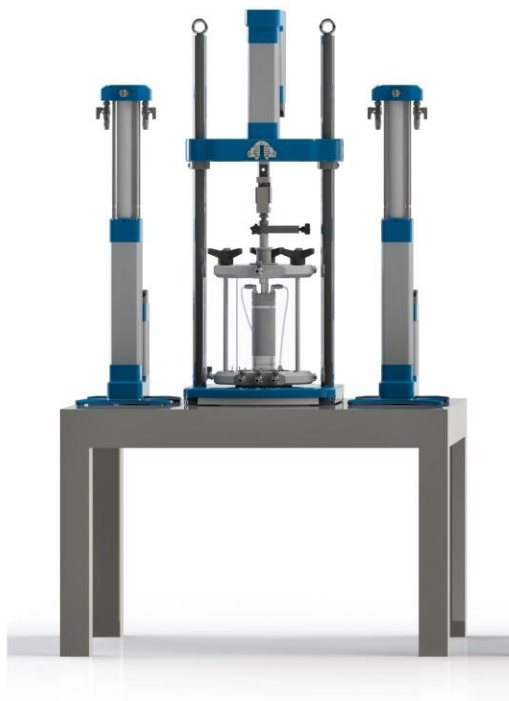


## Определение параметров Скемптона



**В новой статье из цикла о возможностях современного лабораторного оборудования обсуждается определение параметра Скемптона  $B$  (коэффициента порового давления – термин по ГОСТ 12248), позволяющего оценить распределение напряжений между скелетом грунта и поровой жидкостью. Этот параметр крайне важен при численном моделировании оснований в недренированных условиях, когда есть вероятность возрастания порового давления. Параметр  $B$  можно определять в ходе испытаний на осесимметричное трехосное сжатия в камерах любых конструкций.**

**Мирный Анатолий Юрьевич**

Старший научный сотрудник Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н.

**Идрисов Илья Хамитович**

Генеральный директор ООО «НПП «Геотек», к.т.н.

Все модели деформируемости и прочности описывают механическое поведение скелета грунта в предположении, что напряжения, действующие на границах элементарного объема, воспринимаются скелетом грунта – твердыми частицами. Однако в реальных образцах дисперсных водонасыщенных грунтов поровая жидкость также имеет большое значение, так как принимает на себя часть действующих объемных сил.

В наиболее простом случае решения механики грунтов основаны на гипотезе двухфазной среды. Элементарный объем грунта включает твердые частицы и жидкость, находящуюся в поровом пространстве. Предполагается, что воздух в порах отсутствует. В зависимости от степени водонасыщения грунт может быть двухфазной  $S_r > 95-100\%$  или трехфазной

средой  $S_r < 95\%$ . В последнем случае речь идет о маловлажных грунтах. Для двухфазных грунтов (состоящих только из твердой и жидкой фаз) Карлом Терцаги был предложен известный закон эффективных напряжений. Этот закон определяет распределение полных напряжений, приложенных к образцу грунта, между скелетом и поровой жидкостью.

Сжатие грунта происходит только за счет эффективных напряжений, прикладываемых к скелету, а поровое давление вызывает только напор в грунтовой воде и приводит к ее фильтрации. В начальный момент приложения внешней нагрузки полное давление равно поровому давлению вследствие малой сжимаемости грунтовой воды. По мере оттока воды избыточное давление падает, а эффективные напряжения увеличиваются. При завершении первичной (фильтрационной) консолидации избыточное поровое давление будет практически равно нулю, а эффективные напряжения равны полным.

В общем виде закон эффективных напряжений записывается как:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma'_s + \Delta u_w,$$

где  $\Delta\sigma'_s$  - приращение эффективных напряжений в скелете, а  $\Delta u_w$  - приращение давления в поровой жидкости.

В 1954 году в закон эффективных напряжений А.Скемптоном были введены дополнительные коэффициенты  $A$  и  $B$ , сумма которых составляет единицу:

