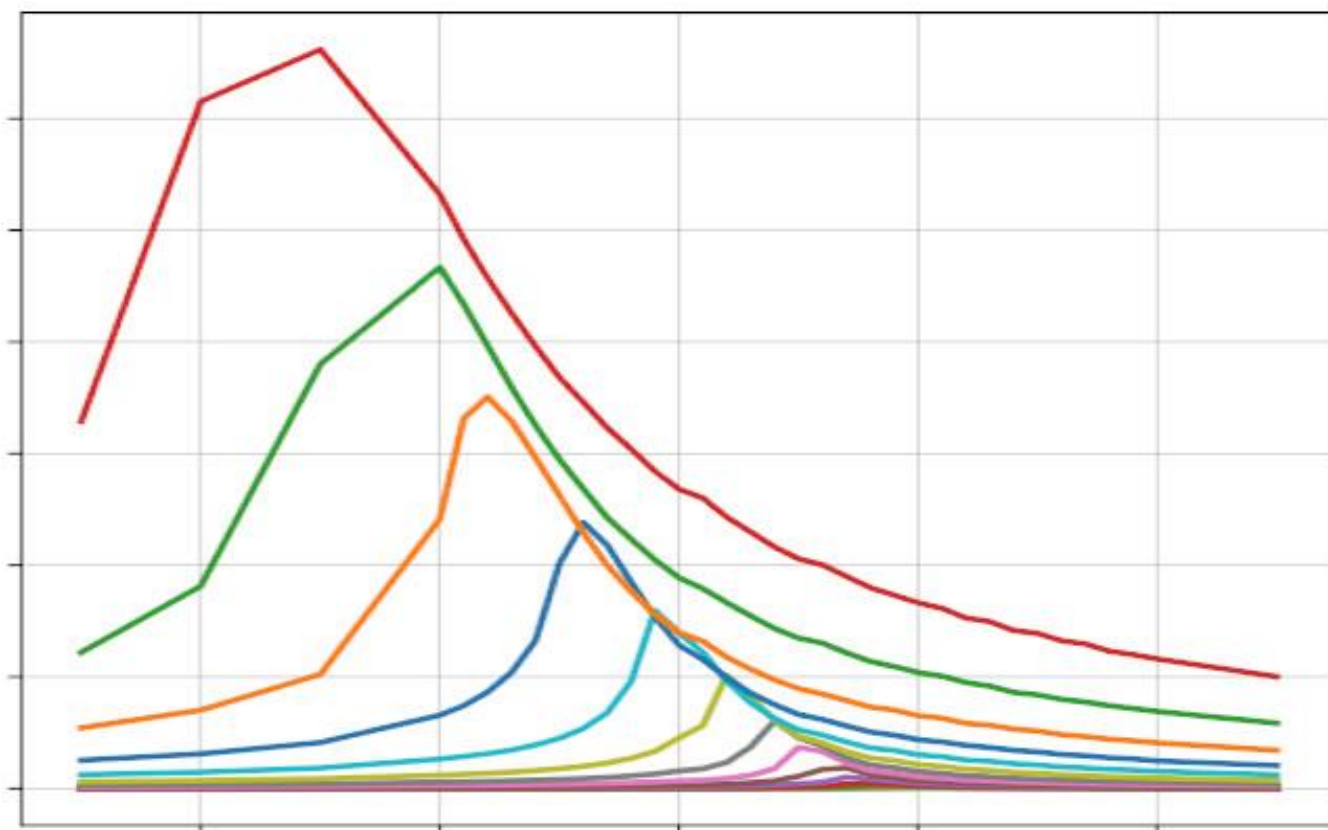


## Сопоставление различных методик определения входных параметров модели HSS



В статье изложены выводы после проведенного в геотехнической лаборатории АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» сравнения результатов выполненных опытов для получения параметров, используемых в модели HSS. Сделано заключение о том, что предпочтительнее использовать резонансную колонку или, в крайнем случае, динамический стабилометр, а такие приборы, как Simple Direct Shear дают слишком большую погрешность и не удовлетворяют требованиям по точности.

