

И. И. ЧЕРКАСОВ

## ВЛИЯНИЕ МЕТОДА УСТАНОВКИ ШТАМПА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА ПРОБНОЙ НАГРУЗКОЙ

*(Представлено академиком В. А. Обручевым 9 VIII 1951)*

Испытания грунтов пробными нагрузками с помощью вдавливания штампов имеют большое значение в прикладной механике грунтов. Получаемая в результате испытаний величина расчетного модуля деформации грунтов в значительной степени определяет размеры и стоимость возводимых сооружений. Недооценка модуля деформации вследствие методических погрешностей испытаний может привести к неоправданному перерасходу средств и материалов при строительстве.

Существующая сейчас методика испытаний не предусматривает специальных мер для обеспечения плотного прилегания подошвы штампа к поверхности исследуемого грунта (1, 5, 7). Однако наличие неровностей и неплотностей под штампом отражается на форме кривой осадки и должно приводить к серьезному искажению действительных свойств грунта, особенно в начале вдавливания.

Получаемые при испытаниях кривые осадки часто принимают вид, представленный на рис. 1. Их характерными особенностями являются: начальный участок, обращенный выпуклостью вниз, и точка перегиба в средней части кривой. Начальный участок истолковывается (1, 6) как показатель процесса уплотнения грунта, без сдвигов. Основная ветвь кривой, обращенная выпуклостью вверх, рассматривается как показатель преобладающего процесса развития сдвигов в грунте. Поскольку развитие сдвигов в основании сооружений считается недопустимым, расчетный модуль деформации рекомендуется определять по начальному участку кривой осадки (1, 3, 5). В связи с этим искажения начального участка за счет смятия неровностей под штампом приобретают важное принципиальное значение.

Для выяснения влияния различных факторов, приводящих к образованию неплотностей в подошве штампа, на форму кривой осадки автором были произведены опыты в лаборатории и в поле со штампами круглой формы диаметром 159,5 и 1000 мм и с квадратными штампами шириной 100, 300, 1000 мм, которые устанавливались на поверхности грунта и в шурфах. Лабораторные опыты производились с мелким сухим песком средней плотности из Люберецкого карьера, причем штампы шириной 100 и 159,5 мм устанавливались в лотке объемом около 1 м<sup>3</sup>. В поле штампы шириной 300 мм были установлены на слое супесей и суглинков средней степени влажности толщиной 0,6—0,9 м, под которым залегал мощный слой плотного сухого среднезернистого песка. Штампы шириной 1000 мм были установлены в шурфах глубиной от 1,5 до 2,5 м, дно которых врезалось в многометровую толщу весьма плотного мелкого сухого песка.

Нагрузка на штампы осуществлялась рычажными прессами или гидравлическими домкратами последовательными ступенями с выдержками для стабилизации осадок. Измерение осадок в большей части опытов велось с помощью трех или четырех индикаторов часового типа с точностью до 0,01 мм. В одной серии лабораторных опытов был использован прибор «Микрокатор» с точностью отсчета 0,5 м. Таким образом, точность измерений колебалась от 1 : 100 000 до 1 : 300 000 ширины штампа. Были приняты особые меры к стабилизации системы реперных балок и поставлены специальные наблюдения для вычисления поправок на изменение метеорологических условий и другие искажающие факторы.

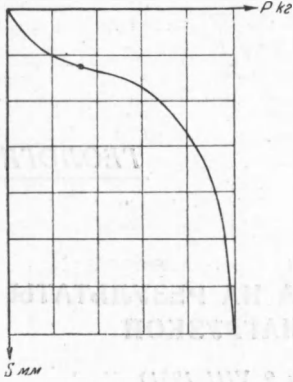


Рис. 1

Штампы шириной 300 и 1000 мм в полевых опытах бетонировались на месте, что практически полностью ликвидировало неплотности под ними. В лаборатории гладкие небольшие штампы тщательно притирались, без нажима, к поверхности песка. Для выяснения влияния неплотностей были проведены лабораторные опыты со штампами, установленными на песок, поверхность которого на глубину в 10 мм была