$$\Delta\sigma = A \cdot \Delta\sigma'_s + B \cdot \Delta u_w$$

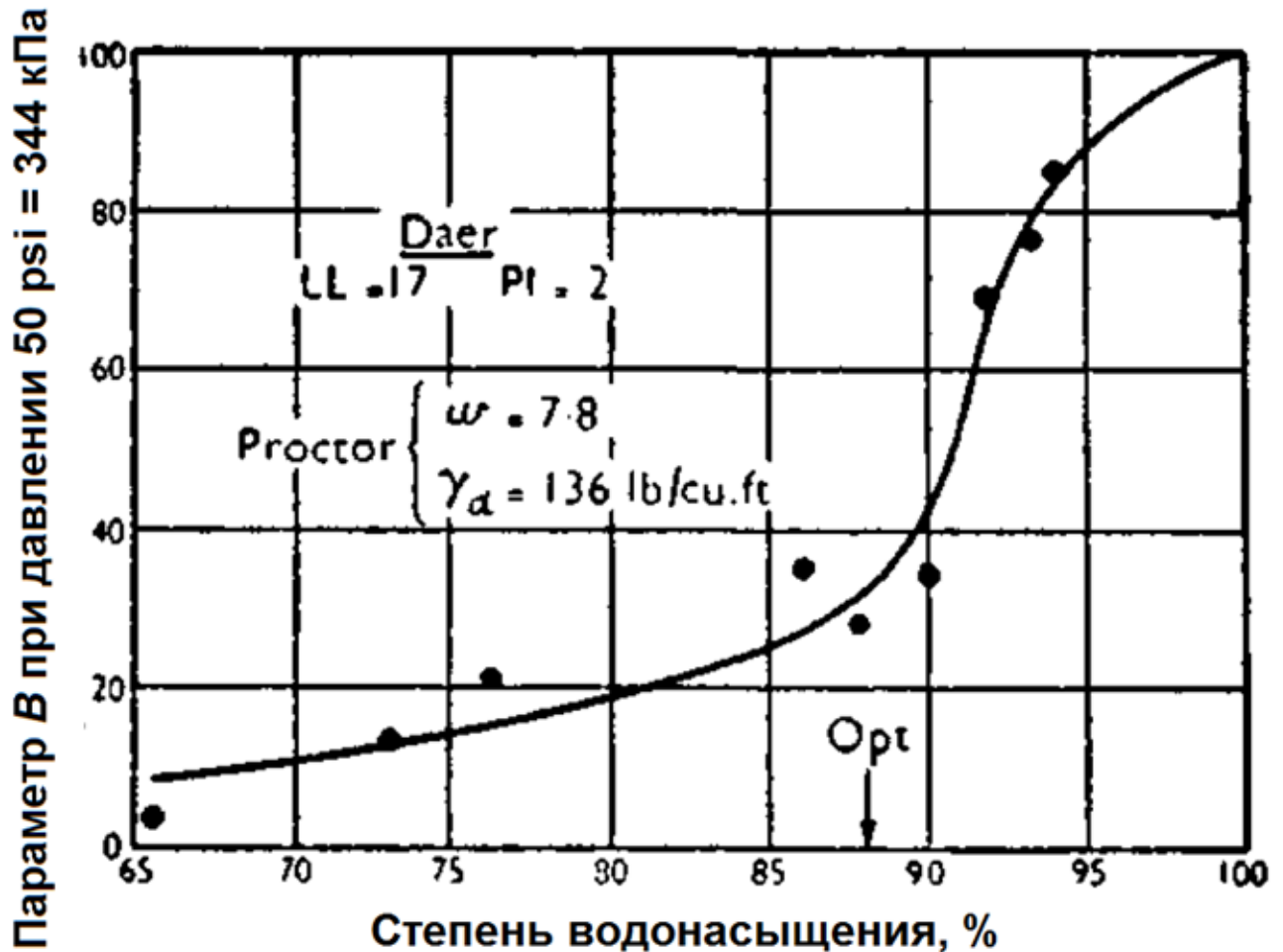
$$A + B = 1$$

В начальный момент нагружения полностью водонасыщенного грунта параметр  $B$  имеет высокое значение - нагрузка в основном воспринимается поровой жидкостью. По мере отжатия воды из порового пространства все большая часть приложенных напряжений воспринимается скелетом грунта, и  $B$  изменяется от 1 до 0. В дальнейшем параметр  $A$  стали чаще заменять выражением  $(1 - B)$ . В приращениях напряжений параметр  $B$  может быть выражен следующим образом:

$$B = \frac{\Delta u_w}{\Delta\sigma}$$

Фактическое значение  $B = 1$  возможно в единственном случае: при бесконечной жесткости поровой жидкости и 100%-ном заполнении пор жидкостью. Реальная поровая жидкость обладает конечной сжимаемостью в силу растворенных в ней газов и даже при 100%-ном заполнении пор жидкостью ( $S_r = 1$ ) параметр  $B$  не достигает единицы, а по мере развития фильтрационной консолидации уменьшается.

В частности, А.Скептон в своей работе приводит следующий график зависимости параметра  $B$  от степени водонасыщения  $S_r$ . Опыты проводились при постоянной плотности скелета грунта, но разной степени водонасыщения. Коэффициент  $B$  определялся при одном и том же значении давления для всех образцов (50 psi = 344 кПа). Хорошо видно (см. рисунок), что только после достижения степени водонасыщения величины 90%  $B$  начинает резко возрастать, а до этого не достигает даже 40%.