**Тишин Никита Романович**

Руководитель проекта DigitRock АО МОСТДОРГЕОТРЕСТ

*mail@mdgt.ru*

**Озмидов Олег Ростиславович**

Научный руководитель лаборатории

**Чипеев Сергей Сергеевич**

руководитель отдела динамических испытаний

**Христенко Олеся Сергеевна**

инженер-программист

На данный момент одной из самых перспективных моделей в программных комплексах PLAXIS, Midas и их аналогах является модель HSS. Эта модель является уточнением модели HS. Дополнительными входными параметрами HSS являются  $G_0$  и  $\gamma_{0.7}$ , о технологии определения которых далее пойдет речь.

Для определения  $G_0$  и  $\gamma_{0.7}$  необходимо получить лабораторными методами значения модуля сдвига  $G$  при нескольких значениях сдвиговой деформации  $\gamma$  в пределах  $10^{-6}$  –  $10^{-3}$  (режим microstrain), после чего аппроксимировать полученные данные малоамплитудных динамических испытаний кривой Гардина-Дрневича с целью получения искомых коэффициентов.

Для построения зависимости модуля сдвига от сдвиговой деформации было проведено три испытания на образцах-близнецах с использованием трех приборов: резонансной колонки (Рис.1), динамического стабилметра (Рис.4) и прибора простого прямого сдвига (Simple Direct Shear) (Рис.7).

Первое испытание проводилось на резонансной колонке. Данный прибор позволяет зафиксировать нижний штамп образца, а на верхний подать крутящий момент, измеряя при этом сдвиговую деформацию. При изменении амплитуды момента прибор находит резонансную частоту образца, после чего пересчитывается модуль сдвига  $G$  по формуле распространения поперечной упругой волны.



Рис. 1. Резонансная колонка

На рисунке 2 можно видеть снижение резонансной частоты при увеличении амплитуды крутящего момента, а на рисунке 3 – полученные опытные данные и результат аппроксимации кривой Гардина-Дрневича.