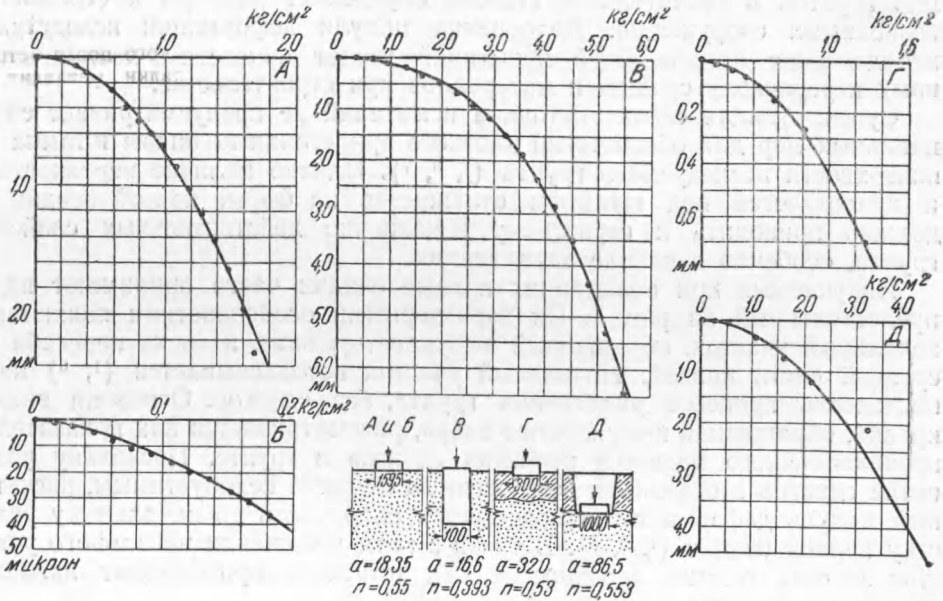


Рис. 2. Кривые осадки плотно установленных штампов. По осям абсцисс отложены средние удельные давления, по осям ординат — осадки. Экспериментальные данные нанесены в виде точек. Кривые построены по уравнениям вида  $p = \frac{a}{D^n} s^n$ , параметры которых выписаны на чертеже. Кривая Б — начальный участок кривой А, снятый с помощью прибора «Микрокатор»

слегка разрыхлена. В поле были сняты кривые осадок штампов шириной 300 мм, расшатанных боковыми ударами или приподнятых на 5—10 мм и опущенных на то же место. Кроме того, была снята кривая осадки стального штампа диаметром 1000 мм, установленного общепринятым способом на зачищенное и выровненное дно шурфа.

Типичные кривые осадки плотно установленных штампов приведены на рис. 2. Несмотря на различные условия работы и разные свойства

грунтов, все эти кривые имеют одинаковый характер. Они обращены выпуклостью вверх, лишены начального участка обратной кривизны и не имеют перегибов. Подобные кривые характерны для процесса вдавливания жесткого штампа в упруго-пластическую среду. Они вполне удовлетворительно описываются степенным уравнением, которое может быть получено для такого рода деформаций с помощью анализа размерностей (4):

$$p = a \left( \frac{s}{D} \right)^n \quad (1)$$

где  $p$  — среднее удельное давление штампа,  $D$  — ширина штампа,  $s$  — осадка штампа,  $a$  — параметр, имеющий размерность напряжения,  $n$  — безразмерный параметр ( $0 < n < 1$ ).

Прямолинейные участки на кривой вдавливания плотно установленного штампа появляются только при вторичном нагружении после разгрузки или при

проведении опытов в предварительно обжатых грунтах.

Расчетный модуль деформации при обработке результатов испытаний грунта пробной нагрузкой обычно вычисляется по формуле теории упругости (3):

$$E_0 = \alpha D \frac{p}{s} \quad (2)$$

где  $E_0$  — расчетный модуль деформации,  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от формы штампа и коэффициента Пуассона для грунта.

Из (1) и (2) получается следующая нелинейная зависимость расчетного модуля от относительной осадки штампа:

$$E_0 = \alpha a \left( \frac{s}{D} \right)^{n-1}. \quad (3)$$

Таким образом, модуль деформации исследованных нами грунтов при первом нагружении штампа и при условии, если грунты не были предварительно обжаты, оказывается непостоянным и монотонно уменьшается вместе с ростом осадки штампа, что противоречит основному условию применимости формул теории упругости к деформациям сплошных масс (2). Он особенно быстро изменяется в начале процесса вдавливания, где, кроме того, приобретает большие значения, которые намного превосходят обычно принимаемые в расчетах (3). При возрастании осадок модуль уменьшается и по абсолютной величине приближается к обычно принимаемым значениям.

Кривые осадки неплотно установленных и расшатанных штампов имеют совершенно иной вид. В общем они напоминают кривую на рис. 1 и обладают начальными участками обратной кривизны, которые, по мнению автора, отражают процесс обмятия неровностей под штампом.

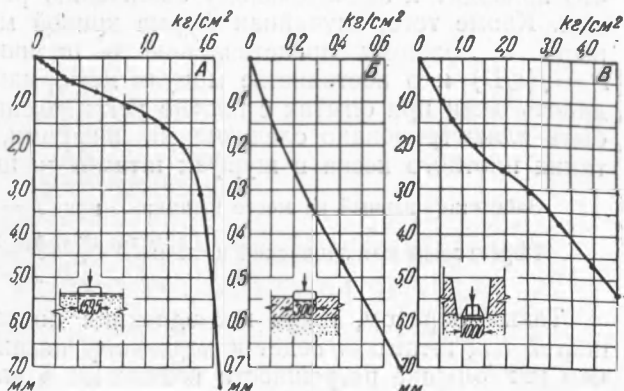


Рис. 3. Кривые осадки неплотно прилегающих штампов. По осям абсцисс отложены средние удельные давления, по осям ординат — осадки. А — кривая осадки штампа, установленного на разрыхленный сверху песок; Б — кривая осадки штампа, расшатанного после бетонировки и отвердения; В — кривая осадки металлического переносного штампа, установленного общепринятым способом

Вследствие преобладающего влияния случайных факторов, которыми определяются величина и количество неровностей, общее математическое выражение для таких кривых подобрать затруднительно. Важно отметить, что осадки в начале вдавливания у неплотно установленных штампов всегда много больше, чем у штампов, не имеющих неплотностей, что приводит к значительному занижению расчетного модуля деформации. Кроме того, случайная форма кривой может в ряде случаев привести к ложному представлению о наличии линейной зависимости  $P = f(s/D)$  и о постоянстве модуля деформации, чего никогда не наблюдалось нами при опытах с плотно установленными штампами. Это может быть иллюстрировано следующими цифрами, полученными при испытании плотного песка в шурфах штампами шириной 1000 мм.

Забетонированный на месте штамп:	при $P = 6,0$ т	$E_0 = 2320$ кг/см <sup>2</sup>
	" $P = 30,0$ "	$E_0 = 1200$ "
Переносный металлический штамп:	" $P = 6,0$ "	$E_0 = 529$ "
	" $P = 30,0$ "	$E_0 = 666$ "

Таким образом, наши исследования показали, что наличие неплотностей под штампом ведет к коренному искажению кривой осадки, причем наибольшие погрешности возникают в начале вдавливания. Ликвидация пустот лучше всего достигается бетонированием штампа на месте. При обеспечении плотной установки штампа получают весьма высокие расчетные значения модуля деформации грунта, использование которых может принести существенную экономию при устройстве бетонированных на месте плит дорожных одежд, днищ резервуаров и других сооружений, работающих при малых прогибах и осадках.

Поступило  
2 IV 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Ф. Бабков, Н. И. Быковский, А. В. Гербурт-Гейбович и А. Я. Тулаев, Грунтоведение и механика грунтов, М., 1930. <sup>2</sup> Н. М. Герсеванов и Д. Е. Польшин, Теоретические основы механики грунтов и их практические применения, М., 1948. <sup>3</sup> Н. Н. Богословский, Основания и фундаменты, М., 1947. <sup>4</sup> Г. П. Зайцев, Зав. лабор., № 5 (1950). <sup>5</sup> Н. В. Лалетин, Исследования грунтов для строительных целей, М., 1940. <sup>6</sup> Н. В. Орнатский, Механика грунтов, М., 1950. <sup>7</sup> Технические условия на исследования грунтов, как оснований сооружений, М., 1939.