Отдельного внимания заслуживает величина параметра  $B$  в переуплотненных грунтах, испытывавших в историческом периоде большие давления, чем действующие в настоящий момент. В таких грунтах при разгрузке происходит частичное увеличение объема пор, который заполняется всасываемой жидкостью, а в случае закрытой пористости – пузырьками газа, до этого растворенного в поровой жидкости. Длительное существование в таком состоянии приводит к формированию достаточно прочных связей на контактах. В результате при попытке повторного сжатия данные грунты демонстрируют невысокие значения  $B$  даже при 100%-ном заполнении водой открытых пор.

Таким образом, параметр  $B$  является важнейшим параметром начального физического состояния грунта и отражает, какая часть полного давления будет воспринята поровой жидкостью и в дальнейшем рассеется в ходе фильтрационной консолидации, а какая будет сразу приложена непосредственно к скелету.

Чаще всего параметр  $B$  используется исключительно для контроля степени водонасыщения образца в ходе трехосных испытаний. Для этого после завершения водонасыщения дренажи перекрываются, а давление в камере увеличивается на некоторую величину. По отношению приращения порового давления к приращению давления в камере определяется величина  $B$ . В частности, ГОСТ 12248-2010 в Приложении Е (применяется термин - коэффициент порового давления  $B$ ) предлагает проводить водонасыщение до достижения параметром  $B$  величины 0,95. Другой нормативный документ, ASTM D 4767, указывает, что водонасыщение завершается так же при стабилизации значения  $B$ , то есть когда последующее водонасыщение не приводит к его увеличению. Это очень важное дополнение, так как позволяет не нарушать структуры переуплотненных образцов и

сохранить закрытые поры, даже в случае содержания в них пузырьков газа. ISO TS 17892 приводит такое же уточнение.

Также в ISO TS 17892 дана рекомендация при определении приращения порового давления учитывать объемную ползучесть. В случае, если объемная деформация продолжается без приращения давления в камере – то даже при закрытых дренажах будет наблюдаться рост порового давления. Эту величину предлагается измерять в ходе испытания и использовать как поправку, снижающую приращение порового давления. Фактически это означает, что в грунтах с выраженной объемной ползучестью фактическое значение  $B$  меньше измеренного напрямую, то есть скелет включается в работу даже при сравнительно высоких поровых давлениях.

В связи с активным применением методов численного моделирования вызывает большой интерес фактическое значение  $B$  при природной степени водонасыщения. Этот параметр используется программными комплексами для расчета частично недренированного поведения, то есть учета фактической составляющей полных напряжений, воспринятой поровой водой. Это позволяет не приравнивать объемную жесткость недренированного грунта к воде (как при  $B = 1$ ), а посчитать ее реальную величину. Такие расчеты позволяют с высокой точностью рассчитывать осадки в грунтах с низкой скоростью консолидации. Естественно, определение фактического значения  $B$  требует образцов высокого качества. Точное определение параметра Скемптона  $B$  невозможно без выполнения лабораторией ряда условий, в частности:

- применения методик изготовления образцов, максимально сохраняющих их структуру и природную влажность;
- высокой жесткости гидравлической системы (нагнетателей, соединительных шлангов, трубок, фитингов, стенок камеры);
- высокой точности измерения давлений, как в камере трехосного сжатия, так и в поровом пространстве образца;
- качественной дегазации жидкости, используемой при водонасыщении;
- возможности автоматического учета тарировочных зависимостей в ходе испытания.

Установки трехосного сжатия производства ООО НПП «Геотек» обеспечивают определение как фактического значения параметра Скемптона  $B$ , так и определение параметра  $B$  для контроля степени водонасыщения. Установки оснащаются системой управления противодавлением (дополнительное давление в поровом пространстве образца) с функцией компенсации жесткости. Испытания проводятся в автоматизированном режиме с контролем всех параметров испытания в режиме реального времени.

Помимо этого, ООО НПП «Геотек» выпускает вспомогательное оборудование для подготовки образцов и дегазации жидкости.

Более подробную техническую информацию можно получить у специалистов компании или на сайте [www.npp-geotek.ru](http://www.npp-geotek.ru).

### Список литературы

ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

ASTM D 4767-11. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

ISO 17892-9:2018. Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water saturated soils.

PLAXIS 3D Reference manual, 2016.

Bishop A.W., Henkel D.J. The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. London: Edward Arnold, 1957.

Skempton A. The Pore Pressure Coefficients A and B. Geotechnique, № 4, 1954.