

УДК 624.131.37

К.В. Вавилин, Д.Н. Сурсанов**K.V. Vavilin, D.N. Sursanov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

ПЛАНИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ПОЛУСКАЛЬНОГО ГРУНТА НА ПРИБОРЕ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

THE PLANNING AND PREPARATION OF TESTS OF ROCKY SOIL SAMPLES ON TRIAXIAL TEST SYSTEM

В современном мире наблюдается тенденция к увеличению этажности зданий и сооружений, а строительство в условиях стесненной застройки требует увеличения глубины подземной части. Фундаменты глубокого заложения на территории г. Перми, как правило, опираются на полускальные и скальные нижнепермские грунты, залегающие на глубине 15–20 м. Полускальные породы раннепермского возраста представлены толщей аргиллитов, песчаников и иногда встречающихся маломощных прослоев мергелей и известняков. Кроме того, необходимость сохранения безопасности зданий и сооружений при их эксплуатации является не менее приоритетной задачей. Эти обстоятельства требуют от испытаний грунтов оснований максимальной точности и достоверности. В связи с этим в последнее время повышается актуальность проведения испытаний грунтов в приборах трехосного сжатия, называемых «стабилометрами». Представлена методика проведения лабораторного эксперимента на приборе трехосного сжатия полускального грунта. Более того, описана дальнейшая последовательность численного моделирования испытаний полускального грунта в программном комплексе PLAXIS для модели грунта Hardening Soil и калибровка параметров для данной модели. Содержится краткий обзор конструкции прибора трехосного сжатия.

Ключевые слова: полускальный грунт, трехосные испытания, стабилометр, механические свойства грунтов, прочностные и деформационные характеристики.

There is a tendency to increase the number of storeys of buildings and structures, and construction requires an increase on the depth of the underground part in the modern world. Deep foundations on the territory of Perm region as a rule rely on rocky lower permian soils occurring at a depth of 15-20 m. Rocky soils of early permian age are represented by mudstones, sandstones and sometimes thin layers of marl and limestone. In addition, a need to preserve the safety of buildings and structures during their operation is no less a priority tasks. These circumstance require maximum accuracy and credibility from soil testing. In that regard, the relevance of testing soils in triaxial compression devices, called "stabilometers" has recently increased. The article presents a methodology for conducting a laboratory experiment on a triaxial compression device of rocky soil. Moreover, a further sequences of numerical simulation of rocky soil tests in the PLAXIS software package for the Hardening Soil model and calibration of parameters for this model are described. The article also contains a brief overview of the design of the device of triaxial compression.

Keywords: rocky soil, triaxial tests, stabilometer, mechanical properties of soils, strength and deformation characteristics.

Введение

В современном мире наблюдается тенденция к увеличению этажности зданий и сооружений, а строительство в условиях стесненной застройки требует увеличения глубины подземной части. Фундаменты глубокого заложения таких зданий на территории г. Перми, как правило, опираются на полускальные и скальные нижнепермские грунты, залегающие на глубине 15–20 м. Полускальные породы раннепермского возраста представлены толщей аргиллитов, песчаников и иногда встречающихся маломощных прослоев мергелей и известняков [1].

Рост требований к возводимым сооружениям и необходимость их безопасной эксплуатации в дальнейшем ставят изыскателей перед необходимостью повысить точность определения характеристик грунтов. Для выполнения данной задачи требуется использовать приборы трехосного сжатия «стабилометры». Этот прибор позволяет воссоздать в образце природное напряженно-деформированное состояние в отличие от прочих лабораторных методов. Фактически для глубин свыше 50–60 м стабилометр является безальтернативным методом определения свойств грунтов основания [2].

Постоянное совершенствование конструкции стабилометра привело к тому, что стандартные промышленные образцы позволяют проводить испытания грунтов при обжимающих давлениях до 1,2 МПа, что соответствует примерно глубине 60 м. Этого вполне достаточно для испытаний грунтов оснований сооружений, включая сооружения повышенного уровня ответственности по ГОСТ 27751-2014.

На территории Российской Федерации в настоящее время используются приборы различных производителей. Среди них представлены отечественные производители, такие как ООО «НПП «Геотек», а также зарубежные компании GDS instrumental, Giesa, APS Wille и др.

В зависимости от способа создания среднего напряжения в образце грунта камеры стабилометра подразделяются на тип А и тип Б (рис. 1).

