

УДК 502/504:627.8

О. Д. РУБИН

ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»

П. В. ШЕСТОПАЛОВ

ОАО «Институт Гидропроект»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Представлены результаты численных исследований физико-механических характеристик скального основания (в приконтактной и активной зонах) секций бетонной плотины на основе методики конечно-элементного моделирования систем «сооружение – основание» с использованием данных натурных наблюдений за деформациями основания.

Бетонная плотина, скальное основание, приконтактные и активные зоны, физико-механические характеристики, модуль деформации, натурные данные, система «сооружение – основание», конечно-элементные модели.

There are given results of numerical investigations of physical-mechanical characteristics of the bed-rock foundation (in the contact and active zones) of sections of the concrete dam on the basis of the method of finite-element modeling of the systems «structure – foundation» using the data of full-scale observations over deformations of the foundation.

Concrete dam, bedrock foundation, contact and active zones, physical-chemical characteristics, module of deformation, full-scale data, system «structure – foundation» finite-element models.

В настоящее время актуальной является задача безопасности гидротехнических сооружений, в том числе в свете Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений». Решение задачи по обеспечению надежности и безопасности гидротехнических сооружений в значительной мере зависит от состояния оснований основных сооружений гидроузлов. Показатели устойчивости и прочности гидросооружений и их элементов существенно зависят (а иногда и полностью определяются) от физико-механических характеристик основания. Поэтому знание фактических характеристик основания крайне необходимо.

Эта задача особенно значима применительно к объектам так называемого «долгостроя», основания которых могли долгое время находиться под воздействием окружающей среды, вследствие чего произошло изменение (ухудшение) физико-механических характеристик. В последние десятилетия в нашей стране и в ближнем зарубежье возводится целый ряд гидроэлектростанций в условиях затянувшихся сроков строительства: Богучанская, Сангтудинская, Рогунская и др. Под влиянием атмосферных и техногенных воздействий происходило

изменение (в основном ухудшение) физико-механических характеристик как основания, так и уложенного ранее бетона. Вследствие негативных изменений свойств основания произошло отклонение от проектных предпосылок. Поскольку расчеты устойчивости и прочности сооружений выполнялись при проектных характеристиках основания и нижних ярусов бетонирования, для проведения поверочных расчетов прочности и устойчивости необходимо определение фактических физико-механических характеристик основания.

Фактические физико-механические характеристики основания бетонной плотины предложено определять расчетным путем на основе конечно-элементных моделей системы «бетонная плотина – скальное основание» с использованием данных натурных наблюдений за осадками секций плотины и деформациями приконтактной и активной зон скального основания.

Разработанный подход к решению данной задачи показан на примере Богучанской ГЭС.

Бетонная гравитационная плотина максимальной высотой 73 м и протяженностью 757 м состоит из глухих секций 2...10, 23,

29, 30...34, станционных секций 11...19 и водобросных секций 20...22, 24...28. На рис.1 в качестве примера представлена секция 21.

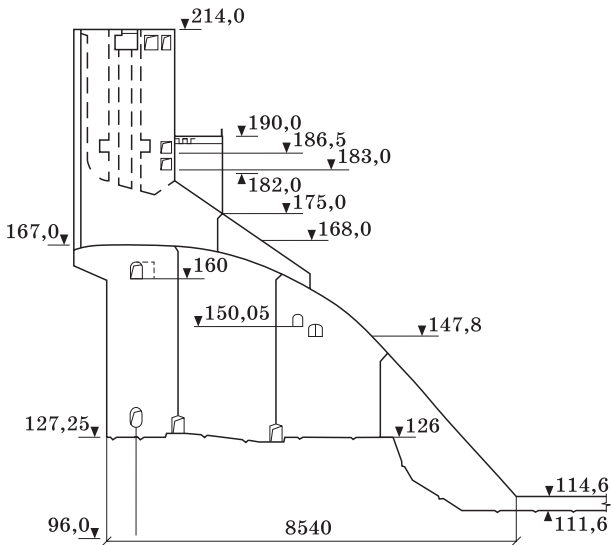


Рис. 1. Конструкция секции 21 в сечении вдоль потока

Основание бетонной плотины Богучанской ГЭС представлено долеритами, различными по составу и свойствам. Проектное значение модулей деформации E в зоне неизменной части массива составляет 23 000 МПа; в зоне разгрузки $E = 15\ 000$ и 6 000 МПа; в зоне интенсивной разгрузки $E = 3\ 000$ и 6 000 МПа.