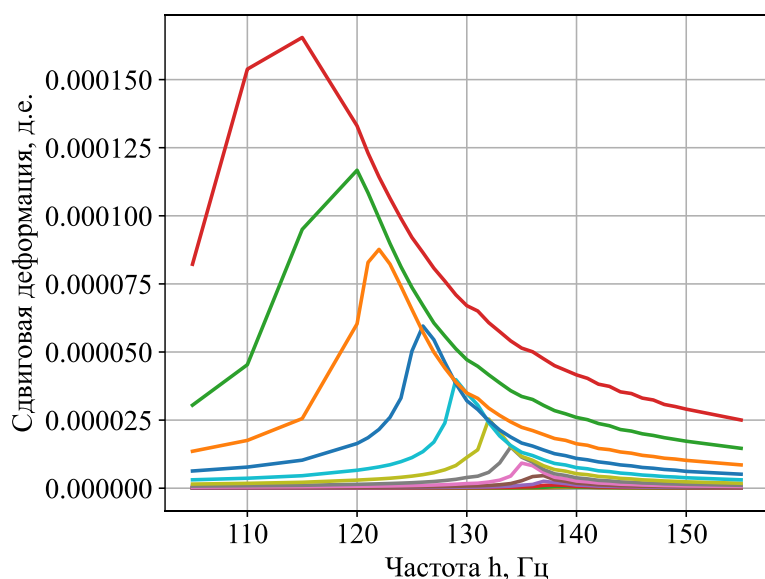


Рис. 2. Резонансная кривая

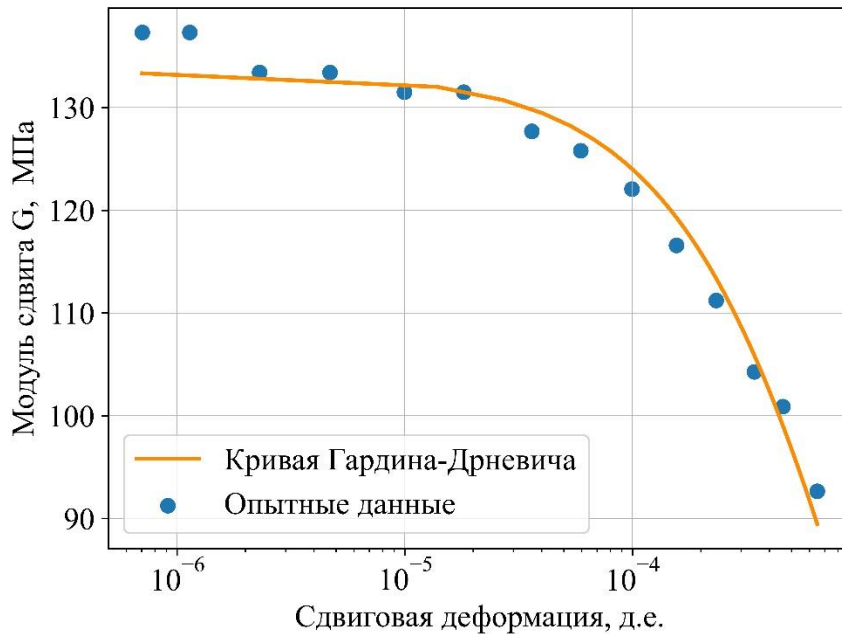


Рис. 3. Данные опыта на резонансной колонке и кривая Гардина-Дрневича

В результате получаем:  $G_0 = 133.4$  МПа,  $\gamma_{0.7} = 5.09 \cdot 10^{-4}$

Следующий вариант проведения опыта – последовательное циклическое девиаторное нагружение при изменяющейся амплитуде. На каждом значении амплитуды возможно рассчитать секущий модуль деформации  $E_0$  по петле нагружения, после чего пересчитать модуль сдвига  $G_0$  по формуле (1), а также значение сдвиговой деформации по формуле (2).

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (1), \quad \gamma = \frac{\tau}{G} \quad (2)$$

Опыт проводился на приборе Wille Geotechnik 13-HG/020:001.



Рис. 4. Wille Geotechnik 13-HG/020:001

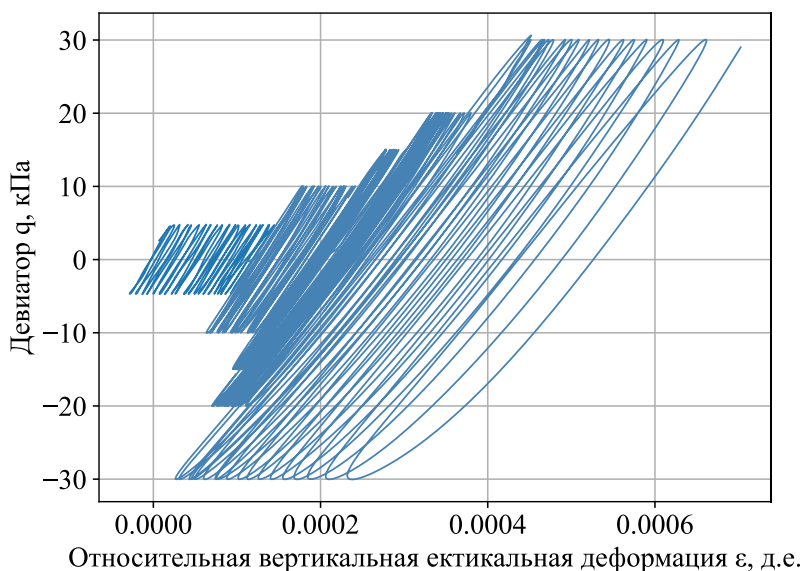


Рис. 5. Зависимость относительной вертикальной деформации от девиатора напряжений

