

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТОВ

В статье сравниваются различные методы определения модуля деформации пород: область действия, расчетные формулы, методика проведения. Рассмотрению подлежат компрессионный метод, штамповые испытания, статическое зондирование и дилатометр. Проведен анализ результатов измерений, сделаны выводы о возможности их сравнимости, описаны причины их различий.

Данная работа проведена для актуализации современных способов и методик определения модуля деформации грунта с целью выбора оптимального метода при строительстве и расчетов оснований и фундаментов. Зависимость между напряжениями и деформациями грунта в определенном диапазоне напряжений выражается линейной зависимостью (закон Гука):  $\sigma = E\xi$  (где  $E$  – коэффициент пропорциональности, называемый в случае упругих деформаций модулем упругости, а в случае как упругих, так и пластических деформаций – модулем общей деформации). Количественной мерой деформации образца является относительная деформация  $\xi$ , равная отношению абсолютной деформации  $\Delta h$  к первоначальному размеру образца  $h_0$ . Относительная деформация является безразмерной величиной и выражается в долях единицы или в процентах [1].

Модуль деформации  $E$  определяется в компрессионных испытаниях, но т. к. там присутствуют погрешности малого образца, то используют полевые методы, например штамповые испытания, статическое зондирование, дилатометрия:

*Компрессионный метод (лабораторный метод)* применяют для дисперсных грунтов с целью определения деформационных характеристик. При компрессионном сжатии дисперсного грунта уплотнение происходит за счет уменьшения объема пор, закрытия трещин, деформации и переориентации минеральных частиц. Минеральные частицы скелета грунта и поровый раствор деформируются упруго, поэтому деформацию частиц грунта и порового раствора можно рассматривать как происходящую мгновенно. Модуль деформации определяется по формуле:

$$E = \frac{\sigma}{\xi}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжение, а  $\xi$  – относительная деформация.

*Штамповые испытания (полевой метод)* позволяют изучать сжимаемость значительного объема грунта в условиях его естественного залегания, что повышает достоверность получаемых данных по сравнению с лабораторными испытаниями [2]. Характеристики определяют по результатам нагружения грунта вертикальной нагрузкой в забое горной выработки с помощью штампа. Модуль деформации грунта в штамповых испытаниях является функцией от давления  $P$  и размера абсолютной деформации  $\Delta h$ :  $E = f(P; \Delta h)$ . Модуль деформации грунта ( $E$ ), МПа, вычисляют для линейного участка графика по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) K_p K_1 D \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,27 для крупнообломочных грунтов; 0,30 – для песков и супесей; 0,35 – для суглинков; 0,42 – для глин;  $K_p$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа  $h / D$ ;  $h$  – глубина расположения штампа относительно поверхности грунта, см;  $D$  – диаметр штампа, см;  $K_1$  – коэффициент, принимаемый равным 0,79 для жесткого круглого штампа;  $\Delta p$  – приращение

давления на штамп, МПа, равное  $(p_n - p_0)$ ;  $\Delta S$  – приращение осадки штампа, соответствующее  $\Delta p$ , см, определяемое по осредняющей прямой.

*Статическое зондирование (полевой метод).* При статическом зондировании происходит процесс погружения зонда в грунт под действием статической вдавливающей нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда. Модуль деформации  $E$  при статическом зондировании определяется на пределе пластической прочности грунта [3]. В примечаниях к таблице результатов зондирования отмечаются особенности процесса зондирования (шумы, удары, резкие изменения скорости погружения зонда и т. п.). Значения  $q_s$ , МПа, и  $f_s$ , МПа, вписывают в таблицу в процессе зондирования.

