

# РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ КАМЕННО – ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

Р.К. Бибалаев <sup>1</sup>, аспирант, Г.Л. Стародубцева <sup>2</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup>ОАО “ Гидропроект”, Москва

<sup>2</sup>ОАО “ ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”, Санкт – Петербург

Каменно – земляная плотина представляет собой объект, состоящий из каменной наброски боковых призм, противофильтрационного элемента (так называемого ядра плотины), переходных зон и основания. Все элементы плотины в рабочем состоянии заполнены поровой водой, то есть представляют собой в самом общем случае двухфазную среду: скелет грунта и поровая вода или воздух, заполняющий поры.

В программном комплексе **ABAQUS** напряженно – деформированное состояние такой двухфазной среды моделируется уравнениями консолидации, то есть описанием процесса нестационарного силового взаимодействия грунтового скелета и поровой воды. Так как для расчета любого процесса, происходящего во времени, требуется задание начального состояния объекта, в ABAQUS'е предусмотрена процедура проведения первого расчетного шага для задач геомеханики, а именно шага \*GEOSTATIC. В результате этого шага устанавливается равновесное состояние объекта при воздействии гравитационной нагрузки и приложенных сил (граничных условий). Далее с помощью шагов \*STEP, CONSOLIDATION проводится расчет напряжений и деформаций в скелете грунта, поровых давлений и скоростей движения воды в поровом пространстве при воздействии различных нагрузок, соответствующих проектируемому строительному или эксплуатационному режиму работы сооружения.

В представленной работе рассмотрено одно из сечений плотины Чарвакской ГЭС. Расчетная область, изображенная на Рис.1, упрощена исключительно с целью апробирования подхода к решению задачи, предлагаемого ABAQUS'ом, и из рассмотрения исключены переходные зоны.

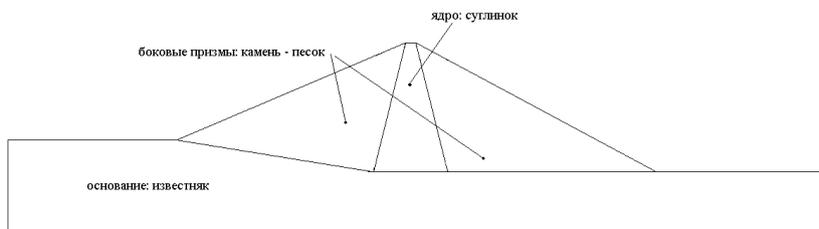


Рис.1. Расчетная область.

Для прохождения первого расчетного шага \*GEOSTATIC необходимо задание начальных условий для порового давления воды, коэффициента пористости, насыщения и напряжений; при этом напряжения для наборов элементов рекомендовано вычислять по формуле:

$$\sigma = \rho g h - \gamma_w s (1 - n) h,$$

где  $\rho$  - плотность скелета грунта, кг/м<sup>3</sup>

$g$  – гравитационная постоянная, м/сек<sup>2</sup>

$h$  – высота, м

$\gamma_w$  - удельный вес воды, н/м<sup>3</sup>

$n$  – пористость грунта

$s$  – насыщение.

И здесь мы сталкиваемся с трудностью расчета по этой зависимости, так как высота, а значит и напряжения в нашем случае меняются в пределах одного набора элементов (скажем, для боковых призм, имеющих наклонные грани). Для того, чтобы обойти эту трудность, мы разбиваем нашу расчетную область на отдельные фрагменты с тем, чтобы разумным способом (исходя из того физического соображения, что нормальные напряжения в основании любого фрагмента плотины по сути это вес фрагмента, отнесенный к площади основания) задать начальные напряжения. Пример такой разбивки приведен на Рис.2. Качество дальнейших расчетов, как показал проведенный нами численный эксперимент, напрямую зависит от “плавности” описания начального поля напряжений при переходе от фрагмента к фрагменту и, соответственно, разбивка играет в этом процессе решающую роль.

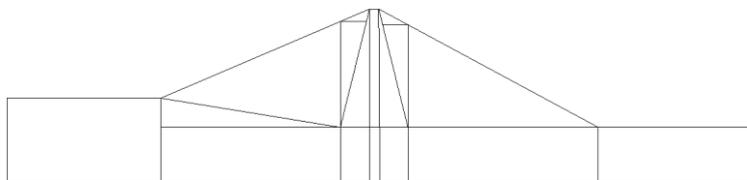


Рис.2. Разбивка расчетной области на фрагменты для определения начального состояния

Расчет на шаге \*GEOSTATIC проводился при уровне воды, соответствующем нижней отметке водохранилища, то есть водонасыщенным на этом шаге является только основание плотины. Результат расчета этого предварительного шага приведен на Рис.3 в виде распределения напряжений в плотине и ее основании.



Рис. 3. Распределение напряжений в плотине и основании после прохождения шага \*GEOSTATIC

На следующем этапе расчета проводился анализ напряжений и деформаций при заполнении водохранилища до отметки нормального подпорного уровня. Расчет проводился за несколько расчетных шагов, соответствующих режиму подъема воды в верхнем бьефе водохранилища. Полученные результаты расчета в виде поля деформаций приведены на Рис.4.



Рис.4. Деформации в теле плотины при подъеме воды до НПУ.

Даже для такой упрощенной схемы расчета, мотивированной исключительно желанием апробирования решения задач консолидации грунтов с помощью программного комплекса ABAQUS, полученный результат оказался близким к результатам натурных наблюдений. Это позволяет говорить о возможности применения ПК ABAQUS для расчетов напряжений, деформаций, поровых давлений, скоростей и градиентов фильтрационного потока для таких сложных объектов как гидротехнические сооружения.