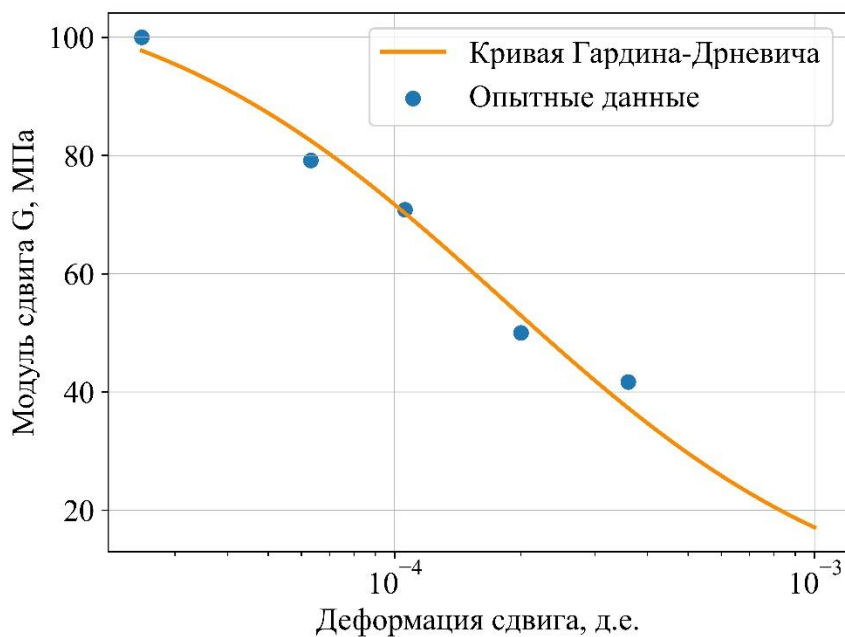


Рис. 6. Данные опыта на динамическом стабилометре и кривая Гардина-Дрневича

В результате получаем:  $G_0 = 111.1$  МПа,  $\gamma_{0.7} = 2.27 \cdot 10^{-4}$

Третий способ получения искомых параметров – опыт с использованием прибора Simple Direct Shear производства Geomation-ПрогрессГео. Данный прибор позволяет задавать касательные напряжения, фиксируя при этом сдвиговую деформацию.

