ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИМЕНИ Н. М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИСПЫТАНИЯМ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ СТАТИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

МОСКВА 1974

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.131.23

Рекомендации по испытаниям просадочных грунтов статическими нагрузками (Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н. М. Герсеванова Госстроя СССР). М., Стройиздат, 1974, 16 с.

В Рекомендациях содержатся указания по испытаниям просадочных, а также водонасыщенных и уплотненных лессовых грунтов статическими нагрузками (штампами и опытными фундаментами). Приводится номенклатура деформационных характеристик указанных грунтов, определяемых путем испытаний статическими нагрузками. Рассматриваются вопросы методики, техники испытаний и обработки их результатов.

Предназначены для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

Табл. 1.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

Введение 1
1. Общие положения 2
2. Схемы испытаний 4
3. Оборудование для испытаний 5
4. Подготовка испытаний и монтаж установок 7
5. Проведение испытаний 8
6. Обработка результатов испытаний 10
Приложение. Рекомендации по установке глубинных марок в основании штампов и обработка результатов испытаний с глубинными марками 15

© СТРОЙИЗДАТ, 1974

Р $\frac{30213—398}{047(01)—74}$ Инструкт.-нормат., II вып. — 15—73

Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н. М. Герсеванова

Рекомендации по испытаниям просадочных грунтов статическими нагрузками

* * *

Редактор издательства С. В. Беликина

Технические редакторы Н. Г. Бочкова, И. В. Панова

Корректор В. С. Якунина

Сдано в набор 2/I 1974 г. Подписано к печати 12/III 1974 г. Т-04734
Формат 84×108$^1/_{32}$ д. л. Бумага типографская № 3.
0,84 усл. печ. л. (уч.-изд. 1,35 л.)
Тираж 20 000 экз. Изд. № XII—4597 Зак. № 6. Цена 7 коп.

Стройиздат
103777, Москва, Кузнецкий мост, 9

Подольская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, 25

ВВЕДЕНИЕ

Накопленные за последние годы материалы по изучению особенностей и характера деформаций просадочных лессовых грунтов позволили усовершенствовать расчеты осадок и просадок и перейти к расчету оснований фундаментов и зданий на просадочных грунтах по деформациям, что явилось качественно новым этапом не только в проектировании, но и в проведении инженерно-геологических исследований грунтов.

Достоверность расчета возможных деформаций просадочных грунтов и расчета зданий на неравномерные деформации основания в значительной степени зависит от правильности и полноты определения деформационных характеристик просадочных грунтов.

В связи с этим требования к проведению инженерно-геологических изысканий возрастают, и особое внимание обращается на обоснованность методики, тщательность и полноту исследований по определению характеристик просадочных грунтов, включая и те новые характеристики, которые раньше в расчетах не использовались.

Известно, что наиболее надежные данные по деформационным характеристикам грунтов, в том числе просадочных, могут быть получены на основе полевых испытаний статическими нагрузками.

Однако если для обычных грунтов испытания статическими нагрузками регламентированы ГОСТом[1] и специальной инструкцией[2], то испытания просадочных грунтов проводятся без должной методической и технической унификации, учитывающей специфику просадочных грунтов и особенности проектирования оснований и фундаментов на этих грунтах.

При составлении Рекомендаций использован и обобщен передовой опыт полевых испытаний и фактический материал ряда организаций: Научно-исследовательского института оснований и подземных сооружений (НИИОСП), Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС), проектного института «Фундаментпроект», Узбекского института инженерно-технических изысканий (УзГИИТИ), Центрального треста инженерно-строительных изысканий (ЦТИСИЗ) и др.

Рекомендации разработаны НИИ оснований (кандидаты техн. наук В. И. Крутов, И. Г. Рабинович) по заданию ПНИИИС с учетом замечаний, полученных от изыскательских, проектных, научно-исследовательских организаций и вузов.

---

[1] ГОСТ 12374—66. «Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками».

[2] Инструкция по испытанию грунтов статическими нагрузками (штампом). РСН—34-70.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации распространяются на испытания просадочных грунтов статическими нагрузками в шурфах и котлованах и разработаны в развитие ГОСТ 12374—66 «Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками».

Примечания: 1. Вопрос об отнесении грунтов исследуемой площадки к просадочным решается на основе полученных до испытаний результатов инженерно-геологических изысканий или архивных материалов.

2. Просадочными чаще всего являются лессы и лессовидные глинистые грунты.

3. Рекомендации могут быть распространены на испытания водонасыщенных лессовых грунтов, не обладающих просадочными свойствами, а также уплотненных лессовых грунтов.

1.2. Для испытаний статическими нагрузками просадочных грунтов, а также водонасыщенных лессовых грунтов применяется, как правило, жесткий круглый в плане штамп площадью $F=5000$ см^2 (диаметр — 79,8 см).

Примечание. Допускается применение квадратного штампа площадью $F=5000$ см^2 (сторона — 70,7 см).

1.3. Испытания уплотненных грунтов производятся штампом площадью $F=5000$ см^2, а при значительной толщине уплотненного слоя и изменении плотности уплотненного грунта по глубине или в плане — опытными фундаментами площадью F от 10 000 до 40 000 см^2, устанавливаемой в зависимости от размеров проектируемых фундаментов, способа и глубины уплотнения.

1.4. Испытания просадочных грунтов статическими нагрузками производятся с целью определения в пределах деформируемой зоны основания проектируемых фундаментов следующих деформационных характеристик грунтов:

модуля деформации просадочных грунтов при естественной (природной) влажности E_e, используемого при расчете осадок фундаментов;

модуля деформации просадочного грунта в водонасыщенном (замоченном) состоянии $E_в$, используемого при расчете суммарной величины осадки и просадки фундаментов при возможном замачивании просадочных грунтов до их полного водонасыщения;

коэффициента изменчивости сжимаемости $\alpha_{пр}$, представляющего собой отношение модулей деформации при естественной влажности E_e и в водонасыщенном состоянии $E_в$ и используемого при расчете конструкций зданий и сооружений на неравномерные просадки грунтов основания от нагрузки фундаментов;

начального просадочного давления $p_н$, т. е. минимального давления, при котором проявляется просадка грунта при его полном водонасыщении. Начальное просадочное давление используется при определении расчетного давления на грунт при проектировании фундаментов, глубины уплотнения и во многих других случаях;

средних значений (для деформируемой зоны штампа или опытного фундамента) относительной просадочности грунта $\delta_{пр.ср}$ (п. 6.6), которые могут использоваться при расчете возможных просадок проектируемых фундаментов.

Примечания: 1. Деформируемой зоной называется слой просадочного грунта в основании штампа (или фундамента), в пределах которого происходят просадочные деформации грунта; деформируемая зона принимается от подошвы штампа до глубины, где суммарные вертикальные напряжения от нагрузки фундамента и собственного веса грунта равняются величине начального просадочного давления $p_н$.

2. Глубина деформируемой зоны $h_{зф}$ при $p_н$=0,08—0,01 МПа[1] приближенно может приниматься равной 0,7; 1,3; 1,7; $2b$ соответственно для давлений по подошве штампа 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 МПа (b — диаметр или сторона штампа или опытного фундамента).

3. При необходимости экспериментального определения глубины деформируемой зоны испытания проводятся с установкой в основании штампа или опытного фундамента глубинных марок (приложение).

1.5. Испытания водонасыщенных лессовых грунтов производятся с целью определения модуля деформации водонасыщенного в природных условиях грунта.

1.6. При испытании статическими нагрузками уплотненных лессовых грунтов определяются модули деформации при естественной влажности $E_{упл.е}$ и в водонасыщенном состоянии $E_{упл.в}$, коэффициент изменчивости сжимаемости $\alpha_{упл}=\frac{E_{упл.е}}{E_{упл.в}}$.

1.7. Испытания статическими нагрузками просадочных грунтов, а также водонасыщенных лессовых грунтов выполняются в процессе проведения инженерно-геологических изысканий в пределах застраиваемой (исследуемой) территории. По результатам испытаний должны быть получены деформативные характеристики грунтов (пп. 1.4—1.6) для литологических слоев, входящих в деформируемую зону проектируемых фундаментов.

1.8. Пункты испытаний грунтов статическими нагрузками, как правило, следует назначать в пределах контуров расположения наиболее тяжелых и ответственных зданий и сооружений, для которых производится расчет оснований и фундаментов по деформациям, с учетом результатов выполненных до испытаний инженерно-геологических изысканий. Испытаниями должны быть определены деформативные характеристики грунтов исследуемой площадки в местах, где, по предварительным данным, ожидаются максимальные и минимальные значения этих характеристик.

Шурфы или котлованы для испытаний статическими нагрузками следует располагать на расстоянии не более 5—10 м от инженерно-геологических выработок.

При однородном сложении (по составу, состоянию и физико-механическим свойствам) грунта по всей глубине деформируемой зоны

---

[1] Единицы измерения в настоящих Рекомендациях даны в Международной системе единиц СИ. Давление и модуль деформации грунта выражаются в мегапаскалях (МПа). Для перевода в систему СИ используется соотношение: 1 кгс/см^2 $\approx$ 9,8·10^{4}Па $\approx$ 10^{5}Па $\approx$ $\approx$0,1 МПа.

проектируемых фундаментов испытания производят только на отметке заложения фундаментов. При неоднородном сложении испытанию подвергаются существенно разнородные слои грунта, залегающие в пределах деформируемой зоны, толщина которых не менее чем в 2 раза превышает ширину (диаметр) штампа или опытного фундамента.

Число испытаний исследуемого слоя грунта на отметке заложения фундаментов на каждом участке площадью до 50 тыс. м^2 должно быть не менее трех, а число испытаний нижележащих слоев (при неоднородном сложении грунта в пределах деформируемой зоны) — не менее двух. При большей площади количество испытаний увеличивается из расчета одного испытания на каждые 25 тыс. м^2.

Допускается уменьшение количества испытаний любого слоя до двух, если: размеры исследуемой площади или проектируемого здания в плане невелики (менее 25000 м^2); грунтовые условия одинаковы по всей площади здания; грунтовые условия аналогичны грунтовым условиям расположенной вблизи территории, где уже проводились в достаточном объеме испытания грунтов штампами или имеется достаточный опыт строительства.

1.9. Испытания статическими нагрузками уплотненных лессовых грунтов выполняются в период строительства перед выполнением основного объема работ по уплотнению грунта или вытрамбовыванию котлованов.

В зависимости от изменчивости состава уплотненного грунта испытания производятся в двух пунктах на отметке заложения фундаментов зданий и сооружений.

Примечание. Испытания уплотненных грунтов можно не производить при наличии на соседних участках результатов испытаний уплотненных грунтов, аналогичных по литологии, плотности и влажности.

1.10. Испытания грунтов статическими нагрузками производятся с соблюдением правил техники безопасности для общестроительных и геологоразведочных работ.

2. СХЕМЫ ИСПЫТАНИЯ

2.1. Испытания грунтов статическими нагрузками заключаются в последовательном нагружении штампов или опытных фундаментов ступенями нагрузки с измерением осадок и просадок, соответствующих каждой ступени.

В зависимости от поставленных задач испытания просадочных грунтов производятся с замачиванием грунтов основания в конце, в процессе или в начале испытания.

2.2. В зависимости от задач по определению деформативных характеристик просадочных грунтов испытания статическими нагрузками выполняются по одной из следующих трех схем (возможно использование схем в том или ином сочетании): «одной кривой», «двух кривых», «упрощенной».

2.3. Испытания просадочных грунтов по схеме «одной кривой» производятся путем нагружения штампа или опытного фундамента отдельными ступенями до заданного давления, а затем после стабилизации осадки на конечной ступени нагрузки грунт в основании штампа замачивается и измеряется просадка.

Испытания по схеме «одной кривой» позволяют определить модуль деформации грунта при естественной влажности, а также возможную просадку основания штампа или опытного фундамента при водонасыщении грунта под заданным давлением.

По этой схеме целесообразно производить испытания и водонасыщенных лессовых грунтов (без последующего их замачивания), а в отдельных случаях и уплотненных лессовых грунтов.

2.4. Испытания по схеме «двух кривых» производятся штампами или опытными фундаментами в двух пунктах (шурфах) на одной и той же глубине, расположенных на расстоянии 5—6 м один от другого. В первом пункте штамп или опытный фундамент устанавливается на грунт естественной влажности и нагружается до заданного давления по подошве (обычно 0,2—0,4 МПа). Во втором пункте грунт предварительно замачивается на глубину до $2{,}0b$ (b — ширина или диаметр штампа или фундамента), и затем штамп или фундамент ступенями нагружается до заданного давления при непрерывном замачивании грунта. Испытания по данной схеме позволяют определить все указанные в п. 1.4 деформативные характеристики исследуемых грунтов.

При испытаниях по схеме «двух кривых» рекомендуется также производить замачивание основания штампа, установленного на грунте естественной влажности, после стабилизации осадки на конечной ступени нагрузки. При этом измеряется просадка основания штампа, что позволяет сопоставить величины просадки на конечной ступени нагрузки, получаемые по схемам «одной кривой» и «двух кривых».

2.5. «Упрощенная» схема представляет собой более простую модификацию схемы «двух кривых» и позволяет производить испытания грунта с естественной влажностью и в водонасыщенном состоянии в одном и том же пункте. Штамп или опытный фундамент устанавливается на грунте с естественной влажностью и ступенями нагружается до давления $p_i^{\text{зам}}$, принимаемого равным 0,1 МПа. После стабилизации осадки при этом давлении грунт в основании штампа или опытного фундамента замачивается, и далее нагружение производится при непрерывном замачивании грунта (аналогично штампу, устанавливаемому во втором пункте при испытаниях по схеме «двух кривых»). Осадки на грунте с естественной влажностью при давлениях, больших $p_i^{\text{зам}}$, и на водонасыщенном грунте при давлениях, меньших $p_i^{\text{зам}}$, определяются экстраполяцией согласно указаниям п. 6.7.

Примечание. Испытания по «упрощенной» схеме целесообразно производить при наличии на исследуемой территории данных испытаний по схемам «одной» или «двух кривых».

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1. Для испытаний просадочных грунтов статическими нагрузками применяются установки, аналогичные установкам, используемым для обычных (непросадочных) грунтов. Установки включают штампы или фундаменты (пп. 1.2—1.3), изготовленные из металла или железобетона, и приспособления для их нагружения и измерения осадок.

В ряде случаев при необходимости определения послойных деформаций грунта, глубины сжимаемой и деформируемой зон и послойных значений относительной просадочности в основании штампа или опытного фундамента устанавливаются глубинные марки (приложение).

Установки должны обеспечивать: центральную передачу нагрузок на штамп; возможность передачи нагрузки ступенями по 0,025—0,05 МПа; постоянство давления на испытываемые грунты на каждой ступени нагрузки; допустимость приложения суммарных нагрузок, соответствующих давлению по подошве штампа до 0,5 МПа, измерение величины осадок штампов с точностью до 0,1 мм.

3.2. Нагружение штампов осуществляется с помощью гидравлических домкратов грузоподъемностью до 50 т или тарированного груза определенного веса — бетонных блоков, железобетонных изделий, чугунных слябов и пр.

Примечание. При испытаниях уплотненных лессовых грунтов опытными фундаментами могут использоваться домкраты грузоподъемностью до 200 т.

3.3. Для восприятия реактивных усилий при нагружении штампа с помощью гидродомкратов целесообразно использовать следующие типы установок:

с винтовыми анкерными сваями;

с упором в грузовую платформу или в клеть из крупных блоков;

с упором в стенки шурфа.

3.4. При проведении испытаний установками с винтовыми анкерными сваями последние в количестве 4 или 8 штук попарно завинчивают в грунт на глубину 1,5—2,5 м на расстоянии не менее 1 м от стенок шурфа и не менее 2,5b от границ штампа или опытного фундамента. Анкерные сваи соединяют с продольной упорной балкой, воспринимающей реактивное давление грунта.

3.5. В установках с упором в грузовую платформу количество груза и элементы конструкции платформы должны быть рассчитаны на восприятие от домкрата усилия, превышающего намеченную в программе максимальную нагрузку на штамп не менее чем на 10%. До начала испытания груз укладывают на платформу или в клеть в полном объеме.

3.6. Установки с упором в стенки шурфа можно применять в шурфах прямоугольного сечения глубиной не менее 1,5 м. При этом реактивное давление грунта передается на стенки шурфа.

3.7. Нагружение штампов и опытных фундаментов тарированным грузом можно производить при испытаниях в котлованах и сравнительно неглубоких шурфах, если на площадке имеются железобетонные элементы или другой, удобный для работы груз, а также кран для загрузки и разгрузки.

Груз при нагружении штампов и опытных фундаментов укладывается на металлическую платформу, конструкция которой зависит от имеющегося в наличии материала для загрузки, размеров штампа или опытного фундамента и т. п. Конструкция загрузочной платформы и расположение груза должны обеспечивать возможность центральной передачи нагрузки на штамп или опытный фундамент и возможность измерения вертикальных перемещений штампа или фундамента.

Примечание. Нагружение штампов и опытных фундаментов тарированным грузом следует применять, как правило, при испыта-

нии уплотненных просадочных грунтов в котлованах на строительных площадках.

3.8. Вертикальные перемещения штампов и опытных фундаментов при их нагружении и разгрузке измеряются прогибомерами или путем высокоточного нивелирования относительно временного неподвижного репера не менее чем в двух противоположных точках штампа или фундамента.

Прогибомеры располагаются на реперной установке. Последняя состоит из четырех коротких свай, забиваемых попарно в грунт на глубину 0,5—0,7 м с двух сторон от штампа или опытного фундамента на расстоянии не менее 2—3 *b*, и прикрепленных к ним параллельных брусьев толщиной 30—50 мм, к которым крепятся прогибомеры.

Примечания: 1. При испытаниях просадочных грунтов II типа в тех случаях, когда на участке испытаний создаются условия для возникновения просадки грунта от собственного веса, необходимо систематически путем нивелирования измерять просадки поверхности грунта по поверхностным маркам, расположенным вблизи штампа, и высотное положение реперной установки (при использовании прогибомеров). Нивелирование следует производить относительно репера, расположенного за пределами зоны развития просадки от собственного веса грунта.

2. При испытаниях в котлованах допускается осадки штампов и опытных фундаментов замерять штангенциркулем. При этом фиксируется изменение расстояния по вертикали между осадочными марками, установленными на штампах и опытных фундаментах в двух диагонально противоположных углах, и штырями, установленными на реперной установке. Первоначальное расстояние между марками и штырями должно быть равно 3—5 см. Замеры осадок и просадок штангенциркулем должны производиться с точностью ±0,1 мм.

4. ПОДГОТОВКА ИСПЫТАНИЙ И МОНТАЖ УСТАНОВОК

4.1. При производстве испытаний штампами в шурфах площадь и форма поперечного сечения шурфа определяются его глубиной, удобствами работы в шурфе при монтаже установки и т. п. Поперечное сечение шурфа должно быть не менее 1×1 м.

Шурфы проходят до отметки на 0,3—0,4 м выше отметки установки штампа или опытного фундамента. Слой грунта толщиной 0,3—0,4 м, называемый защитным, оставляется для предохранения испытываемого грунта от увлажнения или высыхания.

При проходке шурф документируется: зарисовываются стенки и описываются грунты. Из характерных литологических разностей отбираются образцы грунтов для лабораторных определений физических свойств. На отметке испытания на расстоянии 30—40 см от контура штампа отбираются также монолиты размером не менее 15×15×15 см для определения механических характеристик грунта (компрессионного модуля деформации, угла внутреннего трения, удельного сцепления, относительной просадочности).

Для отвода атмосферных вод шурф должен быть защищен навесом и окружен валом из грунта и кюветом.

При проведении испытания в зимнее время в целях исключения промораживания грунтов в основании штампа или опытного фундамента шурф необходимо утеплить.

Примечание. При испытании в шурфе ниже уровня грунтовых вод до проходки шурфа и установки штампа производят работы по осушению грунта выше отметки подошвы штампа.

4.2. Перед установкой штампа или опытного фундамента осторожно снимается защитный слой, производится горизонтальная планировка и тщательная зачистка площадки в центре дна шурфа, где будет установлен штамп. Затем на дне шурфа под штампом устраивается дренирующий слой — подготовка из чистого средней крупности или крупного песка толщиной 2—3 см, поверхность которого также тщательно планируется.

Штамп «притирается» к песку для достижения полного контакта между его подошвой и основанием. После установки штампа или опытного фундамента проверяется горизонтальность их положения и производится монтаж установки в целом.

В целях исключения нарушения качества основания при замачивании грунтов дно шурфа (или участка котлована) вокруг штампа на высоту около 10 см засыпается песком.

Примечания: 1. Испытания в котлованах подготавливаются аналогично испытаниям в шурфах, причем зачистка и планировка дна котлована с устройством дренирующего слоя производится на участке размером в плане на 50—60 см больше в каждую сторону размера штампа или фундамента; по контуру подготовленного участка устраивается валик высотой 30—40 см из плотно уложенного глинистого грунта.

2. В целях ускорения промачивания уплотненных грунтов допускается вокруг штампов и опытных фундаментов устраивать не более 6 дренажных скважин диаметром, не превышающим 89 мм, с плотной засыпкой их крупным или средней крупности песком; скважины располагаются на расстоянии 30—40 см от штампа.

4.3. Измерительные приборы (прогибомеры, манометры для домкрата) устанавливаются после окончания всех монтажных работ.

Прогибомеры соединяются со штампом или опытным фундаментом стальной проволокой, которая до монтажа должна растягиваться в течение двух суток грузом 4 кг.

4.4. Для получения надежных результатов испытаний все элементы установок необходимо изолировать от случайных толчков в процессе производства испытаний.

Непосредственно перед испытанием ответственный исполнитель работ проверяет правильность монтажа установки и измерительной аппаратуры, надежность креплений, соблюдение условий техники безопасности, обеспеченность всем необходимым для проведения испытания.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

5.1. Нагружение штампов в процессе испытаний просадочных грунтов статическими нагрузками по схемам, изложенным в пп. 2.2—2.5, производится, как правило, ступенями нагрузки, соответствующими приращению давления по подошве штампа или опытного фундамента $\Delta p = 0{,}05$ МПа.

При испытании лессовых грунтов в водонасыщенном состоянии ступень нагрузки может уменьшаться до $\Delta p = 0{,}025$ МПа, а при испытании уплотненных лессовых грунтов при естественной влажности увеличиваться до $\Delta p = 0{,}1$ МПа.

Каждая ступень нагрузки выдерживается до условной стабилизации осадки штампа. За условную стабилизацию принимается приращение осадки, не превышающее 0,1 мм за 2 ч.

Величина ступени нагрузки в течение всего времени ее действия выдерживается постоянной.

Нагружение штампов и опытных фундаментов должно производиться при испытании просадочных грунтов и водонасыщенных лессовых грунтов до давления на грунт не менее 0,2—0,3 МПа, а уплотненных лессовых грунтов не менее 0,3—0,4 МПа.

5.2. После приложения каждой ступени нагрузки производятся отсчеты по приборам, регистрирующим осадку штампа или опытного фундамента. Показания приборов записываются в журнале испытаний. Отсчеты производятся в следующем порядке: через каждые 15 мин в течение первого часа и через 30 мин в течение второго часа, далее через каждый час или два часа (в зависимости от скорости осадки) до условной стабилизации.

Величина осадки штампа на каждой ступени нагрузки определяется как средняя из осадок не менее двух точек на противоположных его сторонах.

5.3. Замачивание грунта водой в основании штампов при испытаниях производится в определяемой схемами испытаний (пп. 2.3—2.5) последовательности.

5.4. В процессе проведения испытаний по схеме «одной кривой» (см. п. 2.3) замачивание грунта в основании штампа или опытного фундамента начинается после стабилизации осадки на последней ступени нагрузки (при заданном давлении по подошве штампа) и продолжается непрерывно до стабилизации просадочных деформаций.

При этом отсчеты по приборам, регистрирующим вертикальные перемещения штампа при просадке, берутся через интервалы времени, указанные в п. 5.2. Наблюдения за просадкой ведутся до ее условной стабилизации (приращения, непревышающего 0,1 мм за 2 ч) при промачивании грунта на глубину не менее $2b$ и заливки в грунт не менее расчетного количества воды Q в м^3, определяемого по формуле

$$Q = \frac{\gamma_c (W_п - W_e)}{100\,\gamma_{ув}} F_{пр}\, h, \qquad (1)$$

где γ_c — среднее значение объемного веса скелета испытываемого грунта в кН/м^3;

W_e — среднее значение естественной влажности испытываемого грунта в %;

$\gamma_{ув}$ — удельный вес воды, равный 10 кН/м^3;

$F_{пр}$ — приведенная площадь замачиваемого участка или шурфа в м^2, равная:

$$F_{пр} = \left(a + \frac{h}{2}\right)\left(l + \frac{h}{2}\right),$$

где h — необходимая глубина замачивания, равная $2b$, в м;

a и l — ширина и длина замачиваемого шурфа (участка котлована), в м;

$W_п$ — полная влагоемкость грунта, соответствующая влажности при полном водонасыщении ($G \geqslant 0{,}90$) в %, равная:

$$W_п = \frac{100\,\gamma_{ув}(\gamma_y - \gamma_c)}{\gamma_y \gamma_c}, \qquad (2)$$

где G — степень влажности грунта в долях единицы;

γ_y — удельный вес грунта в кН/м³*.

Перед окончанием испытаний глубина промачивания грунта контролируется путем бурения рядом с местом установки штампа скважины на глубину не менее $2b$ ниже подошвы штампа с отбором проб грунта на влажность через 0,25 м по глубине с двухкратной повторностью.

5.5. При испытаниях по схеме «двух кривых» (см. п. 2.4) замачивание грунта на участке, где испытывается грунт в водонасыщенном состоянии, должно начинаться после полного монтажа установки при нагрузке, соответствующей весу штампа или фундамента, и продолжаться непрерывно до стабилизации осадки от последней ступени нагрузки. В процессе замачивания производятся замеры осадки и при возможном набухании — подъема штампа или фундамента.

Первая ступень нагрузки прикладывается после промачивания грунта на глубину не менее $2b$, для чего заливается количество воды и выполняется контроль согласно указаниям п. 5.4.

Кроме того, рекомендуется производить замачивание основания штампа, установленного на грунте естественной влажности (см. п. 2.4), после стабилизации осадки штампа на конечной ступени нагрузки.

5.6. При испытаниях по «упрочненной» схеме (п. 2.6) замачивание грунта начинается после стабилизации осадки штампа или опытного фундамента при заданном давлении (обычно 0,1 МПа) и производится до полного промачивания основания на глубину не менее $2b$ (при сохранении этого давления) и стабилизации просадки, а затем продолжается непрерывно до стабилизации осадки водонасыщенного грунта на последней степени нагрузки.

5.7. При замачивании грунта в основании штампов или фундаментов вода заливается рассредоточенной струей с небольшой скоростью во избежание размыва грунта. Уровень воды поддерживается на 5—10 см выше поверхности дренирующего песчаного слоя. Положение уровня воды контролируется по водомерным рейкам, и определяется общий и удельный (на 1 м² площади замачиваемого участка) расход воды на замачивание.

5.8. После окончания основного этапа испытаний, связанного с нагружением штампа, замачиванием грунта и регистрацией осадки и просадки, производится разгрузка штампа ступенями $\Delta p = 0{,}1$ МПа. При разгрузке ведут наблюдения за упругой деформацией грунта в течение 1 ч на каждой ступени разгрузки, производя отсчеты по приборам через 30 мин.

После окончания испытаний установка демонтируется.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

6.1. Исходным документом при обработке результатов испытаний является журнал испытаний грунта статической нагрузкой.

---

* В соответствии с системой СИ объемный вес, объемный вес скелета, удельный вес грунта, а также удельный вес воды выражаются в килоньютонах (кН), деленных на кубический метр (м³). Для перевода в систему СИ используется соотношение

$$\frac{1\text{тс}}{\text{м}^3} \approx \frac{9{,}8 \cdot 10^3\text{Н}}{\text{м}^3} \approx \frac{10\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

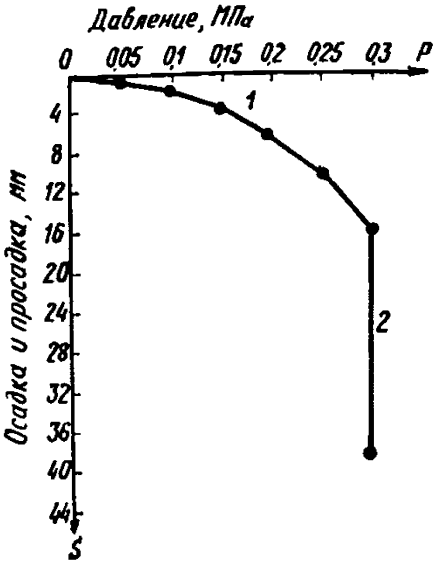


Рис. 1. График осадки штампа в зависимости от давления по испытаниям по схеме «одной кривой»

1 — осадка; *2* — просадка

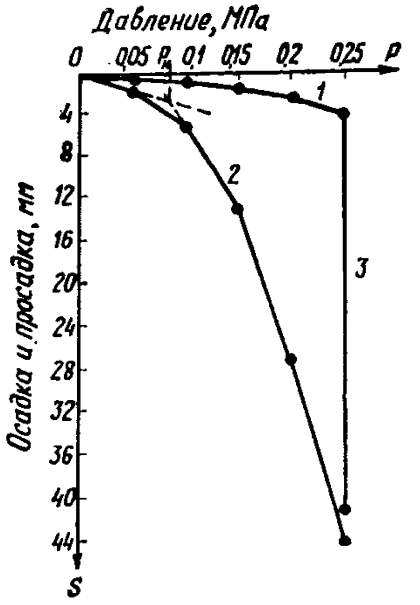


Рис. 2. График осадки штампа в зависимости от давления по испытаниям по схеме «двух кривых»

1 и *2* — осадки соответственно при естественной влажности и водонасыщении грунта; *3* — просадка при замачивании грунта с естественной влажностью на последней ступени нагрузки

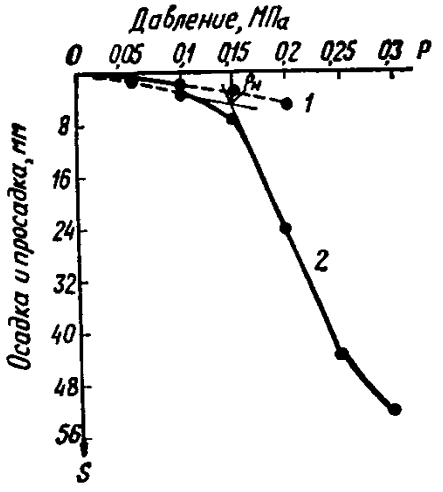


Рис. 3. График осадки штампа в зависимости от давления по испытаниям по «упрощенной» схеме

1 и *2* — осадка соответственно при естественной влажности и водонасыщении грунта

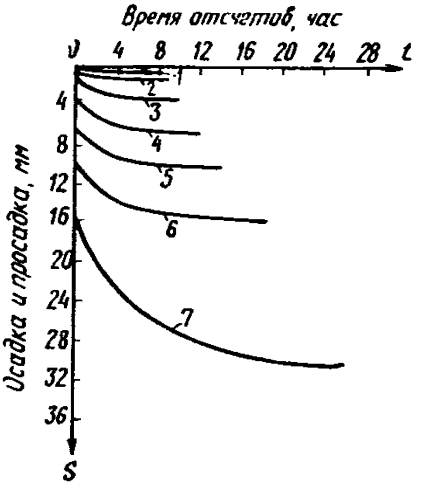


Рис. 4. График осадки штампа во времени (по испытаниям по схеме «одной кривой»)

1—6 — осадки на различных ступенях нагрузки; *7* — просадка на конечной ступени нагрузки

По данным журнала вычерчиваются графики зависимости:

стабилизированной (на каждой ступени нагрузки) осадки штампа или опытного фундамента от давления $S=f(p)$ с отражением на графике просадочных деформаций (рис. 1—3);

осадки и просадки штампа или опытного фундамента для каждой ступени нагрузки во времени $S=f(t)$ (рис. 4).

Масштаб графиков принимается:

для давления p (по горизонтали) 0,1 МПа равен 40 мм на графике;

для осадки и просадки t (по вертикали) 1 мм равен 2 или 4 мм на графике, в зависимости от величин деформации;

для времени t (по горизонтали) 1 ч наблюдений — 5 мм на графике.

6.2. По результатам испытаний, выполненных по схеме «одной кривой» (см. п. 2.3 и рис. 1), определяются:

для просадочных грунтов — модуль деформации при естественной влажности E_e (см. пп. 6.3—6.4), среднее значение относительной просадочности грунта $\delta_{пр.ср}$ (см. п. 6.6);

для водонасыщенных лессовых грунтов — модуль деформации в водонасыщенном состоянии $E_в$ (см. пп. 6.3—6.4);

для уплотненных лессовых грунтов — модуль деформации уплотненного грунта при естественной влажности $E_{упл.е}$ (см. пп. 6.3—6.4).

6.3. Для вычисления модулей деформации просадочных грунтов при естественной влажности E_e, водонасыщенных лессовых грунтов, уплотненных грунтов $E_{упл.е}$ на графике зависимости осадки от давления $S=f(p)$ через нанесенные точки (которых должно быть не менее трех) графическим методом или методом наименьших квадратов проводится осредненная прямая.

За начальные значения ординат осредненной прямой p_0 и S_0 принимаются величины, соответствующие природному давлению на отметке подошвы штампа. За конечные значения ординат осредненной прямой $p_п$ и $S_п$ принимаются значения, соответствующие точке перегиба графика $S=f(p)$, т. е. концу прямолинейного участка, если перегиб хорошо выражен, или точке, характеризующейся тем, что последующее увеличение нагрузки на одну ступень вызывает приращение осадки в 2 раза и более, чем на предыдущей ступени. Если график $S=f(p)$ характеризуется плавным изменением кривизны, за конечные значения $p_п$ и $S_п$ принимаются значения, соответствующие 4-й точке графика, включая начальную.

6.4. Модуль деформации грунтов E вычисляется в мегапаскалях (МПа) для прямолинейного участка зависимости $S=f(p)$ по формуле

$$E=(1-\mu^2)\,\omega\, b\,\frac{\Delta p}{\Delta S}, \qquad (3)$$

где μ — коэффициент бокового расширения грунта, принимаемый равным 0,30 для лессов, 0,35 — для лессовидных суглинков и 0,42 — для лессовидных глин;

ω — безразмерный коэффициент, зависящий от жесткости штампа или фундамента и формы его подошвы, принимаемый равным для круглых штампов 0,79, для квадратных 0,88 и для прямоугольных фундаментов 1,08; 1,22; 1,44; 1,61; 1,72 при отношении сторон, равном соответственно 1,5; 2; 3; 4; 5;

b — диаметр или ширина штампа или опытного фундамента в см;

Δp — приращение удельного давления по подошве штампа или фундамента, равное $p_п - p_0$, в МПа;

ΔS — приращение осадки на осредненной прямой, соответствующее Δp, в см.

6.5. Значения относительной просадочности грунтов по результатам испытания их штампом или опытным фундаментом определяются в среднем для всей деформируемой зоны, а при проведении испытаний с глубинными марками и для отдельных слоев, расчлененных глубинными марками (см. приложение).

6.6. Для расчета среднего значения относительной просадочности по испытаниям по схеме «одной кривой» в пределах деформируемой зоны определяется величина просадки штампа или опытного фундамента на конечной ступени нагрузки $S_{пр}$ [см. рис. 1 — вертикальный отрезок графика $S=f(p)$] и глубина деформируемой зоны $h_{дф}$, которая приближенно может быть принята в соответствии с указаниями п. 1.4, а при испытаниях с глубинными марками — согласно рекомендациям п. 6 приложения.

Среднее значение относительной просадочности $\delta_{пр.ср}$ для деформируемой зоны определяется по формуле

$$\delta_{пр.ср} = \frac{S_{пр}}{h_{дф}}, \qquad (4)$$

и относится к среднему давлению в пределах деформируемой зоны $p_{zср}$ от нагрузки штампа или фундамента и собственного веса грунта. Величина $p_{zср}$ определяется согласно рекомендациям п. 5 приложения.

6.7. По результатам испытаний статическими нагрузками по схемам «двух кривых» и «упрощенной» (см. рис. 2—3) определяются:

для просадочных грунтов — модули деформации грунта с естественной влажностью $E_е$ (см. пп. 6.3—6.4) и в водонасыщенном состоянии $E_в$ (см. п. 6.9); величина начального просадочного давления $p_н$ (см. п. 6.8); коэффициент изменчивости сжимаемости $\alpha_{пр}$ (см. п. 6.10); средние значения относительной просадочности $\delta_{пр.ср}$ при различных давлениях (см. п. 6.11);

для уплотненных лессовых грунтов — модули деформации грунта с естественной влажностью $E_{упл.е}$ и в водонасыщенном состоянии $E_{упл.в}$ (см. пп. 6.3—6.4), а также коэффициент изменчивости сжимаемости уплотненного грунта $\alpha_{упл}$ (см. п. 6.10).

Для определения указанных выше характеристик по «упрощенной» схеме (см. рис. 3) кривая осадки $S=f(p)$ при естественной влажности грунта экстраполируется (до давления, не превышающего 0,2 МПа) по формуле

$$S_{расч} = S_i^{факт} \left(\frac{p}{p_i^{зам}} \right)^n, \qquad (5)$$

где $p_i^{зам}$ — давление, при котором начинается замачивание грунта, принимаемое равным 0,1 МПа;

$S_i^{факт}$ — фактическая осадка, соответствующая давлению $p_i^{зам}$;

p — давление, при котором рассчитывается осадка.

Показатель степени n определяется для того или иного района путем обработки результатов испытания грунтов штампами по схемам «одной» или «двух кривых». При отсутствии таких данных зна-

чение n можно принять равным 1,2, если исходить из величин осадок $S_i^{\text{факт}}$ при $p_i^{\text{зам}}=0{,}1$ МПа.

Экстраполяция кривой осадки $S=f(p)$ в водонасыщенном состоянии при давлениях, меньших p_i, осуществляется графически с учетом характера изменения осадки при давлениях, больших $p_i^{\text{зам}}$.

6.8. Начальное просадочное давление $p_{\text{н}}$ определяется по графику зависимости осадки от давления для водонасыщенного состояния грунта. Для этого на графике зависимости $S=f(p)$ определяется графическим путем (см. рис. 2—3) предел пропорциональности, до которого наблюдается практически прямолинейная зависимость осадки от давления.

Величина начального просадочного давления испытываемого грунта принимается численно равной давлению на пределе пропорциональности, которое характеризует переход фазы нормального уплотнения водонасыщенного лессового грунта в фазу просадки, сопровождающуюся коренным изменением существующей структуры грунта.

При нечетко выраженном на графике $S=f(p)$ пределе пропорциональности за величину начального просадочного давления принимается давление по подошве штампа, при котором просадка его основания составит:

$$S_{\text{пр}} = m_{\text{ф}}\,\delta_{\text{пр.ср}}^{\text{мин}}\,h_{\text{дф}} = 0{,}5\cdot 0{,}01 h_{\text{дф}} = 0{,}005\,h_{\text{дф}},$$

где $\delta_{\text{пр.ср.}}^{\text{мин}}$ — минимальное значение относительной просадочности учитываемое для практических целей, принимаемое равным 0,01;

$h_{\text{дф}}$ — глубина деформируемой зоны, определяемая согласно п. 1.3;

$m_{\text{ф}}$ — коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,5.

6.9. Модуль деформации просадочных грунтов в водонасыщенном состоянии $E_{\text{в}}$ определяется по формуле (3) раздельно для двух участков графика $S=f(p)$: для практически прямолинейного участка в интервале изменения давления от p_0 до $p_{\text{п}}$ (см. п. 6.3) и для участка в интервале изменения давления от $p_{\text{п}}$ до давления 0,2—0,25 МПа, соответствующего, как правило, окончанию фазы просадки.

6.10. Коэффициенты изменчивости сжимаемости просадочных грунтов естественного сложения $\alpha_{\text{пр}}$ и уплотненных $\alpha_{\text{упл}}$ определяется по формулам:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{е}}}{E_{\text{в}}}\ ; \tag{6}$$

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{E_{\text{упл. е}}}{E_{\text{упл. в}}}\ , \tag{7}$$

где $E_{\text{е}}$, $E_{\text{в}}$,

$E_{\text{упл.е}}$, $E_{\text{упл.в}}$ — соответственно модули деформации просадочных и уплотненных грунтов при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии, вычисленные для одного и того же интервала изменения давления Δp, конечное значение которого должно быть, как правило, равным 0,2—0,25 МПа.

При проведении испытаний штампами или фундаментами одинаковых размеров коэффициенты изменчивости сжимаемости α определяются по формулам:

$$\alpha_{пр} = \frac{S_в}{S_е}; \tag{8}$$

$$\alpha_{упл} = \frac{S_{упл.\,в}}{S_{упл.\,е}}, \tag{9}$$

где $S_в$, $S_е$,

$S_{упл.\,в}$, $S_{упл.\,е}$ — осадки штампов или опытных фундаментов на водонасыщенных грунтах и грунтах с естественной влажностью при одном и том же удельном давлении по подошве.

6.11. При расчете по формуле (4) относительной просадочности грунта на основе результатов испытаний по схемам «двух кривых» и «упрощенной» просадка штампа или опытного фундамента на каждой ступени нагрузки определяется как разность осадок на грунте в водонасыщенном состоянии и грунте при естественной влажности.

6.12. По результатам испытаний на каждом строительном объекте составляется отчет, в котором описываются задачи и объем испытаний, геологическое строение площадки, физико-механические свойства грунтов, методика, техника и результаты испытаний с вычислением приведенных выше характеристик грунтов. К отчету прикладываются: план площадки с указанием пунктов испытаний и контрольных геологических выработок; геологические колонки скважин и шурфов, геологические профили и т. п.; сводные листы результатов каждого испытания.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВКЕ ГЛУБИННЫХ МАРОК В ОСНОВАНИИ ШТАМПОВ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ С ГЛУБИННЫМИ МАРКАМИ

1. Испытания статическими нагрузками с установкой в основании штампов или опытных фундаментов глубинных марок позволяют определить послойные деформации грунта, глубину деформируемой зоны, послойные значения относительной просадочности.

2. Глубинные марки устанавливают в пределах средней части штампа или опытного фундамента на одинаковых расстояниях от их центра на глубинах 0,25—0,4 b; 0,5—0,8 b; 0,8—1 b; 1—1,5 b от их подошвы.

Для пропуска глубинных марок штампы и опытные фундаменты должны иметь отверстия диаметром 2—3 см.

3. Глубинные марки состоят из металлического стержня диаметром 4—6 мм (при использовании прогибомеров для замера осадок — проволоки) и анкера, обеспечивающего заделку стержня или проволоки в грунте.

Анкеры могут быть выполнены путем завинчивания штопора, заливки жесткого бетона в скважину с уплотнением, установки распоров в скважине и т. п.

Осадки и просадки глубинных марок в процессе испытаний измеряются так же, как штампов или опытных фундаментов в соответствии с рекомендациями п. 3.8.

4. Глубина деформируемой зоны $h_{дф}$ принимается равной от подошвы штампа или фундамента до глубины, где перемещения глубинных марок равняются 1 мм.

5. Среднее давление в пределах деформируемой зоны, к которому относятся средние значения относительной просадочности $\delta_{пр.ср}$, определяется по формуле

$$p_{z\,ср} = \frac{p\,\alpha_z + p_{z\,б}}{2} \tag{10}$$

или по формуле

$$p_{z\,ср} = \frac{p + p_н}{2}, \tag{11}$$

где p — давление на грунт по подошве штампа или фундамента;

$p_{zб}$ — давление от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии на нижней границе деформируемой зоны;

α_z — коэффициент изменения дополнительного давления в грунте от штампа или фундамента по глубине на нижней границе деформируемой зоны;

$p_н$ — начальное просадочное давление.

Значение $p_{zб}$ определяется соотношением

$$p_{z\,б} = \gamma_0^в h_{дф}, \tag{12}$$

где $h_{дф}$ — глубина деформируемой зоны;

$\gamma_0^в$ — объемный вес грунта в деформируемой зоне в водонасыщенном состоянии.

Величина коэффициента α_z определяется по таблице.

m	Значения коэффициента α_z для						
	круглого штампа или фундамента	квадратного штампа или фундамента	прямоугольного фундамента с отношением сторон n				
			1,4	1,8	2,4	3,2	5
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,866	0,875	0,879	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,740	0,749	0,754
1,6	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,630	0,639
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,529	0,545
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,350	0,383	0,410
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360
3,6	0,106	0,130	0,173	0,209	0,250	0,285	0,320
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285
4,4	0,073	0,091	0,122	0,150	0,185	0,218	0,256
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230
5,2	0,053	0,066	0,091	0,112	0,141	0,170	0,208

Примечания: 1. Величина $m = \frac{2z}{b}$ где z — глубина от подошвы штампа (фундамента); b — сторона или диаметр штампа.

2. Для промежуточных значений m и n величина α_z определяется интерполяцией.



Рис. 5. Графики осадки глубинных марок (по испытаниям по схеме «одной кривой»)

1—6 — осадки глубинных марок на различных ступенях нагрузки штампа; *7* — просадка глубинных марок на конечной ступени нагрузки

6. Для определения значений относительной просадочности по отдельным слоям деформируемой зоны, расчлененной глубинными марками, по графикам осадок глубинных марок (рис. 5) определяются величины просадки каждого слоя $\delta_{пр\,i}$ как разность просадок фундамента и глубинной марки или разность просадок смежных глубинных марок, а также толщина каждого слоя h_i, равная расстоянию между основаниями глубинных марок.

Относительная просадочность слоев грунта, расчлененных глубинными марками $\delta_{пр\,i}$, при среднем давлении в слое p_{zi} определяется по формуле

$$\delta_{пр\,i} = \frac{\Delta S_{пр\,i}}{h_i} . \qquad (13)$$

Среднее давление в пределах каждого слоя определяется как полусумма давлений в кровле и подошве слоя по формуле

$$p_{zi} = \frac{p\,(\alpha_{zi-1} + \alpha_{zi}) + p_{z\,б\,i-1} + p_{z\,б\,i}}{2}, \qquad (14)$$

где $p_{zб-1}$, $p_{zбi}$ — давления от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии в кровле и подошве слоя;

α_{zi-1}, α_{zi} — коэффициенты изменения дополнительного давления от штампа или фундамента в кровле и подошве слоя.

gost.e-ecolog.ru