В приборе типа А образец со всех сторон подвергается действию давления рабочего тела, то есть находится в состоянии гидростатического сжатия, в приборе типа Б напряжения на боковой поверхности и торцах образца создаются раздельно. В России и за рубежом чаще всего применяются стабилометры типа А. Однако в этом стабилометре зачастую выполняется только изотропная консолидация образцов грунта. Для специальных исследований, например для переплотненных грунтов, необходимо использовать приборы типа Б [2].

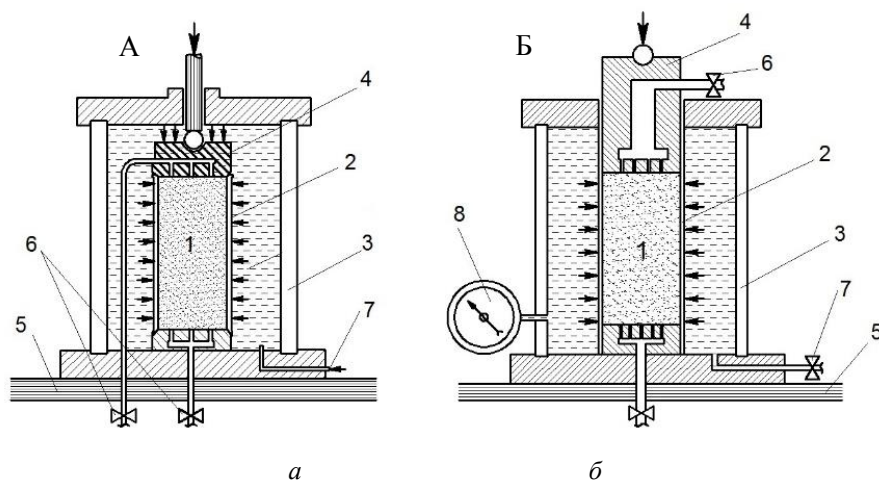


Рис. 1. Схемы камер стабилометра типа А (а) и Б (б):
 1 – образец; 2 – оболочка; 3 – стенка камеры; 4 – штамп;
 5 – основание; 6 – дренажные краны; 7 – штуцер подачи рабочего
 тела в камеру; 8 – датчик давления

Испытание в приборе трехосного сжатия позволит выявить степень изменения прочностных и деформационных характеристик полускальных грунтов.

1. Проведение экспериментов

Целью планируемого эксперимента является изучение прочностных и деформационных характеристик полускального грунта в приборе трехосного сжатия. Для достижения поставленной цели необходимо решить некоторые задачи:

- определить физико-механические характеристики грунта будущих образцов;
- осуществить испытания образцов;
- обработать полученные результаты;
- сформулировать выводы;

Подготовка и выполнения испытаний грунта будет осуществляться на основе материально-технической базы лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета. В ходе эксперимента будет использоваться рабочая камера типа Б с набором штампов, устройство силового нагружения и панель управления давлением (рис. 2).



Рис. 2. Установка трехосного сжатия с установленной рабочей камерой

Согласно ГОСТ 12248-2010 «Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» для определения прочностных и деформационных характеристик полускальных грунтов рекомендуется одноосное сжатие, но по специальному заданию могут применяться другие виды испытаний, что подходит под планируемые испытания. Подбранная схема согласно ГОСТу – неконсолидированно-недренированное испытание (НН).

Суть эксперимента – проведение трехосных испытаний образцов полускальных осадочных горных пород с площадки г. Перми мергеля либо аргиллита (рис. 3). На момент написания статьи конкретный тип грунта не выбран.



a

б

Рис. 3. Образцы мергеля (*a*), аргиллита (*б*)

Установка для трехосного сжатия позволяет проводить испытания для образцов высотой 200 мм и диаметром 100 мм. Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 35 мм с отношением высоты к диаметру от 1,85

до 2,25. Диаметр образца выбирается так, чтобы максимальный размер включений не превышал 1/6 его диаметра.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12248-2010 для определения частных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления, испытания проводятся не менее трех раз для идентичных образцов исследуемого грунта при различных значениях всестороннего давления на образец. При численном моделировании образцов грунта в программном комплексе PLAXIS планируется использовать модель упрочняющегося грунта (Hardening Soil Model). Данная модель нашла широкое применение в расчетах. Она точно описывает поведение грунта при экскавации, при устройстве подпорных стен и проходке туннелей.

Для определения параметров модели упрочняющегося грунта Hardening Soil проводится ряд испытаний: один раз компрессионные испытания и минимум четыре раза трехосные испытания (три – для определения прочностных свойств, один – деформационных) [3, 4]. При использовании данной модели грунта в расчетах в программных комплексах необходимо определить десять параметров (таблица) [5].