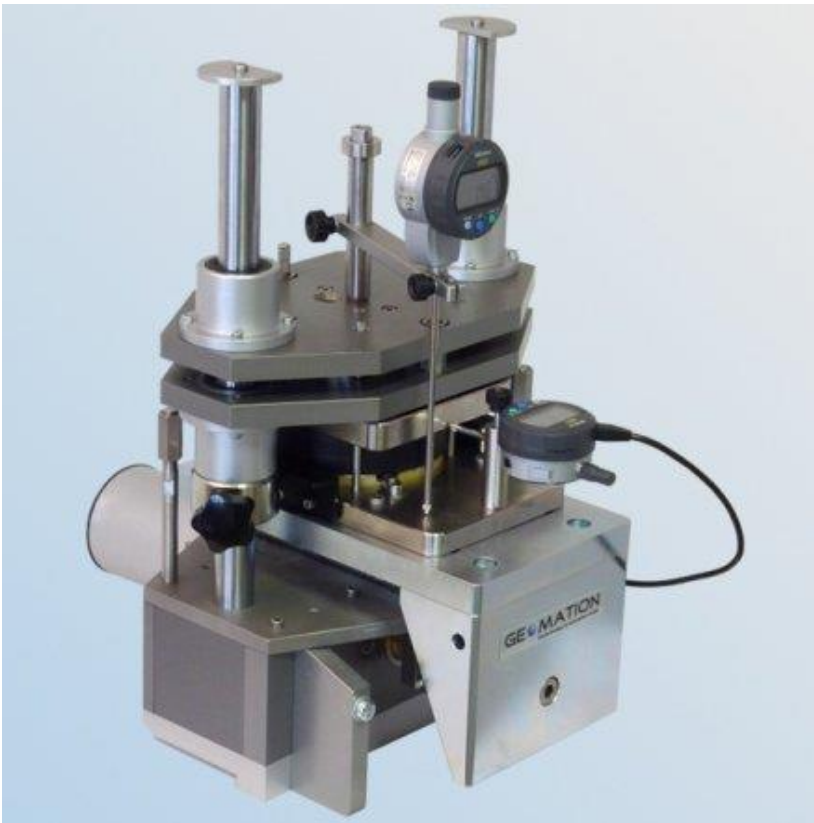


Рис. 7. Simple Direct Shear Geomation-ПрогрессГео

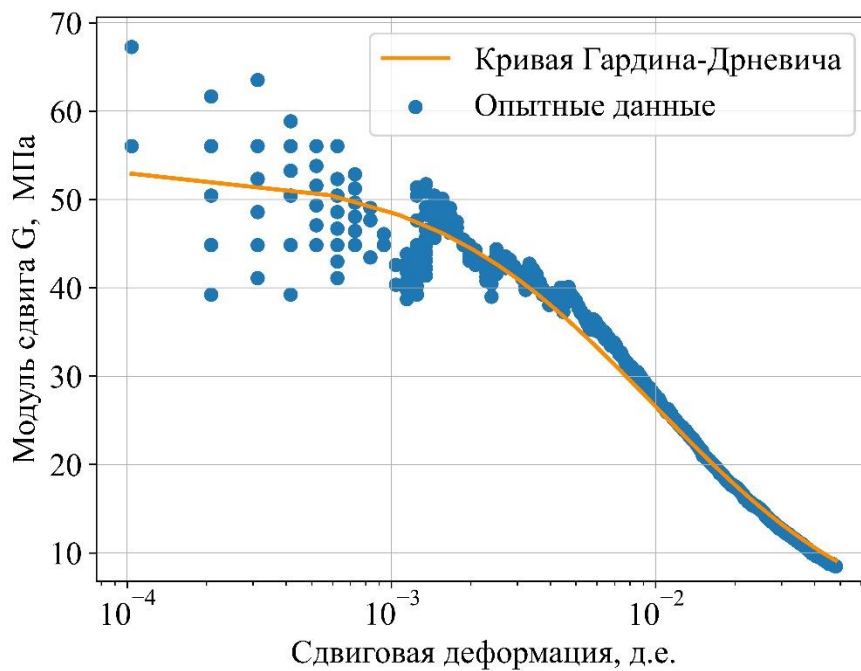


Рис. 8. Данные опыта Simple Direct Shear и кривая Гардина-Дрневича

В результате получаем:  $G_0 = 65.7$  МПа,  $\gamma_{0.7} = 30.94 * 10^{-4}$ . Как видно из результата, данный опыт показывает существенно более низкое значение  $G_0$ , а при уровне сдвиговой деформации ниже  $10^{-3}$  увеличение сдвиговой жесткости практически не отслеживается.

Сравнение результатов показано в таблице.

**Таблица. Сравнение результатов испытаний в разных приборах**

Прибор	$G_0$ , МПа	Погрешность, %	$\gamma_{0.722}^*$ $10^{-4}$	Погрешность, %
Резонансная колонка	133.4	0	5.09	0
Динамический стабилومتر	111.1	16	2.27	55
Прямой простой срез	65.7	51	30.94	508

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что для определения параметров  $G_0$  и  $\gamma_{0.7}$  предпочтительно использовать Резонансную колонку или, в крайнем случае, динамический стабилومتر, а такие приборы, как Simple Direct Shear дают слишком большую погрешность и не удовлетворяют требованиям по точности.

### **Список литературы**

Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Издательство МГТУ им Баумана 1999, с. 103-108.

ГОСТ 56353-2015. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов.

ASTM D6528 - 17 - Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils