

ОСОБЕННОСТИ ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMULIA ABAQUS

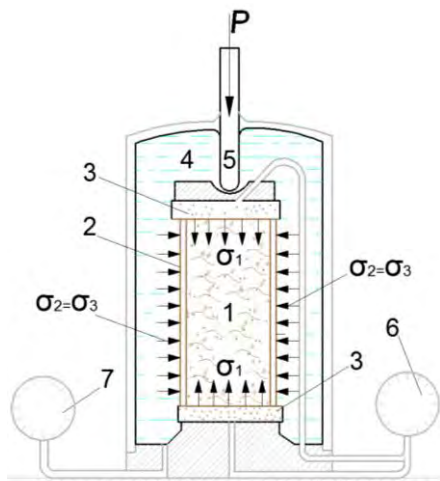
Д. В. Волик, к.т.н., доцент кафедры ОиФ

Кубанский государственный Аграрный университет, Краснодар, Россия

В работе обсуждается необходимость верификации параметров моделей грунтов, полученных в ходе стабилометрических (трехосных) испытаний. Приводится анализ влияния штампа и оболочки на результаты испытаний грунтов в приборе трехосного сжатия. Показана необходимость пространственного моделирования процесса испытаний грунтов.

В ходе инженерно-геологических изысканий площадки строительства, все большее распространение получают стабилометрические (трехосные) испытания грунтов. Трехосные исследования, наряду со штамповыми, считаются эталонными, так как позволяют определять параметры грунтов с достаточной достоверностью.

Кроме того, стабилометрические кривые необходимы для определения коэффициентов нелинейных моделей. Такие модели позволяют наиболее точно прогнозировать поведение различных геотехнических сооружений.



- 1-образец грунта;
- 2-эластичная оболочка;
- 3-пористые штампы;
- 4-камера; 5-поршень;
- 6-манометр для измерения порового давления;
- 7-манометр для измерения бокового давления $\sigma_2(\sigma_3)$

Рис. 1. Схема прибора трехосного сжатия

При испытаниях на трёхосное сжатие использовались образцы водонасыщенного плотного песка средней крупности и суглинка полутвердого пористого диаметром 38 мм и высотой 76 мм.

На рисунке (Рис. 1) показана схема устройства прибора для трехосного испытания грунта. На схеме прибора видно, что образец грунта заключается между пористыми штампами сверху и снизу, а так же эластичной оболочкой вокруг. Можно сказать, что на основе трехосных испытаний получают параметры модели, которая описывает поведение **системы (штамп – образец грунта – оболочка)**.

Некоторые программы позволяют быстро проверить параметры модели грунта путем построения графиков и сравнения их с кривыми стабилометрических испытаний (Plaxis). Таким образом, можно добиться подобия поведения математической модели и прибора трехосного сжатия. Однако эти параметры моделируют поведение **системы (штамп – образец грунта – оболочка)** тогда как, для геотехнических задач необходимы параметры, моделирующие поведение только лишь грунта.

Для верификации параметров, полученных в ходе стабилометрических испытаний, предлагается методика, состоящая из следующей последовательности действий:

1. Построить модель **системы (штамп – образец грунта – оболочка)** в программном комплексе [Simulia Abaqus](#). Назовем ее **моделью стабилометра**;
2. Произвести верификацию параметров **модели стабилометра** для соответствия поведению прибора трехосного сжатия. Верификацию необходимо выполнять с каждым образцом грунта отдельно. В данном случае это песок средней крупности и суглинок полутвердый;
3. Добившись подобия поведения модели натурному образцу – исключить из **модели стабилометра** штамп и оболочку, получив тем самым **модель «идеального» стабилометра**;
4. Провести сравнительный анализ поведения **модели стабилометра** и **модели «идеального» стабилометра** для оценки влияния штампов и оболочки.

Моделировалась 1/8 часть **модели стабилометра**. При визуализации результатов расчета, средствами [Simulia Abaqus](#), производилось отражение/копирование 1/8 части для получения визуального эффекта наличия половины модели.

Для описания поведения грунта использована упруго-пластическая модель с модифицированным критерием прочности Друкера-Прагера и упрочнением. Все натурные и модельные испытания проводились по схеме КД.

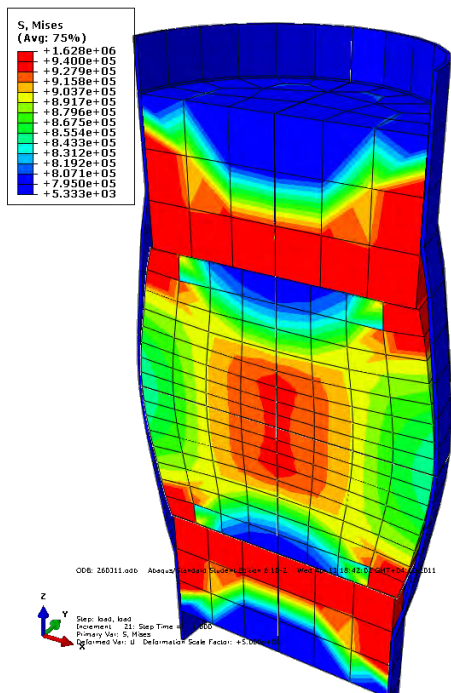


Рис. 2. Интенсивность напряжений по критерию Мизеса, Па (Abaqus)

