

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРА ИСТИННОГО ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ В СЛОЖНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ

Пенза, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

АННОТАЦИЯ. В статье представлены предпосылки появления приборов истинного трехосного сжатия, показаны их преимущества над приборами трехосного сжатия и описано устройство современного прибора российского производства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: установка истинного трехосного сжатия, истинное трехосное испытание, испытание кубического образца, неравнокомпонентное нагружение.

ABSTRACT. The article presents the prerequisites for true triaxial testing devices, their advantages over traditional triaxial testing devices and describes internals of the modern Russian-made true triaxial device.

KEY WORDS: true triaxial stress cell, true triaxial test, cubic sample test, unequal principal stresses.

Начиная с 1950-х гг., повысился интерес к получению более точного описания фундаментального механического поведения грунта. Лабораторные исследования в более ранних работах (Henkel 1959; Parry 1960) включали трехосные испытания, которые послужили основой для нескольких существующих теорий, пытающихся объяснить механическое поведение грунта (к примеру, модель Cam-Clay). Напряженные состояния грунта, соответствующие природным условиям, чаще всего включают три неравных главных напряжения, т.е. среднее главное напряжение (σ_2) может варьировать от максимального (σ_1) до минимального главного напряжения (σ_3), и (или) направление главных напряжений может изменяться (к примеру, в задаче стабильности склонов, при разработке грунта). За последние пятьдесят лет было разработано несколько типов нового исследовательского оборудования, которое позволяет проводить испытания грунта в условиях трехосного нагружения. Ранние версии подобных приборов были ограничены в возможностях. Они были громоздки, сложны в использовании и требовали ручного управления для проведения экспериментов. Развитие компьютерной техники и программного обеспечения позволило производить испытания в автоматизированном режиме. Это способствовало значительному увеличению точности испытаний и позволило проводить их в больших количествах. Shibata and Karube (1965), Broms and Casbarian (1965), Yong and McKyes (1971), Vaid and Campanella (1974), Saada and Bianchini (1975), Lade and Musante (1978), and

Kirkgard and Lade (1993) занимались проведением автоматизированных трехосных испытаний, истинных (неравнокомпонентных) трехосных и испытаний на кручение.

Испытания цилиндрических образцов грунта в стабилометре (прибор трехосного сжатия) не позволяют провести исследования с произвольно изменяемыми главными напряжениями по трем взаимно перпендикулярным осям X , Y , Z , так как независимыми являются только два главных напряжения: вертикальное σ_1 и радиальное $\sigma_2 = \sigma_3$. В большинстве случаев распределение напряжений в основании сооружений является трехмерным с неравными значениями напряжений по трем осям координат (Болдырев, 2008). Подобный характер распределения напряжений невозможно создать в цилиндрических образцах грунта. Форма образца грунта в виде куба позволяет однозначно прикладывать напряжения на его сторонах, что является достоинством данных испытаний. В то же время существенным недостатком является влияние граничных условий и геометрических размеров образца на возникающую в опытах неоднородность деформации. Приборы, в которых проводятся испытания кубических образцов грунта, называются приборами истинного трехосного сжатия, так как в них можно реализовать общий случай нагружения, когда $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ (рисунок 1).

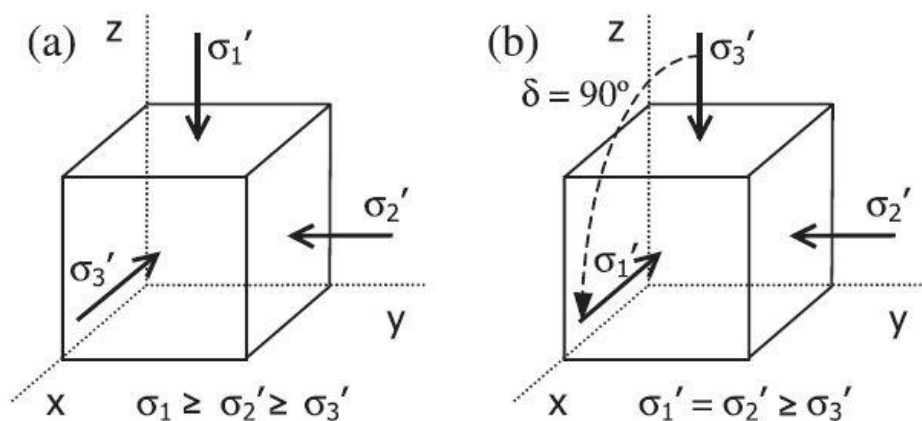


Рисунок 1 - Условия нагружения образца грунта в приборе истинного трехосного сжатия:
 а – общий случай нагружения, б – вращение наибольшего главного напряжения σ_1 на 90°

Необходимость независимого контроля этих напряжений была понята давно и привела к созданию приборов истинного трехосного сжатия (Давиденко, 1934). Вследствие сложности конструкции эти приборы вначале имели ограниченную область применения. В то же время, начиная с 1960-х годов, стали более часто проводить исследования с использованием приборов истинного трехосного сжатия (Ломизе Г.М и Крыжановский А.Л., 1968). В этих приборах напряжения или деформации контролируются независимо друг от друга, что позволяет проводить опыты с большей разновидностью траекторий напряжений, по сравнению с испытаниями в стабилометре (Болдырев, 2008).

На рисунке 2 представлена установка истинного трехосного сжатия конструкции ООО «НПП «Геотек». В состав установки входит камера истинного трехосного сжатия (2, рисунок 3), три нагнетателя (1), три электронно-преобразующих блока (5), панель управления поровым давлением (3), вакуумная камера, дегазатор жидкости (4), пробоотборник, набор датчиков давления (6) и инъекторов (7). Испытания в установке проводятся под управлением программного комплекса АСИС 4. Существует только две подобных установки на территории России, одна из которых находится в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства на кафедре «Геотехника и дорожное строительство».

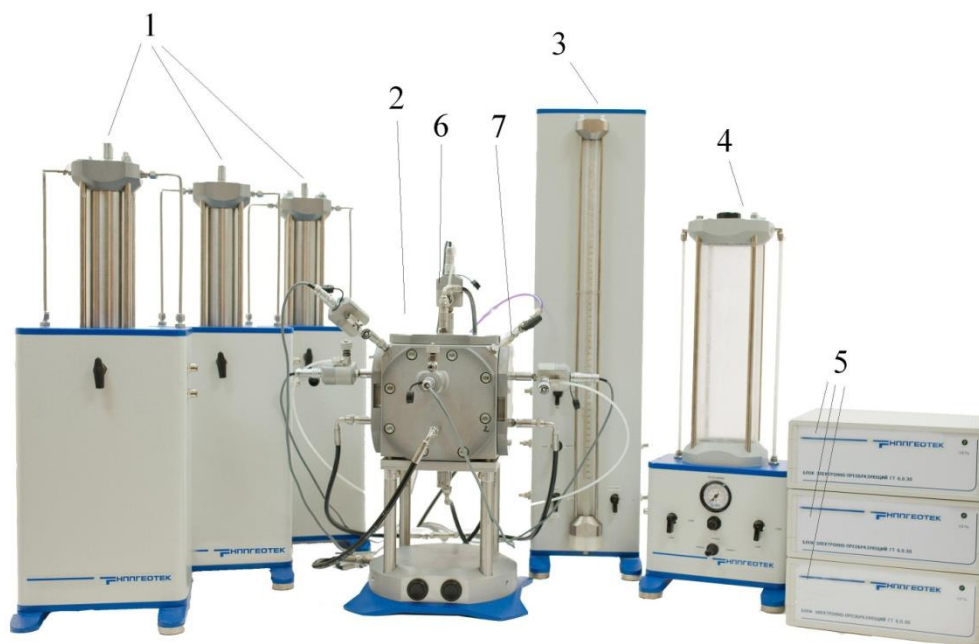


Рисунок 2 – Состав установки истинного трехосного сжатия

Кубический образец грунта в виде кубика 100x100x100 мм помещается в камеру (рисунок 3). Перед первым использованием, дистиллированная вода из дегазатора жидкости после прохождения процедуры дегазирования закачивается в нагнетатели, с помощью которых создается осевая нагрузка на грани образца. Нагрузка подается через гибкие мембраны, которые находятся в каждой из шести граней камеры истинного трехосного сжатия. На одну сторону мембраны давит вода, а другая сторона соприкасается с образцом.



Рисунок 3 – Камера истинного трехосного сжатия

Нормальные усилия на каждой грани измеряются при помощи датчиков давления, а объемные деформации – как объем закачанной жидкости нагнетателем.

Установка позволяет создавать и измерять поровое давление. В панели управления давлением создается пневматическое давление на столб жидкости, которая с помощью специальных инъекторов закачивается в образец грунта во время испытания.

Управление испытанием производится при помощи ПК с установленным программным обеспечением АСИС 4, в котором предусмотрено проведение испытаний, используя различные траектории нагружения.

ВЫВОД

Установка истинного трехосного сжатия представляет как практический, так и научный интерес, поскольку она позволяет не только исследовать количественное влияние всех главных напряжений на характер зависимости «напряжение – деформация» и на прочность грунта, но и определять качественную сторону процесса деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса: монография / Г.Г. Болдырев. – Пенза: ПГУАС, 2008. – С. 391-395.
2. Давиденков, Н.Н. Опыт измерения коэффициента распора лессовых грунтов / Н.Н. Давиденков // Изв. ВПИИТ. – 1934. – Т. XIV. – С.15.

3. Ломизе, Г.М., Определение механических свойств грунта в условиях пространственного напряженного состояния / Г.М. Ломизе, А.Л. Крыжановский // Механические свойства грунтов и вопросы строительства зданий на увлажняемых лессовых основаниях. – Грозный: Чеч."инг. изд"во, 1968. – С. 52–67.
4. Broms, B.B., and Casbarian, A.O. Effects of rotation of principal stress axes and of the intermediate principal stress on the shear strength // *In Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montréal.* – Rotterdam, The Netherlands, 1965. – Vol. 1. – P. 179-183.
5. Henkel, D.J. The relationship between the strength, porewater pressure, and volume-change characteristics of saturated clay // *Géotechnique.* – 1959. – Vol. 9. – P. 119-135.
6. Henkel, D.J. The shear strength of saturated remoulded clays // *In Proceedings of the ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Colo.* – New York, June 1960. – P. 533-554.
7. Kirkgard, M.M., and Lade, P.V. Anisotropic threedimensional behavior of a normally consolidated clay // *Canadian Geotechnical Journal.* – 1993. – Vol. 30. – P. 848-858.
8. Lade, P.V., and Musante, H.M. Three-dimensional behavior of remolded clay // *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE.* – 1978. – 104(GT2). – P. 193-209.
9. Parry, R.H.G. Triaxial compression and extension tests on remoulded saturated clay // *Géotechnique.* – 1960. – Vol. 101. – P.166-180.
10. Saada, A.S., and Bianchini, G.F. The strength of onedimensionally consolidated clays // *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE.* – 1975. – 101(11). – P. 1151-1164.
11. Shibata, T., and Karube, D. Influence of the variation of the intermediate principal stress on the mechanical properties of normally consolidated clays // *In Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montréal.* – Rotterdam, The Netherlands, 1965. – Vol. 2. – P. 359-363.
12. Vaid, Y.P., and Campanella, R.G. Triaxial and plane strain behavior of natural clay // *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE.* – 1974. – 100(GT3). – P. 207-224.
13. Yong, R.N., and McKyes, E. Yield and failure of clay under triaxial stresses. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE.* – 1971. – 97(SM1). – P. 159-176.
14. Prashant, A., and Penumadu, D. A laboratory study of normally consolidated kaolin clay // *Canadian geotechnical journal.* – 2005. – Vol. 42. – P. 54-62.