По структурным особенностям массив долеритов на участке бетонных сооружений разделяется на три основные части: основание секций плотины 1...16; основание секций 17...22; основание секций 23...34 (рис. 2). При этом явно прослеживается тенденция ухудшения качества долеритов в направлении от левого к правому берегу Ангары.

Натурные наблюдения за основанием бетонной плотины производятся по 271 прибору дистанционной струнной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установленной в основании глухих левобережных секций 6...10, станционной и водобросной части секций 11...29, в сопрягающих секциях 30...34 и водобросе 2. Осадки и температуры поверхностной зоны основания плотины на базах 2; 5; 15 м измеряются соответственно ПЛПС-10 и ПТС, смонтированными на штангах-удлинителях, заложенных в скважины перед укладкой бетона. Осадки в активной области основания определяются нивелированием потолочных марок, установленных в цементационной галерее секций 5...34.

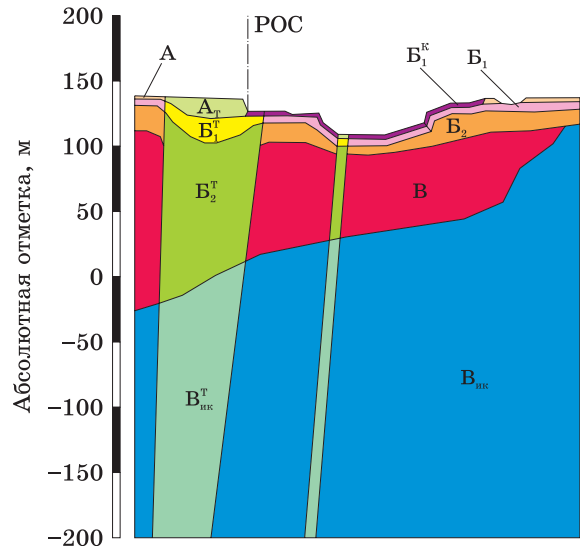


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез основания секции 21 вдоль потока: условные обозначения инженерно-геологических зон скального основания

Предварительный анализ имеющихся натуральных данных показал, что в результате указанных факторов под негативным воздействием окружающей среды произошло ухудшение таких характеристик основания, как прочность, жесткость, трещиностойкость, водонепроницаемость и др.

Целесообразно выделить две характерные зоны основания: приконтактную, в пределах которой реализуется наибольшая доля деформаций (условно принимаемую равной 5 м), и активную, в пределах которой происходят практически все деформации (составляющую десятки метров).

В этой связи имеются материалы комиссионных обследований сооружений Богучанской ГЭС и их оснований, представленные в «Акте обследования гидротехнических сооружений строящейся Богучанской ГЭС» (1999) и в «Акте по комплексной проверке качества строительства Богучанской ГЭС» (2000).

Отмечено, что величина модуля деформации скалы приконтактной зоны основания глубиной до 5 м в 5-6 раз меньше среднего проектного значения по массиву. Наиболее низкие деформативные характеристики определены в основании первых столбов плотины в районе секции 21. Существенное увеличение показателей водопроницаемости основания и снижение показателей его деформативных свойств отмечалось на глубине до 10...25 м в секциях 21, 22, 29, 30.

Установлено, что деформации пятиметровой приконтактной области основания составляют большую часть от

соответствующей деформации активной зоны основания. Это указывает на наличие более деформируемой зоны основания на контакте с бетонной плотиной.

Определение свойств скального основания бетонной плотины было предложено проводить на основе специально разработанной методики в рамках решения задач о напряженно-деформированном состоянии системы «строящееся сооружение – массив скального основания» с учетом сроков возведения сооружений и соответствующих этим периодам деформациям основания, измеренным посредством установленной в основании КИА.

Предварительно был выполнен анализ существующих подходов к решению подобных задач.

В рамках одного из подходов к решению данной задачи основание рассматривается отдельно от сооружения, влияние сооружения учитывается равномерной вертикальной сжимающей нагрузкой, соответствующей весу сооружения. Деформация основания определяется путем деления вертикальных сжимающих напряжений на модуль деформации основания.

Другие подходы заключаются в использовании плоских конечно-элементных моделей изолированных секций бетонной плотины с основанием без учета влияния возведения соседних секций плотины. Имеются также другие допущения и упрощения представленной методики.

При разработке собственного подхода к расчетному определению фактических свойств скального основания авторами были учтены как достоинства, так и недостатки упомянутых подходов. Предлагаемая методика позволяет более полно учитывать влияние многообразных факторов, в том числе величину деформации основания рассматриваемых секций бетонной плотины, в значительной мере зависящую от процесса возведения столбов данной секции (поэтапности строительства, приложения вертикальной нагрузки на основание), а также столбов соседних секций плотины. При этом учитываются особенности инженерно-геологического строения основания и др.

С целью решения поставленных задач были разработаны конечно-элементные модели систем «сооружение – основание» для характерных секций бетонной плотины (19, 21, 23, 28, 31, 34). Вид конечно-элементной модели секции 21 представлен на рис. 3.

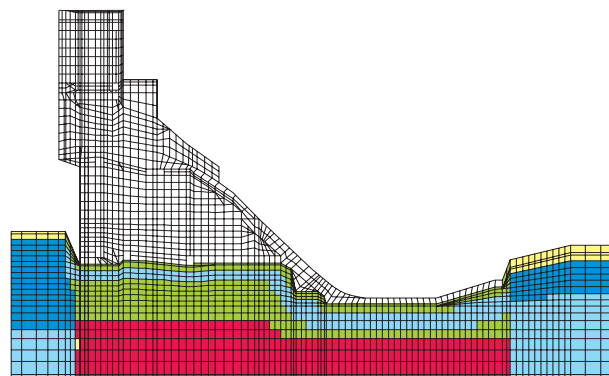


Рис. 3. Конечно-элементная модель секции 21 в сечении вдоль потока

В результате проведенных исследований были определены расчетные значения модуля деформации основания ряда секций бетонной плотины (секции 19, 21, 23, 28, 31, 34), представленные в таблице.

Следует обратить внимание, что для секций 28 и 34 значение модуля деформации верхнего слоя приконтактной зоны глубиной до двух метров, определенное расчетным путем, составило 350...400 МПа. Для нижнего слоя приконтактной зоны (в пределах от 2 до 5 м) тех же секций 28 и 34 значение модуля деформации, определенное расчетным путем, составило 700...750 МПа.

Расчетные значения модуля деформации основания плотины

Секция	Модуль деформации для зоны 0...2 м, МПа	Модуль деформации для зоны 2...5 м, МПа
19	350	1040
21	350	2000
23	350	1375
28	400	750
31	700	1100
34	350	700

Выводы

На основе расчетных исследований подтверждены данные о существенных отклонениях фактических характеристик основания Богучанской ГЭС от проектных значений. Получены фактические характеристики участков скального основания бетонной плотины, которые целесообразно использовать при проведении поверочных расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости секций бетонной плотины.

Материал поступил в редакцию 15.01.13.

Рубин Олег Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора
Тел. 8 (495) 967-73-25

E-mail: info@niies.ru

Шестопалов Павел Васильевич, генеральный директор
Тел. 8 (812) 740-57-05

E-mail: info@korf.spb.ru