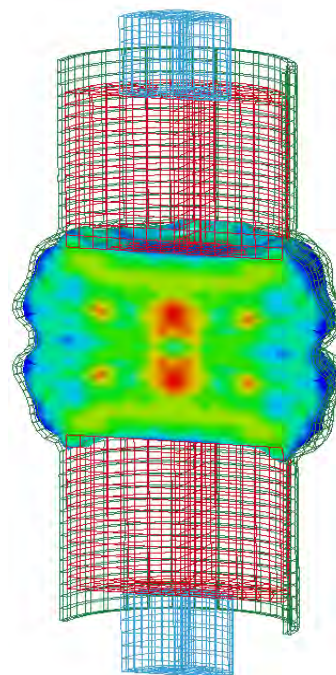


Рис. 3. Интенсивность напряжений по критерию Мизеса, Па (LS-DYNA) [2]

На рисунке (Рис. 2, 3) видны следующие характерные для данного процесса особенности:

- наибольшие значения интенсивности напряжений в грунте локализуются в форме «креста», который также фиксируется на рентгеновских снимках натуральных образцов;
- относительное скольжение и локальный отрыв резиновой оболочки от штампа [2];
- приобретение резиновой оболочкой бочкообразной формы [2];
- затекание грунта под оболочку [2].

Перечисленные особенности имеют место и при проведении испытаний, на основании чего можно сделать вывод о качественном подобии поведения модели стабилометра.

Характерные отличия поведения модели стабилометра и модели «идеального» стабилометра отражены на графике ниже (Рис. 4).

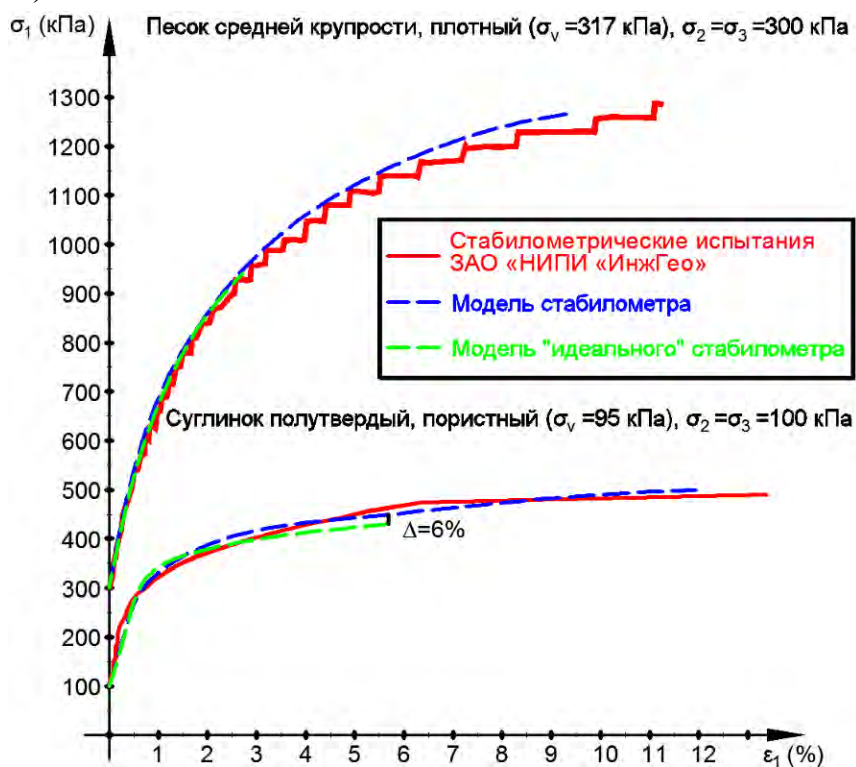


Рис. 4. График зависимости относительной вертикальной деформации образца от вертикальных нормальных напряжений

На графиках видно, что без стабилизирующего влияния оболочки и штампов, разрушение образца наступает гораздо раньше.

Кривые поведения песчаного грунта показывают, что влияние штампов и оболочки в модели стабилометра незначительно. Такой грунт часто служит основанием для свайных фундаментов (в г.Краснодаре).

Влияние штампов и оболочки в системе с глинистым грунтом может достигать 6%. Причем, основание сложенное полутвердым суглинком используется (в г.Краснодаре), в том числе, для опирания фундаментных плит зданий, достигающих 16-17 этажей.

Основные выводы:

1. Посредством программного комплекса **Simulia Abaqus**, построена модель **системы (штамп – образец грунта - оболочка)**, которая позволяет прогнозировать лабораторные испытания грунтов в приборе трехосного сжатия;
2. Стабилизирующее влияние оболочки и штампов позволяет образцу грунта описывать кривую вдвое большей длины до момента разрушения.
3. Вклад оболочки и штампов существенно завышает жесткость **системы (штамп – образец грунта - оболочка)**, в случае испытания слабых грунтов (глинистый грунт пластичной консистенции, мелкий рыхлый песок, и т.д.).
4. Стабилометрические экспериментальные кривые отражают совместное поведение образца, оболочки и штампов, поэтому применять полученные на их основе параметры моделей для прогнозирования поведения слабого грунта необходимо с корректировкой.

Список использованных источников

1. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
2. Болдырев Г.Г., Арефьев Д.В., Муйземник А.Ю. Идентификация параметров моделей грунтов.
3. Abaqus 6.9. Documentation.