*Дилатометрия (полевой метод).* Испытание дилатометром производится для определения модуля деформации грунтов с низкими деформационными характеристиками. Прибор позволяет реализовать на практике метод релаксации напряжений (метод контролируемых перемещений), когда исследуемый грунт деформируется заданными ступенями перемещений, а возникающие при этом напряжения фиксируются как независимая от исследователя величина. Принятые геометрические размеры клиновидного индентора обеспечивают линейное деформирование окружающего грунта на большей части рабочих граней индентора, а напряжения, измеряемые датчиком давления, интерпретируются в рамках линейно-деформируемой модели. Для вычисления дилатометрического модуля деформации грунтов используется модифицированная формула Шлейхера [4]:

$$E = \frac{\pi(1-v^2)\omega dq}{2S \arcsin \frac{d}{b}} \quad (3)$$

где  $v$  – коэффициент поперечного расширения (Пуассона), доля единицы;  $\omega$  – коэффициент, учитывающий жесткость и форму рабочих граней индентора, доля единицы;  $d$  – ширина (диаметр) чувствительной мембраны датчика давления, мм;  $q$  – контактное давление по показаниям датчика давления, МПа;  $S$  – перемещение грунта по центру датчика давления, мм;  $b$  – ширина рабочей грани индентора, мм.

На рисунке 1 показаны области применения рассмотренных выше методов определения деформации пород.

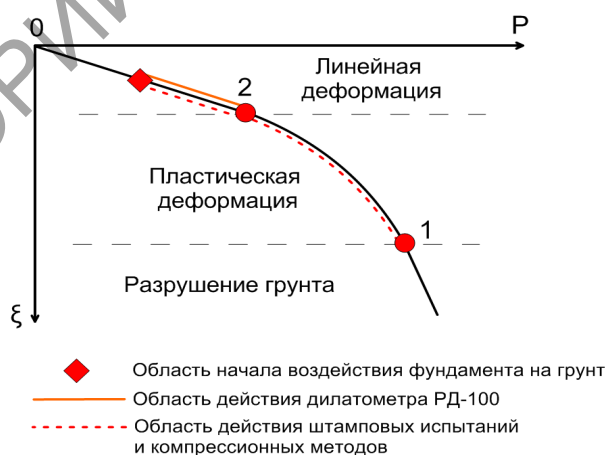


Рисунок 1 – График сравнения области действия методов определения деформации пород

На графике видно, что по мере возрастания давления до определенного предела (точка 2 на рисунке 1) деформация грунта развивается практически пропорционально действующему давлению, т. е. наблюдается их линейная зависимость. Эту фазу

деформации горных пород называют *фазой уплотнения* (зона линейной деформации на рисунке 1). При дальнейшем увеличении давления деформация становится неравномерной, нарастает быстрее, чем увеличивается давление. Нарушается пропорциональность осадки возрастающей нагрузке (рисунок 1, зона пластической деформации). Это указывает на начало разрушения грунтов. Формируются остаточные пластические деформации. Эту фазу деформаций грунтов называют *фазой сдвигов* (рисунок 1, зона пластической деформации). К концу фазы сдвигов (точка 1 на рисунке 1) сдвиги в отдельных точках сливаются в некоторую сплошную поверхность скольжения, и подготавливается наступление третьей фазы – *выпора грунтов из-под фундамента*, т.е. *полное их разрушение*. Это фаза выпирания (рисунок 1, зона разрушения грунта). Критическую нагрузку, соответствующую точке 1 на рисунке 1 называют *несущей способностью пород*.

Главным отличием рассмотренных методов является область действия:

1. Компрессионные и штамповые испытания проводятся в интервале от действия природных нагрузок до точки 1, соответствующей началу разрушения грунта (точка 1 на рисунке 1).

2. Модуль деформации  $E$  при статическом зондировании определяется на пределе пластической прочности грунта. Данный метод применяется для определения нагрузки, соответствующей началу разрушения грунта (точка 1 на рисунке 1).

3. Дилатометр применяется в интервале, соответствующему фазе уплотнения (от бытовой нагрузки до точки 2 на рисунке 1).

В таблице 1 приведены результаты обработки данных по полигонам №1 и №2 (Новосибирский район, Россия) [5].

