДС плотин в эксплуатационный период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курленя М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Об одном подходе к оценке и контролю напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений. // Гидротехническое строительство. –1998. –№2.
2. Курленя М. В., Барышников В. Д., Бобров Г. Ф., Попов С. Н., Федоренко В. К. Способ определения НДС в массиве горных пород // Открытия и изобретения. — 1981. — № 40.
3. Курленя М. В., Попов С. Н. Теоретические основы определения напряжений в горных породах. — М.: Наука, 1993.
4. Барышников В. Д., Курленя М.В., Попов С. Н. и др. Способ натурального определения упругих свойств горных пород в методе параллельных скважин // ФТПРПИ. — 1982. — № 1.
5. Барышников В.Д., Качальский В.Г. Автоматизированный измерительный комплекс приборов для определения напряжений в массиве горных пород методом параллельных скважин.//ФТПРПИ.-2010.-№ 3.
6. Брызгалов В.И. Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской ГЭС. // Сибирский изд. дом. «Суриков». – Красноярск. –1999.

© В.Д. Барышников, В.Г. Качальский, Д.В. Барышников, 2013