

**Д.А. Татьянников, К.П. Давлятшин, Я.А. Федоровых,  
А.Б. Пономарев**

Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕСЧАНОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ШТАМПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Представлено планирование проведения серии экспериментов по исследованию работы созданных моделей песчаного основания под действием модели ленточного фундамента.

**Ключевые слова:** планирование, модель, грунтовое основание.

Модельные эксперименты проводятся на материально-технической базе экспертной лаборатории при кафедре СП. Цель экспериментов заключается в следующем: установить действительную работу грунтового основания при нагружении штампом (модель ленточного фундамента). Данная цель конкретизируется в следующих задачах:

- построить графики зависимости «нагрузка – осадка»;
- выявить область активной зоны деформируемости песчаного основания при различных уровнях уплотнения;
- сопоставить полученные экспериментальные данные осадки основания с расчетными осадками по методам послойного элементарного суммирования (СНиП 2.02.01–83\*) и МКЭ (Plaxis).

Устройство для испытаний представляет собой стендовую установку (рис. 1) размерами 480×720×156 мм, предназначенную для проведения лабораторных и научно-исследовательских работ. Стенд позволяет проводить в условиях плоской и осесимметричной деформации испытания модели ленточного фундамента – жесткого штампа размерами 156×50 мм.

В качестве грунтового основания взят песок мелкозернистый, просушенный до воздушно-сухого состояния со следующими характеристиками:

плотность грунта  $\rho = 1,63 \text{ г/см}^3$ ;

удельный вес  $\gamma = 15,974 \text{ Н/см}^3$ ;  
 плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,652 \text{ г/см}^3$ ;  
 коэффициент пористости  $e = 2,4 \text{ кПа}$ ;  
 сцепление  $c = 2,4 \text{ кПа}$ ;  
 угол внутреннего трения  $\varphi = 32,8^\circ$ ;  
 модуль общей деформации  $E_0 = 32,67 \text{ МПа}$ .

Планирование эксперимента началось с составления матрицы планирования, которая приведена ниже.

Матрица планирования эксперимента

№	X1	X2	Y1	Y1 (СНиП)	Y1 (МКЭ)	Y2	Y2 (СНиП)	Y3
1	+1	-1						
	0	-1						
	-1	-1						
2	+1	+1						
	0	+1						
	-1	+1						

Входные параметры:

X1 – нагрузка на штамп, кПа (50; 100; 200);

X2 – коэффициент уплотнения (0; 0,92).

Выходные параметры (отклики):

Y1 – осадка штампа, мм;

Y2 – несущая способность, кПа;

Y3 – глубина активной зоны, мм (глубина слоя с осадкой 1 мм).

Теоретические опорные значения:

Y1 (СНиП) – осадка штампа теоретическая (СНиП), мм;

Y1 (МКЭ) – осадка штампа теоретическая (МКЭ), мм.

Согласно теории подобия для аналогии между моделью и объектом моделирования выполнены следующие условия подобия:

– по геометрии (масштаб 1:50);

– по материалу;

– по нагрузке (статическое);

– по контактной поверхности сооружения и основания.



Рис. 1. Стендовая установка

С целью выполнения условий сходимости (независимые результаты испытаний получаются одним и тем же методом на идентичных объектах испытаний, в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором, с использованием одного и того же оборудования, в пределах короткого промежутка времени) каждый эксперимент повторяется три раза по аналогии с практикой полевых исследований. Задавшись доверительной вероятностью 95 %, впоследствии оценим величину доверительного интервала и адекватность результатов прямых измерений.

Для определения размеров активной зоны и установления зависимости активной зоны от величины давления грунт необходимо отсыпать слоями толщиной 2 см ( $0,4b = 0,4 \times 50 = 20$  мм) с цветными прослойками из инертного материала (гипс) толщиной пренебрежимо малой по сравнению с толщиной песка ( $\approx 1$  мм). Целесообразно делать прослойки до глубины, на которой сказывается влияние сжимающих напряжений интенсивностью 0,1 внешней нагрузки, т.е. на глубине  $6b$  ( $6b = 6 \times 50 = 300$  мм). Фотоаппаратом фиксируются горизонтальные вначале и ставшие по ходу эксперимента деформированными прослой-

ки. Таким образом, путем наложения фотографий выявляется область активной зоны деформируемости песчаного основания.

Испытание рыхлого основания проводится на песке, уложенном без какого-либо уплотнения. Испытание плотного основания с коэффициентом уплотнения  $K_{упл} = 0,94$  проводится на песке, который отсыпается слоями с последующим их уплотнением ручной трамбовкой в шести точках, как показано на рис. 2.

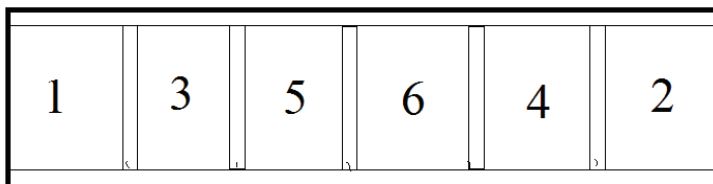


Рис. 2. Зоны и последовательность уплотнения песка

Контроль плотности проводится статическим плотномером СПГ-1 пенетрацией в трех точках, как показано на рис. 3. Показания плотномера для рыхлого основания должны быть  $P_g = 0$ , для плотного –  $18 \leq P_g \leq 20$ .

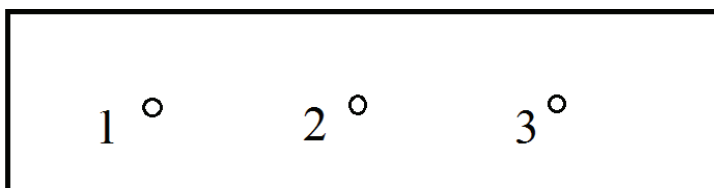


Рис. 3. Точки и последовательность пенетрации песка плотномером

Испытания проводятся согласно ГОСТ 20276–99 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости».

Нагрузку на штамп следует увеличивать ступенями давлений  $\Delta p = 0,025$  МПа. Время выдержки каждой последующей ступени давления должно быть не менее времени выдержки предыдущей. Каждая ступень давления выдерживается до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа). За критерий условной стабилизации деформации принимается скорость осадки штампа, не превышающая 0,1 мм за время  $t = 1$  ч.

Нагружение рыхлого основания производится до максимальной нагрузки 200 кПа, плотного основания – до 350 кПа.

После серии испытаний проводится анализ протоколов испытаний, графиков осадки, а также анализ фотографий, полученных в ходе экспериментов. По данным результатам будет установлено отличие в работе плотного и рыхлого песчаного основания, которое будет выявлено по графику «нагрузка – осадка» путем сравнения нагрузок в точках с одинаковой осадкой. Также путем сопоставления экспериментальных осадок с осадками, вычисленными по двум методам (см. выше), планируется оценить адекватность данных методов.

Получено 15.09.2011