Перечень параметров грунта для модели PLAXIS Hardening Soil

Параметр	Название	Тип испытаний для определения параметра	Ед. изм.
E_{50}^{ref}	Секущий модуль деформации при 50 % значений $(\sigma_1 - \sigma_3)$	Трехосные	кН/м ²
E_{oed}^{ref}	Касательный модуль деформации	Компрессионные	
E_{ur}^{ref}	Модуль деформации при разгрузке – повторном нагружении	Компрессионные	
ν_{ur}	Коэффициент Пуассона при разгрузке – повторном нагружении (по умолчанию $\nu_{ur} = 0,2$)	–	–
m (<i>power</i>)	Показатель степени, для описывания влияния ограничивающего давления на модуль деформации	Компрессионные	–
K_0	Коэффициент бокового давления грунта, по Jaku (1944) $K_0^{NC} = 1 - \sin\varphi$	–	–
p^{ref}	Опорный уровень напряжений, по умолчанию $p^{ref} = 100$ кН/м ²	–	кН/м ²
c	Эффективное сцепление	Трехосные	
φ	Эффективный угол внутреннего трения	Трехосные	град
ψ	Угол дилатансии, обычно $\psi = \varphi - 30^\circ$	Трехосные	

Для того чтобы понять, достоверно ли параметры модели грунта, полученные по результатам лабораторных испытаний, отражают реальное поведение грунта под нагрузкой, необходимо будет численно симитировать эти испытания (например, в модуле SoilTest программы PLAXIS). Если поведение

грунта в программном комплексе будет различаться с экспериментальными данными, то нужно будет проводить калибровку параметров модели этого грунта [3].

Калибровка параметров модели Hardening Soil [6] будет проводиться после имитации трехосных испытаний в модуле SoilTest на соответствие с графиком $\varepsilon_1 = f(\sigma_1 - \sigma_3)$, полученным в ходе лабораторного эксперимента. Значимыми параметрами будут являться: эффективное сцепление c , эффективный угол трения φ , секущий модуль деформации E_{50}^{ref} . Последующая калибровка параметров будет проводиться после имитации компрессионных испытаний на соответствие с экспериментальным графиком $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$, полученным в ходе лабораторного эксперимента. В этом случае значимыми параметрами станут: показатель степени m , касательный модуль деформации E_{oed}^{ref} и модуль деформации при разгрузке-повторном нагружении E_{ur}^{ref} [3].

Таким образом, параметры, прошедшие калибровку, позволят с высокой точностью описывать компрессионные и трехосные испытания, обеспечивая достоверность решения и реальных геотехнических задач.

Заключение

Стабилометр является наиболее совершенным из всех приборов для лабораторных испытаний грунта, производимых промышленно, и позволяет воспроизвести в лабораторных условиях природное состояние образца как в отношении НДС, так и в отношении условий дренирования. Прибор трехосного сжатия при должном обслуживании и эксплуатации является серьезным инструментом при проведении инженерно-геологических изысканий и научных исследований.

Информация, полученная в результате проведенных испытаний, послужит основой для создания сравнительных таблиц и графиков, а также понадобится для дальнейшей калибровки параметров модели грунта в программном комплексе.

Список литературы

1. Калошина С.В., Пономарев А.Б. Об инженерно-геологических условиях строительства в г. Перми // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: труды междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию БашНИИСтроя: в 3 т. – Уфа, 2006. – Т. 2. – С. 119–124.
2. Мирный А.Ю. Трехосное испытание грунтов: теория и практика / под ред. З.Г. Тер-Мартиросяна. – М.: Геомаркетинг, 2015. – 144 с.
3. Мельников Р.В., Сагитова Р.Х. Калибровка параметров модели Hardening Soil по результатам лабораторных испытаний в программе SoilTest // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2016. – №3. – С. 79–83.

4. Соколова О.В. Подбор параметров грунтовых моделей в программном комплексе Plaxis 2D // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – №4. – С. 10–16. DOI: 10.5862/MCE.48.2

5. Строкова Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2008 – Т. 313, №1. – С. 69–74.

6. Определение параметров модели Hardening Soil по результатам лабораторных испытаний / А.З. Тер-Мартirosян, А.Ю. Мирный, В.В. Сидоров [и др.] // Геотехника. Теория и практика. Общерос. конф. молод. ученых, науч. сотр. и спец.: межвуз. темат. сб. тр. – СПб.: СПбГАСУ, 2013. – С. 141–146.

Получено 18.03.2020

Вавилин Константин Викторович – студент, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vavilinkonstantin@gmail.com).

Сурсанов Дмитрий Николаевич – старший преподаватель кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sursanov@mail.ru).