Таблица 1 – Результаты обработки данных по опытным полигонам

Наименование грунта	Статистический показатель	Модуль деформации $E$ , МПа		
		РД-100	Штамп	КПр-1
Песок пылеватый. Полигон №1	$E_{\min}$	14,2	15,2	3,3
	$E_{\max}$	34,2	27,6	12,4
	$\bar{E}$ (модуль деформации средний)	24,1	23,0	-
	$\sigma$ (среднеквадратическое отклонение)	$\pm 5,3$	$\pm 4,3$	-
	$\nu$ (коэффициент вариации)	0,22	0,19	-
	$n$ (число определений величины)	20	5	6
Суглинок полутвердый. Полигон №2	$E_{\min}$	5,0	7,0	4,3
	$E_{\max}$	10,0	12,0	7,6
	$\bar{E}$ (модуль деформации средний)	7,2	8,7	5,8
	$\sigma$ (среднеквадратическое отклонение)	$\pm 1,6$	$\pm 1,6$	$\pm 1,34$
	$\nu$ (коэффициент вариации)	0,12	0,20	0,23
	$n$ (число определений величины)	52	6	8

Следует отметить, что значения модуля деформации, полученные по результатам компрессионных испытаний пылеватых песков на полигоне № 1 ( $E = 3,3 \dots 12,4$  МПа), не характерны для слабосжимаемых грунтов. Это еще раз доказывает, что, несмотря на тщательность и осторожность отбора, транспортировки и подготовки образцов грунта, природная структура песков все же частично нарушается и лабораторные испытания не должны применяться для оценки их механических свойств. В этой связи результаты лабораторных исследований пылеватых песков полигона № 1 были исключены из рассмотрения при дальнейшем сопоставлении данных.

Полученные для конкретных инженерно-геологических условий полигонов № 1 и № 2 результаты хорошо согласуются между собой, что позволяет перейти к установлению корреляционных связей между значениями модуля деформации, определенными различными методами [5].

Из анализа таблицы 1 можно сделать вывод, что для сравнения методов необходимо введение поправочного коэффициента. Различие показаний обусловлено различной методикой проведения работ и различными расчетными формулами.

Данные методики определения деформационных свойств грунтов и их корреляция требуют дальнейшего изучения и уточнения, т.к. различны методы проведения работ, они применяются в разных интервалах нагрузок и для разных типов грунтов, при вычислении показателей в вышеперечисленных методах используются различные формулы. Преимущество при определении характеристик следует отдавать полевым методам, т. к. определение свойств грунтов производится в их естественном залегании.

### Литература

1 Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: в 2 т. / под ред. Е. М. Сергеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – Т. 2. Лабораторные методы. – 438 с.

2 Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: в 2 т. / под ред. Е. М. Сергеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – Т. 1. Полевые методы. – 423 с.

3 Прочностные и деформационные характеристики грунтов по данным статического зондирования и пенетрационного каротажа. Правила определения: ТКП 45-5.01-15-2005 (02250). – Введ. 02.04.2007. – Минск: Мин-во архитектуры и строит. Респ. Беларусь, 2007. – 21 с.

4 Грунты. Полевой метод определения модуля деформации дисперсных грунтов расклинивающим дилатометром: СТО 60284311-005-2015. – Введ. 30.06.2015 г. – Краснодар: СРО Ассоциация «КубаньСтройИзыскания», 2015. – 17 с.

5 Лавров, С. Н. Сравнительный анализ результатов исследований дилатометров РД-100 с традиционными способами определения модуля деформации грунтов / С. Н. Лавров, Л. В. Нуждин // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 7 – С. 108–116.

УДК 595.7(476)+591.5

*Е. А. Сергейчук, Н. Г. Галиновский*

### ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ БЕРЕГОВЫХ СООБЩЕСТВ ОЗЕРА ОРШАНСКОЕ ГОРОДА ГОРКИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

*В статье рассматриваются результаты исследований жесткокрылых береговых сообществ озера Оршанское города Горки Могилевской области. Выявлены 32 вида жесткокрылых, рассмотрена видовая и экологическая структура сообществ жесткокрылых, обитавших в исследованных участках. Приведен видовой состав жесткокрылых исследованных стационаров 2016–2017 гг. На основании проведенных исследований можно сказать, что сообщества жесткокрылых прибрежных экосистем озера Оршанское города Горки сложены преимущественно журами средних и мелких размеров, предпочитающих нормальные и влажные береговые местообитания с травянистой растительностью.*