МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

М Е Т О Д И Ч Е С К И Е Р Е К О М Е Н Д А Ц И И
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПРЕССИОМЕТРИИ

Москва 1971

gost.e-ecolog.ru

Составители: Г.К. Бондарик,
С.Л. Коренева, Д.С. Горячева

Литературный редактор Т.И. Матис
Технический редактор А.П. Харкова
Корректоры Т.А. Иванова, Т.В. Хомутинникова

Ротапринтная серия № 163

Л-10859I Подписано к печати 25/I-7Iг. Тираж 500экз.
Уч.-изд.л. 2,5. Зак.20. Ротапринт ВСЕГИНГЕО

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Задачей исследования грунтов методом прессиометрии является определение их прочностных и деформационных свойств непосредственно на месте залегания.

В результате проведения прессиометрических испытаний получают график вида $d = f(P)$ зависимости изменения диаметра камеры прибора от давления, называемый прессиометрической кривой. Этот график аналогичен (по своей форме и содержанию) графику осадки штампа в зависимости от прилагаемой удельной нагрузки. На графике выделяется два участка: участок прямолинейной и участок криволинейной зависимости деформаций от напряжений. Характерными точками кривой, изображенной на графике, являются критические нагрузки, соответствующие пределу пропорциональности P_e и пределу прочности грунта P_t .

Предел пропорциональности P_e отвечает нагрузке, при которой нарушается линейная зависимость между деформациями и напряжениями. Предел прочности P_t соответствует такому минимальному давлению, при котором деформации неограниченно возрастают во времени. Каждый из участков прессиометрической кривой отвечает определенной фазе деформирования грунтов в ходе испытаний. Участок деформаций, пропорциональных нагрузке, отражает в известной мере процесс уплотнения грунтов и, следовательно, характеризует их сжимаемость. Участок криволинейной зависимости между деформациями и напряжениями отражает в основном процесс разрушения грунта в зоне влияния прессиометра. Этот процесс начинается с возникновения микросдвигов в отдельных точках массива при $P=P_e$ и завершается образованием сплошной поверхности сдвига и выпиранием грунта в скважину при $P = P_t$.

Таким образом, участок прессиометрической кривой, заключенный между критическими нагрузками P_e и P_t , может служить характеристикой прочностных свойств испытуемого грунта.

Экспериментальными исследованиями установлено, что между показателями прочности глинистых пород (C , φ) и критическими точками на прессиометрической кривой (P_e и P_t) существует за-

висимость, которая может быть представлена уравнениями вида

$$C = \left(\frac{P_t}{P_e} - 1\right) P_{быт} \cdot tg\,\varphi\,, \qquad (I.1)$$

$$\varphi + ctg\,\varphi = \pi\left(\frac{P_{быт}}{P_e} + 0{,}5\right) \qquad (I.2)$$

(при глубине проведения испытаний свыше 5 м)

или

$$\frac{ctg\,\varphi + \varphi - \pi/2}{tg^2\left(45 + \varphi/2\right)\pi} = \frac{P_{быт}}{P_e} \qquad (I.3)$$

(при глубине проведения испытаний меньше 5 м),

где C - сцепление, кг/см^2;

φ - угол внутреннего трения, град;

$P_{быт}$ - бытовое давление, кг/см^2;

P_e - предел пропорциональности, кг/см^2;

P_t - предел прочности, кг/см^2.

Сжимаемость при прессиометрических испытаниях определяется на основании формул теории упругости в предположении, что между напряжениями и деформациями существует линейная зависимость, удовлетворяющая закону Гука. Величина модуля деформации Е при таких испытаниях определяется формулой Лямэ

$$E = (1 + \mu)d_o \frac{\Delta P}{\Delta d} \qquad (I.4)$$

где d_o - начальный диаметр скважины;

ΔP - приращение давления на участке пропорциональных деформаций;

Δd - приращение диаметра скважины на участке пропорциональных деформаций.

Воспользовавшись формулами (I.I-I.4), можно определить по результатам одного прессиометрического испытания показатели прочности φ и C и модуль деформации Е грунта.

Прессиометрия является скоростным методом исследования механических свойств грунтов. По сравнению с лабораторными методами их исследования описываемый метод дает выигрыш во времени примерно в 4 раза, а по сравнению с методом пробных нагрузок - примерно в 50 раз. По сметным данным, стоимость одного испытания грунтов прессиометром составляет ориентировочно 6-8 рублей, в то время как определение прочности и деформируемости грунта в условиях ла-

боратории оценивается в 73-90 рублей, а стоимость одного испытания статическими нагрузками на штамп составляет 500-600 рублей.

Современные конструкции прессиометров позволяют проводить испытания в скважинах глубиной до 25 м в породах, залегающих выше уровня грунтовых вод.

Прессиометрией могут быть опробованы грунты различного литологического состава:

- глинистые любой консистенции от текучей до твердой,
- щебнисто-глинистые с содержанием включений до 30% при их размере 5-7 см.

Минимальная мощность слоя, в котором возможно проведение испытаний, соответствует длине снаряда прессиометра.

При описываемом методе на грунт передается нагрузка в направлении параллельном напластованию, а не перпендикулярно к нему, как это имеет место при передаче нагрузки от сооружения.

В связи с этим при испытании прессиометром анизотропных по механическим свойствам грунтов, необходимо знать коэффициент анизотропии, представляющий собой отношение соответствующих показателей свойств, определенных по напластованию и перпендикулярно к нему. Величина этого коэффициента может быть определена в лабораторных условиях при сопоставлении результатов испытаний образцов, вырезанных параллельно и перпендикулярно напластованию грунта.

2. СХЕМЫ ПРЕССИОМЕТРОВ

Прессиометры (приборы для создания бокового давления) предназначаются для определения прочностных и деформационных показателей грунта в скважинах небольшого диаметра (от 57 до 143 мм).

Прессиометр любой конструкции состоит из двух частей: зонда (снаряда), опускаемого в скважину, и измерительной аппаратуры, расположенной на поверхности земли близ испытуемой скважины.

Измерительная аппаратура включает в себя манометры для измерения давления, создаваемого в камере, а также специальные приборы, регистрирующие деформации стенок скважины.

Зонд представляет собой металлический стержень с натянутой на него резиновой "рубашкой", плотно закрепленной по торцам

Таблица I

Конструкции прессиометра	Максимальное давление на породу, кг/см^2	Точность измерения давления от верхн. предела измерений, %	Точность измерения деформаций, мм	Максимальная глубина проведения испытаний, м	Диаметр скважины, мм	Интервал глубины скважины на котором приложено давление	Вес прибора	Примечание (область применения прибора)
Трехкамерные								
Прессиометр Л.Менара	20-500	I-4	0,000I	50	32-II5	450-600	ДО I00	От рыхлых до скальных
Прессиометр ППИ Фундаментпроект ПС-I	8	± 4	± I	I5	II0	500	До I00	Для песчано-глинистых
Прессиометр Уральского политехнического института П-89	5	± 4	Нет данных	5	89	400	20	-"-
Однокамерные								
Макет малого прессиометра ВСЕГИНГЕО	5	±I,5	Нет данных	5	32	550	I0	-"-
Прессиометр НИИОСП	250		0,0003	5	46	750	3,5	Для скальных грунтов
Прессиометр ИТП-2I конструкции СКБ-ВСЕГИНГЕО	24	±4	± 3,0	25	I08	500	До I00	Для рыхлых грунтов

(рабочая камера прибора). При увеличении давления внутри зонда диаметр резиновой оболочки может быть увеличен в 2-2,2 раза.

По конструктивным особенностям существующие прессиометры в зависимости от устройства зонда можно разделить на две группы (табл.I). К первой группе относятся трехкамерные приборы, которые являются модернизацией прессиометра Л.Менара, запатентованного во Франции в 1957 г. Это прессиометры конструкции ГПИ Фундаментпроект ПС-I, Уральского политехнического института (УПИ) - П-89, ЦНИИС Минтрансстроя. Ко второй группе относятся однокамерные прессиометры конструкции НИИОСП для скальных пород и прессиометр ИГП-2I для песчано-глинистых пород. Принципиальное различие между приборами обеих групп состоит в том, что в трехкамерных приборах радиальные деформации грунта определяют расчетом по изменению объема рабочей камеры зонда, в то время как в однокамерных измеряют линейные деформации в отдельных точках центральной части камеры прибора. Для измерения радиальных деформаций в однокамерных приборах используют электрические датчики, а для измерения объемных деформаций в трехкамерных приборах применяется гидравлическая схема.

Зонд трехкамерных приборов состоит из одной рабочей и двух вспомогательных камер, расположенных по обе стороны от рабочей камеры (рис.I).

Определение величины деформаций производится лишь по средней камере, вспомогательные камеры служат для поддержания цилиндрического поля напряжений вокруг рабочей камеры, а также для предупреждения деформирования эластичных мембран, отделяющих рабочую камеру от вспомогательных.

Перед опытом камеры прессиометра заполняют рабочей жидкостью (водой, маслом). Изменение уровня жидкости в центральной камере соответствует изменению ее объема в ходе опыта.

Измерительная установка трехкамерного прессиометра состоит из двух мерных цилиндров, двух манометров и баллона со сжатым газом для создания давления в камерах зонда. Один из мерных цилиндров соединен шлангами со средней камерой. Он служит для передачи давления и измерения объемных деформаций рабочей камеры. Другой мерный цилиндр соединен со вспомогательными камерами и служит только для создания рабочего давления.

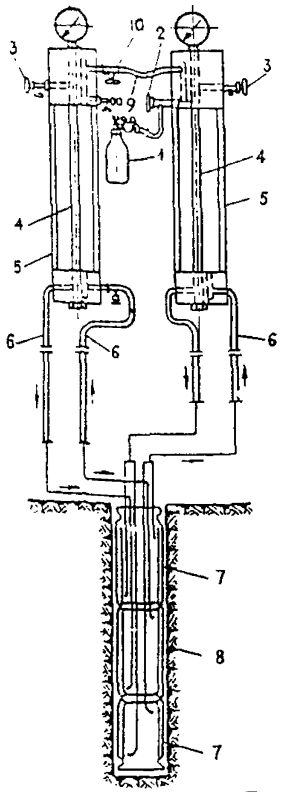


Рис.I. Схема прессиометра ПС-I конструкции Фундаментпроекта

I- баллон со сжатым газом, 2 - кран для подачи углекислоты, 3 - нагнетательные краны, 4 - соосные нагнетательные трубы, 5 - мерные цилиндры, 6 - высоконапорные шланги, 7 - вспомогательные камеры, 8 - рабочая камера, 9 - кран выпускной, I0 - кран остановки давления

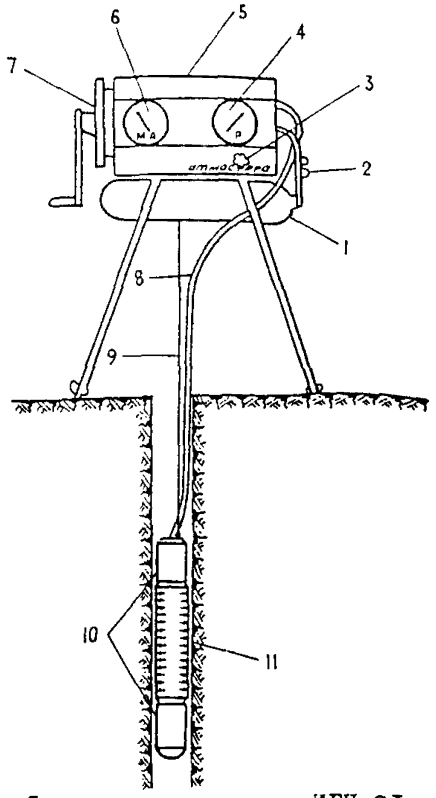


Рис.2. Схема прессиометра ИГП-2I конструкции СКБ - ЗСЕГИНГЕО

I - баллон со сжатым воздухом, 2 - редуктор, 3 - кран выпускной, 4 - манометр, 5 - блок измерений, 6 - эмперметр, 7 - лебедка, 8 - воздушный шланг, 9 - электрокабель, I0 - металлические оголовки для предотвращения выпора грунта в скважину, II - эластичная рабочая камера зонда

В однокамерных приборах (рис.2) зонд прессиометра имеет лишь одну рабочую камеру с деформаторами, расположенными в центре камеры. Измерительная установка в таких приборах представлена датчиками, преобразующими механическую энергию, затрачиваемую на расширение камеры, в электрическую. Изменение силы тока или напряжения в электрической цепи в ходе опыта фиксируется на поверхности соответствующими приборами (вольтметром или амперметром), проградуированными в единицах измерения диаметра камеры прибора.

Давление в однокамерных приборах создается сжатым газом.

3. МЕТОДИКА ПРЕССИОМЕТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

3.I. Проведение испытаний трехкамерным прессиометром (на примере прессиометра ПС-I)

Измерительную аппаратуру прессиометра устанавливают около скважины. Зонд прессиометра опускают в скважину на заданную глубину. Глубина погружения зонда отмечается по меткам на шланге, соединяющем рабочую камеру зонда с мерным цилиндром. После погружения зонда в скважину (см.рис.I) открывают нагнетательные краны 3 и заполняют водой камеры 7, 8 зонда, шланги 6 и мерные цилиндры 5 до нулевой отметки. При заполнении камер нужно следить за тем, чтобы вода не содержала пузырьков воздуха, которые в процессе испытания могут внести ошибку в замеры объемной деформации. Для этого при заполнении системы водой кран для выпуска воздуха 9 открывают. После заполнения системы водой краны нагнетания воды 3 и выпуска воздуха 9 закрывают. Для создания давления в камерах зонда открывают краны подачи сжатого газа 2, а затем открывают вентиль у баллона со сжатым газом. При установлении заданной ступени давления учитывают вес столба жидкости, заполняющей прессиометр, проводят замеры объемных деформаций по изменению уровня в мерном цилиндре рабочей камеры. Полученные результаты заносят в журнал прессиометрических испытаний.

По окончании испытаний открывают краны нагнетания воды, не снимая при этом избыточного давления газа. Под действием газа вода вытесняется из системы. Затем открывают кран выпуска воздуха 9 и закрывают кран баллона со сжатым воздухом I. После этого камеры принимают первоначальные размеры и могут быть извлечены из

скважины или перемещены на другую отметку для нового испытания.

В процессе проведения прессиометрических испытаний заполняют журнал наблюдений, который составляется по следующей форме

Дата проведения опыта .....

Абс.отм.устья скважины .....

Диаметр бурения .....

Глубина проведения опыта .....

Краткое описание породы .....

№ опыта	Время (час,мин)	Показания манометра, кг/см^2	Отсчет по шкале трубки, см^3	Приращение объема, см^3	Примечание

3.2. Проведение испытаний однокамерным прессиометром (на примере прессиометра ИГП-21)

На расстоянии от скважины около 0,5 м устанавливают лебедку прибора 7, на которой укрепляют измерительный блок 5. Рабочую камеру зонда прессиометра II соединяют воздушным шлангом 8 с баллоном сжатого воздуха I, электрокабелем 9 с измерительным блоком (см. рис.2).

Закончив все соединения снаряда с измерительным блоком, лебедку прибора устанавливают над устьем скважины и опускают снаряд на заданную глубину. Перед его спуском устанавливают нуль на счетчике, смонтированном на лебедке 7. Поскольку при использовании однокамерных приборов радиальные деформации породы фиксируются в центре зонда, глубина испытания определяется расстоянием от центра снаряда прессиометра до поверхности земли.

Перед началом нагружения проверяют наличие давления газа в баллоне, закрыв предварительно вентиль редуктора 2. Номер баллона со сжатым воздухом и величину давления в нем перед началом опыта записывают в журнал. Плавно поворачивая винт редуктора 2 создают заданное давление в снаряде, контролируя его по манометру 4 блока измерений 5.

После достижения требуемого давления подачу газа прекращают, закрыв вентиль редуктора 2. Наблюдения за изменением диаметра рабочей камеры зонда проводят по амперметру 6,проградуированному в единицах измерения диаметра камеры 6.

После завершения опыта закрывают вентиль редуктора и плавно открывают вентиль 3 с надписью "атмосфера", обеспечивающий сообщение газа, находившегося в рабочей камере, с атмосферой.
В том случае, если испытания проводят в мягкопластичных водонасыщенных грунтах, возможно прилепание зонда прессиометра к стенкам скважины. Для того, чтобы оторвать снаряд и извлечь его на поверхность после окончания опыта необходимо вновь повысить давление в камере прибора на 2-3 атмосферы, а затем медленно сбросить его до нуля.

Запись наблюдений в процессе опыта ведут в журнале, в котором отмечают дату проведения опыта, местоположение скважины, глубину проведения испытаний, а также приводят краткое описание породы и положение уровня грунтовых вод. Запись наблюдений, проводимых в процессе испытаний, производится по следующей форме.

№ опыта	Давление в камере прибора, кг/см^2	Время отсчета (сек ,мин)	Диаметр камеры прессиометра, мм	Приращение диаметра, мм	Примечание

4. ТАРИРОВКА ПРИБОРА

Тарировка прессиометра необходима для того, чтобы знать, какая часть давления, созданного в нем, затрачивается на расширение резиновой рубашки камеры, а также для определения систематической погрешности измерительной системы прибора.

Тарировку однокамерных приборов типа ИГП-21 производят на поверхности земли с помощью 1,5-метровых отрезков труб различных диаметров (108, 127, 168 мм и т.д.). Отрезок трубы устанавливают в вертикальном положении и в него опускают зонд прессиометра с таким расчетом, чтобы стенки камеры не касались стенок трубы.
Затем, плавно вращая вентиль редуктора, повышают ступенями давление в камере прибора. Величина каждой ступени нагружения при тарировке не должна превышать 0,25 кг/см^2. Прекращение деформирования камеры указывает на то, что стенки ее плотно прижаты к трубе.

В трубе каждого диаметра проводят не менее трех тарировочных опытов. После проведения испытаний в трубах различного диаметра строят суммарную тарировочную кривую. Образец журнала тарировочных испытаний приведен в табл.2.

Систематическую погрешность прибора определяют из выражения

$$\Delta d = d_{\mathcal{L}} - d_{\mathcal{T}},$$

где Δd - погрешность измерения диаметра камеры прибора;

$d_{\mathcal{L}}$ - показание амперметра, мм;

$d_{\mathcal{T}}$ - внутренний диаметр трубы.

Тарировку трехкамерных прессиометров типа П-89 производят в скважине на различных глубинах для учета веса столба жидкости в соединительных трубах.

При тарировке на рабочую камеру прибора одевают кожух и опускают ее в скважину на глубину I м. Прибор заполняют жидкостью и с помощью насоса в камере прессиометра ступенями в 0,5 кг/см^2 поднимают давление до 5 кг/см^2. Деформацию камеры на каждой ступени нагрузки фиксируют по изменению уровня жидкости в водоизмерительной трубке. Затем тарировку повторяют при новой длине соединительных труб, т.е. на глубинах 2; 3; 4; 5 м и т.д.

Образец журнала тарировочных испытаний приведен в табл.3.

Таблица 2

Длина труб,м	Диаметр камеры (в мм) прессиометра при давлении (кг/см^2)						
	0,25	0,50	0,75	I,0	I,25	I,50	I,75
I08	96	99	I02	I02	I02	I02	I02
I27	97	I00	II2	I27	I27	I27	I27
I68	96	II0	II2	I45	I65	I67	I67

Таблица 3

Длина труб,м	Приращение объема камеры ($см^3$) прессиометра при давлении ($кг/см^2$)									
	0,5	I,0	I,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I	I00	II0	II0	II0	II0	-				
2	I05	230	235	235	235	-				
3	I05	325	550	570	5I0	570				
4	I05	325	6I5	620	620	620				
5	I05	325	6I5	7I0	7I0	7I0				

5. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СКВАЖИНАМ ПРИ ПРЕССИОМЕТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ПОРОД

Перед началом бурения скважин для прессиометрических испытаний необходимо собрать сведения о геологическом строении изучаемой территории. В том случае, если в разрезе преобладают устойчивые, плотные породы, скважины бурят до заданной глубины и консервируют. При этом после окончания бурения скважину нужно закрыть, чтобы в нее не попала вода. Разрыв во времени между окончанием проходки скважины и началом испытаний не должен превышать I-2 суток. В текучих глинах и сыпучих песках испытания проводятся параллельно с бурением скважин. Последовательность работ при этом следующая: скважину проходят на глубину, соответствующую намеченному интервалу опробования, и обсаживают трубами. Затем в нее опускают прессиометр и обсадные трубы приподнимают на высоту снаряда. После проведения опыта снаряд извлекают, скважину разбуривают и обсаживают трубами до следующего, заранее намеченного интервала. При проходке и опробовании сыпучих песков более удобной является конструкция из двух колонн обсадных труб. Первая колонна обсадных труб опускается на глубину, соответствующую началу интервала опробования, а вторая колонна закрепляет лишь интервал, намеченный для испытаний. После опускания прессиометра на заданную глубину, вторую колонну труб поднимают на высоту снаряда.

Для того, чтобы не произошло разрыхления пород в интервале опробования, разница между диаметром второй колонны и диаметром прессиометра должна составлять I-I,5 см.

Проходка скважин для проведения прессиометрических испытаний может быть осуществлена как ручным, так и механическим способом.

Поскольку при инженерно-геологических изысканиях широко применяется ударно-канатное бурение, то для целей прессиометрирования могут быть использованы станки Д-5-25, БУК-57, БУКС-I, рассчитанные на бурение скважин глубиной до 25 м. К скважинам, пробуренным для прессиометрических испытаний, предъявляются следующие требования.

I. Скважины должны быть строго вертикальны.

2. Бурение следует вести всухую, сохраняя естественную влажность пород.

Даже незначительное количество воды, подлитой в скважину при проходке, может вызвать насыщение стенки скважины водой и повышение липкости породы. Последнее обстоятельство затрудняет извлечение снаряда прессиометра после завершения опыта. Значительное количество воды, подливаемой в скважину при проходке, может привести к резкому изменению свойств исследуемых глинистых пород, особенно если в их составе содержится монтмориллонит.

3. Порода в стенках скважины должна быть как можно меньше нарушена в процессе бурения.

В связи с этим исключается применение шнекового, колонкового и вибрационного бурения. После ручного бурения с применением змеевика стенки скважины должны быть зачищены ложкой. Как при ручном, так и при механическом бурении интервалы, намечаемые для прессиометрирования, рекомендуется проходить обуривающим или забивным грунтоносом.

4. Допускаемое расхождение диаметра скважины и диаметра зонда прессиометра не должно превышать 25-30 мм. Если диаметр скважины будет значительно больше диаметра прибора, то это может привести к разрыву эластичной оболочки зонда. Минимальная мощность слоя, который может быть опробован описываемым методом, должна быть не менее длины зонда прессиометра. В зависимости от изученности и сложности разреза испытания проводят либо по каждой выделенной литологической разности пород, либо через определенные интервалы по глубине через 0,5-I,0 м в плотных породах и через I-I,5 м в пластичных глинах.

5. Бурение скважин должно сопровождаться отбором образцов для определения объемного веса и влажности.

6. ЛИКВИДАЦИЯ СКВАЖИН

Скважины, в которых проводились прессиометрические испытания и которые не предназначаются для дальнейшей эксплуатации, ликвидируют . Предварительно проверяют техническое состояние скважины и частично или полностью извлекают обсадные трубы. Отработанные скважины тампонируют жирной глиной или цементным раствором. В пределах водоносных пластов скважину засыпают фильтрующим материалом (щебнем, гравием, галькой и т.д.). Тампонаж ведут одновременно с подъемом извлекаемых из скважины обсадных труб. О тампонаже составляется технический отчет, содержащий описание произведенных работ и указание местоположения скважины, а также акт о ликвидации скважины.

7. СХЕМЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытания прессиометром целесообразно проводить по двум схемам: по схеме быстрого и по схеме медленного нагружения.

При испытаниях по схеме быстрого нагружения величину деформации фиксируют через I0 сек. При испытаниях по схеме медленного нагружения величину деформации пород от каждой ступени фиксируют через I мин до наступления условной стабилизации.

Медленное нагружение следует применять при проведении испытаний в слабых водонасыщенных грунтах текучей и мягкопластичной консистенции. В этих грунтах поровое давление в процессе нагружения достигает значительной величины. Однако при проведении испытаний по схеме медленного нагружения (одно прессиометрическое испытание продолжается 20-40 мин) поровое давление в таких грунтах успевает в значительной степени рассеяться. Это позволяет использовать для определения показателей прочности грунтов формулы, не учитывающие величины порового давления.

В плотных грунтах, где поровое давление в процессе нагружения проявляется слабо, благодаря их высокой структурной прочности, величиной порового давления можно пренебречь и проводить испытания по более экономичной методике быстрого нагружения. Если величина порового давления, возникающего в породах при нагружении, неизвестна, то испытания следует проводить по методике медленного нагруже-

ния, так как эта методика гарантирует получение более правильных результатов испытаний.

При региональных инженерно-геологических исследованиях началу массовых прессиометрических испытаний грунтов должна предшествовать серия сопоставительных опытов, проведенных по методике медленного и быстрого нагружения (по I0 опытов для каждого вида грунта). Одинаковый или близкий наклон прессиометрических кривых на участке пропорциональных деформаций при быстром и медленном нагружении может служить косвенным показателем того, что поровое давление в грунтах проявляется слабо и, следовательно, грунты могут быть опробованы по схеме быстрого нагружения.

8. РЕЖИМ НАГРУЖЕНИЯ

Давление в камере прессиометра увеличивается ступенями. Величину каждой ступени нагружения устанавливают в зависимости от консистенции испытуемых грунтов (табл.4).

Таблица 4

Консистенция	Показатель консистенции	Величина ступени давления, кг/см^2
Мягкопластичная	I > B > 0,5	0,25 - 0,5
Полутвердая	0,5 > B > 0,8	0,5 - I,0
Твердая	0,8 > B > 0	I,0 - 2,0

Исходя из приведенных рекомендаций табл.4, первые две ступени нагружения должны быть минимальными (0,25; 0,5; I,0 кг/см^2).

В дальнейшем давление рекомендуется повышать равными ступенями (0,5; I,0; 2 кг/см^2). Величину ступени нагружения выбирают сог-

ласно состоянию глинистых грунтов, но таким образом, чтобы число ступеней было не меньше 6-8. Конечную ступень нагрузки желательно уменьшить на 25-50% по сравнению с предыдущей, от которой был получен резкий скачок в приросте деформаций.

На каждой ступени давления производят наблюдения за деформациями грунтов:

- через I0 сек по схеме быстрого нагружения;
- через I мин по схеме медленного нагружения.

При испытаниях по схеме медленного нагружения для нагрузок, превышающих предел пропорциональности, ведут дополнительные наблюдения за деформациями через каждые I0 сек в течение первой минуты деформирования.

Переход с одной ступени давления на другую осуществляют только после достижения условной стабилизации деформаций. За условную стабилизацию при испытаниях по схеме быстрого нагружения принимают изменение величины приращения деформации на постоянное число делений в каждые три последующие промежутка времени. Это значит, что три последующих отсчета должны быть либо одинаковыми (затухающая деформация), либо должны возрастать на одну и ту же величину (деформация с постоянной скоростью). В табл. 5 приведены примеры условной стабилизации деформаций при испытаниях грунтов методом быстрого нагружения.

При проведении опыта по схеме медленного нагружения за условную стабилизации принимают изменение величины деформации не более, чем на I мм за одну минуту.

В табл.6 приведен пример установления условной стабилизации деформаций от нагрузки P_n (кг/см^2) при испытании грунтов методом медленного нагружения.

Опыт, проведенный по методике быстрого нагружения, считают законченным, если очередная ступень нагружения при принятой частоте наблюдения вызывает незатухающие деформации (табл.7).

Опыт, проведенный по методике медленного деформирования, считают законченным, если в течение первой минуты при очередной ступени нагружения наблюдались приращения деформаций, значительно большие, чем от предыдущей ступени нагружения. Однако наблюдаемый скачок может быть случайным. Поэтому для установления момента окончания опыта при медленном деформировании наблюдения на зафиксированной ступени нагрузки проводят через I0 сек для установления

Таблица 5

Деформация, затухающая во времени при нагрузке P_n			Деформация, равномерно возрастающая во времени при нагрузке P_n		
Промежуток времени между замерами, сек	Диаметр камеры прессиометра, мм	Приращение диаметра камеры прессиометра, мм	Промежуток времени между замерами, сек	Диаметр камеры прессиометра, мм	Приращение диаметра камеры прессиометра, мм
I0	I44		I0	I50	
20	I47	3	20	I54	4
30	I48	I	30	I57	3
40	I48	0	40	I59	2
50	I48	0	50	I6I	2
			60	I63	2

Таблица 6

Деформация, затухающая во времени при нагрузке P_n			Деформация, возрастающая во времени (не более I мм/мин) при нагрузке P_n		
Промежуток времени между замерами, мин	Диаметр прессиометра, мм	Приращение диаметра камеры прессиометра, мм	Промежуток времени между замерами, мин	Диаметр прессиометра, мм	Приращение диаметра камеры прессиометра, мм
I	I3I		I	I44	
2	I33	2	2	I46	2
3	I34	I	3	I47	I
4	I34	0	4	I48	I
5	I34	0			

незатухающего характера деформаций. В табл.7 приведены примеры деформирования пород при критической нагрузке, равной пределу прочности грунта.

Таблица 7

Быстрое нагружение				Медленное нагружение			
Давление, $кг/см^2$	Промежуток времени между замерами, сек	Диаметр камеры прессиометра, мм	Приращение диаметра камеры прессиометра, мм	Давление, $кг/см^2$	Промежуток времени между замерами, мин, сек	Диаметр камеры прессиометра, мм	Приращение диаметра камеры прессиометра, мм
P_t	I0	I70	-	P_t	I'I0''	I68	2
	20	I74	4		I'20''	I7I	3
	30	I80	6		I'30''	I76	5
	40	I84	4		I'40''	I79	3
	50	I87	3		I'50''	I8I	2

9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

9.I. Общие положения

В результате испытаний получают графики вида $d = f(P)$ зависимости деформаций камеры прессиометра от созданного в нем давления.

Характер этих графиков определяется составом и состоянием исследуемых пород.

Типичный график прессиометрических испытаний в грунтах, имеющих сцепление C и угол внутреннего трения φ, представлен на рис. 3. На графике выделяют несколько участков соответствующих:

- расширению камеры прессиометра до соприкосновения со стенками скважины (ОА);
- обжатию неровностей поверхности скважины, образовавшихся в процессе бурения (АВ);
- уплотнению грунта под действием прессиометра (ВС);
- разрушению грунта под действием прессиометра (СД).

Важнейшим этапом обработки прессиометрических испытаний является нахождение по графику $d = f(P)$ следующих параметров: предела пропорциональности P_e; предела прочности. P_t; начального диаметра скважины d_o.

Предел пропорциональности P_e четко выделяется на прессиометрической кривой при опробовании грунтов, обладающих углом внутреннего трения φ и сцеплением С . В этом случае величина P_e определяется проведением касательной к прессиометрической кривой на участке пропорциональных деформаций (отрезок ВС, рис.3).

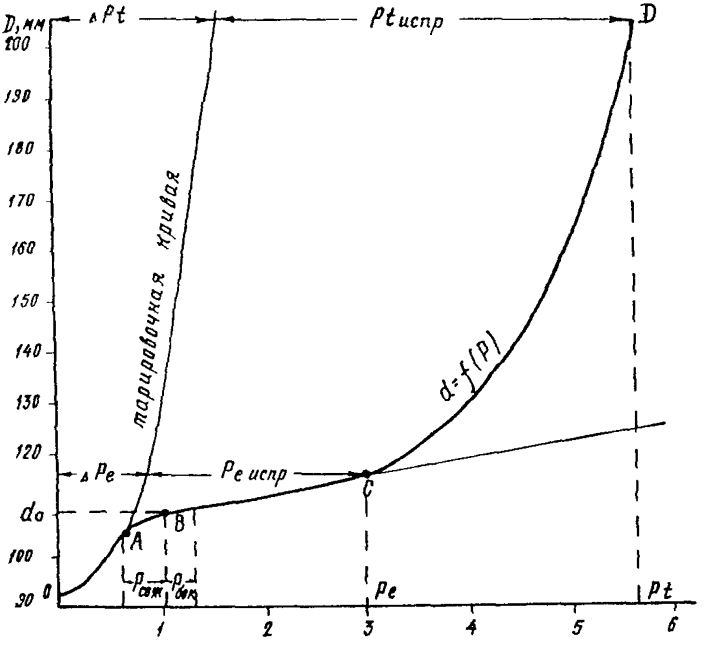


Рис.3. Прессиометрическая кривая $d = f(P)$

OA- расширение камеры прессиометра до соприкосновения со стенками скважины; AB - обжатие неровностей поверхности скважины ($P_{обж}$); BC - уплотнение грунта под действием прессиометра; - разрушение грунта; P_e - предел пропорциональности; P_t - предел прочности; d_o - начальный диаметр скважины; $P_{бок}$ - боковое давление

При испытании пластичных глин с малыми значениями угла внутреннего трения φ предел пропорциональности P_e на прессиометрической кривой выражен нечетко. В этом случае определение величины P_e следует проводить по графику $d = f(P)$, построенному в логарифмическом масштабе. При таком построении участок пропорциональных деформаций на прессиометрической кривой выделяется однозначно. Прессио-

метрические кривые, полученные при испытании мягкопластичных и текучепластичных глин, для которых угол внутреннего трения φ близок или равен 0, могут не иметь предела пропорциональности ($P_e = 0$). В этом случае прочность глинистых грунтов определяется только сцеплением С.

Предел прочности P_t соответствует такому минимальному давлению на участке разрушения прессиометрической кривой (точка Д отрезка СД,рис.3), при котором деформации возрастают во времени при постоянной нагрузке.

Начальный диаметр скважины d_o определяется по прессиометрической кривой $d = f(P)$ и соответствует давлению, отвечающему началу пропорциональных деформаций (см.рис.3).

После определения по графику $d = f(P)$ значений предела пропорциональности P_e и предела прочности P_t в полученные величины вносят поправки. Поправки учитывают:

- величину давления, расходуемого на расширение собственно камеры прессиометра ΔP_e и ΔP_t ;

- величину давления, расходуемого на обжатие стенок скважины, нарушенных в процессе бурения $P_{обж}$;

- величину давления, затрачиваемого на восстановление природного бокового давления $P_{бок}$.

Величина давления, затрачиваемого на расширение собственно камеры прессиометра при давлении в приборе, равном пределу пропорциональности P_e и пределу прочности P_t , определяется по тарировочному графику (см.рис.3).

Поправка на обжатие стенок скважины определяется по прессиометрической кривой и соответствует начальному криволинейному ее участку (отрезок АВ, рис.3).

Величина давления, затрачиваемого на восстановление природного бокового давления, может быть определена теоретически по формуле

$$P_{бок} = 0{,}1 \cdot \gamma \cdot h \cdot \xi ,$$

где γ - объемный вес, г/см^3;

h - глубина проведения опыта, м;

ξ - коэффициент бокового давления.

Значение коэффициента бокового давления ξ при расчетах определяется из соотношения $\xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ в зависимости от величины коэффициента Пуассона.

Коэффициент Пуассона для разных грунтов (по СНиП II-Б, I-62) имеет следующие значения:

глины 0,42
суглинки 0,35
супеси 0,30

Практикой прессиометрического опробования пород установлено, что в плотных грунтах процесс восстановления природного давления фиксируется на графике в виде горизонтальной ступени, соответствующей начальному участку уплотнения. В пластичных грунтах горизонтальная ступень, как правило, отсутствует; грунт начинает деформироваться при восстановлении бытового давления. В связи с этим в мягкопластичных грунтах величина $P_{бок}$ определяется условно по формуле $P_{бок} = 0,1 \cdot \gamma \cdot h \cdot \varepsilon$. В твердых, прочных глинах величина $P_{бок}$ определяется по графику испытаний и соответствует концу горизонтальной ступени на графике $d = f(P)$.

Общая поправка к величинам P_e и P_t может быть определена как сумма поправок ΔP_e (ΔP_t), $P_{обж}$, $P_{бок}$. Тогда исправленные значения предела прочности $P_{t\ испр}$ и предела пропорциональности $P_{e\ испр.}$ определяются выражениями:

$$P_{e\ испр.} = P_e - (\Delta P_e + P_{обж} + P_{бок}),$$

$$P_{t\ испр.} = P_t - (\Delta P_t + P_{обж} + P_{бок}),$$

где P_e – предел пропорциональности, определенный по прессиометрической кривой;

P_t – предел прочности, определенный по прессиометрической кривой;

$P_{обж}$ – давление, затрачиваемое на обжатие неровностей стенок скважины;

$P_{бок}$ – боковое давление на глубине проведения опыта;

ΔP_e – давление, затрачиваемое на расширение собственно камеры прессиометра при $P = P_e$;

ΔP_t – давление, затрачиваемое на расширение камеры при давлении в прессиометре $P = P_t$.

Исправленные значения $P_{e\ испр}$ и $P_{t\ испр}$ используются для расчета показателей прочности глинистых пород: угла внутреннего трения φ и сцепления С.

В зависимости от того, проводятся ли испытания пород прессиометром выше или ниже критической глубины, расчет угла внутреннего трения выполняют по разным формулам. Критической называется глубина, при которой влияние поверхности не сказывается на характере поля напряжений, возникающего в области влияния прессиометра. Критическая глубина зависит от свойств опробуемых грунтов и от размеров зонда прессиометра. Если опыт проводится выше критической глубины, то применяется зависимость вида

$$\frac{c\,tg\,\varphi + \varphi - \pi/2}{tg^2(45 + \varphi/2)\,\pi} = \frac{P_{быт}}{P_e}.$$

При проведении опыта ниже критической глубины угол внутреннего трения определяется из выражения

$$c\,tg\,\varphi + \varphi = \pi\left(\frac{P_{быт}}{P_e} + 0.5\right).$$

Для облегчения вычислений величины угла внутреннего трения построены номограммы (рис.4 и 5), представляющие собой графики зависимости угла внутреннего трения от отношения бытового давления к пределу пропорциональности

$$\varphi = f\left(\frac{P_{быт}}{P_e}\right).$$

На основании экспериментальных исследований, проведенных прессиометром ИГП-21 (длина рабочей камеры 800 мм, диаметр 100 мм) в глинистых грунтах, критическая глубина может быть принята равной 5 м. Таким образом, при глубине проведения испытаний меньше 5 м угол внутреннего трения определяют по графику, приведенному на рис.4, а при глубине проведения испытаний более 5 м угол внутреннего трения определяют по графику, приведенному на рис.5.

Сцепление глинистых грунтов независимо от глубины проведения испытаний вычисляют по формуле

$$C = \left(\frac{P_{t\,испр.}}{P_{e\,испр.}} - 1\right) P_{быт} \cdot tg\,\varphi.$$

Сцепление глинистых грунтов при $\varphi = 0$ определяется выражением

$$C = \frac{P_{t\,испр.}}{\pi}$$

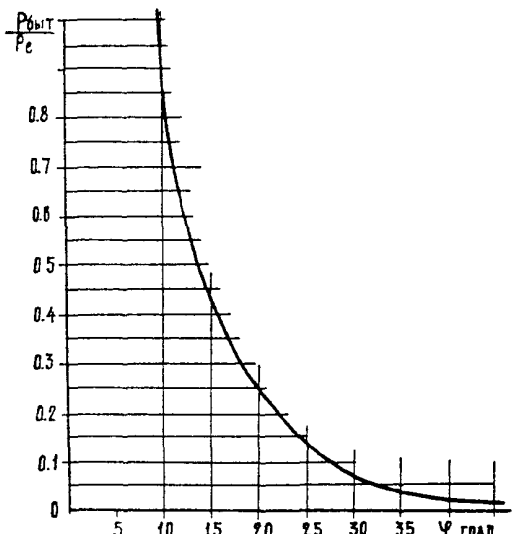


Рис.4. Номограмма для определения угла внутреннего трения (при глубине проведения опыта h менее 5 м)

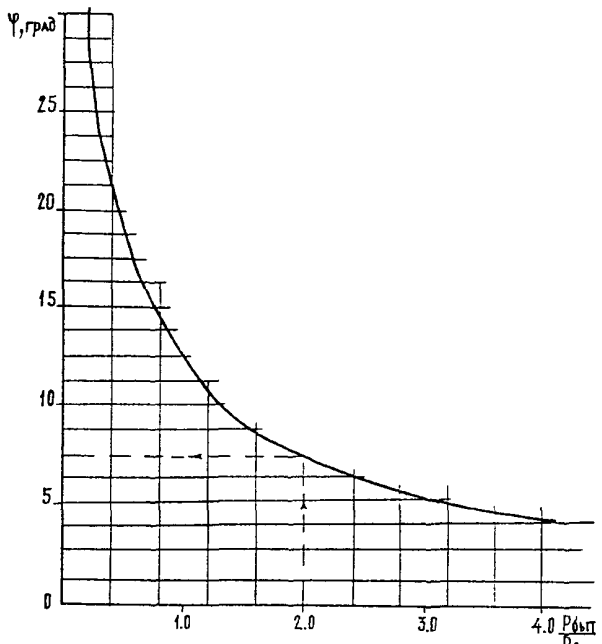


Рис.5. Номограмма для определения угла внутреннего трения (при глубине проведения опыта h более 5 м)

В формулах для определения значений сцепления С (кг/см^2) и угла внутреннего трения φ приводится величина бытового давления $P_{быт}$. Бытовое давление расчитывают по формуле

$$P_{быт} = 0{,}1\,\tilde{\gamma}h,$$

где $\tilde{\gamma}$ – средневзвешенное значение объемного веса для всей вышележащей толщи пород; $\tilde{\gamma} = \frac{\sum \gamma_i h_i}{h}$;

h – глубина проведения опыта.

Модуль деформации глинистых грунтов, обладающих сцеплением и трением, определяется на участке пропорциональных деформаций по формуле Лямэ

$$E(1+\mu)\,d_0\,\frac{\Delta P}{\Delta d},$$

где μ – коэффициент Пуассона;

d_0 – начальный диаметр скважины, см;

ΔP – приращение давления на участке пропорциональных деформаций, кг/см^2;

Δd – приращение диаметра на участке пропорциональных деформаций, см.

В пластичных глинистых грунтах прессиометрическая кривая не имеет предела пропорциональности. Модуль деформации таких грунтов определяют условно в интервале нагрузок, равных I/3–I/4 предела прочности грунта, т.е. P_e усл $= (1/3 \div 1/4)\,P_t$.

При прессиометрических испытаниях сжимаемость пород определяют в направлении параллельном напластованию. Для определения сжимаемости пород в направлении перпендикулярном напластованию, необходимо учитывать коэффициент анизотропии K_A, равный отношению $\frac{E_{перп}}{E_{парал}}$. Коэффициент анизотропии можно определить при проведении компрессионных испытаний грунтов в направлении параллельном и перпендикулярном напластованию.

9.2. Примеры обработки результатов испытаний в связных породах, обладающих сцеплением и трением ($C \neq 0$; $\varphi \neq 0$)

Расчет показателей прочности глинистых пород производится поразному в зависимости от глубины проведения испытаний и, следовательно, от степени влияния поверхности на характер поля напряжений, возникающего в массиве вокруг камеры прессиометра.

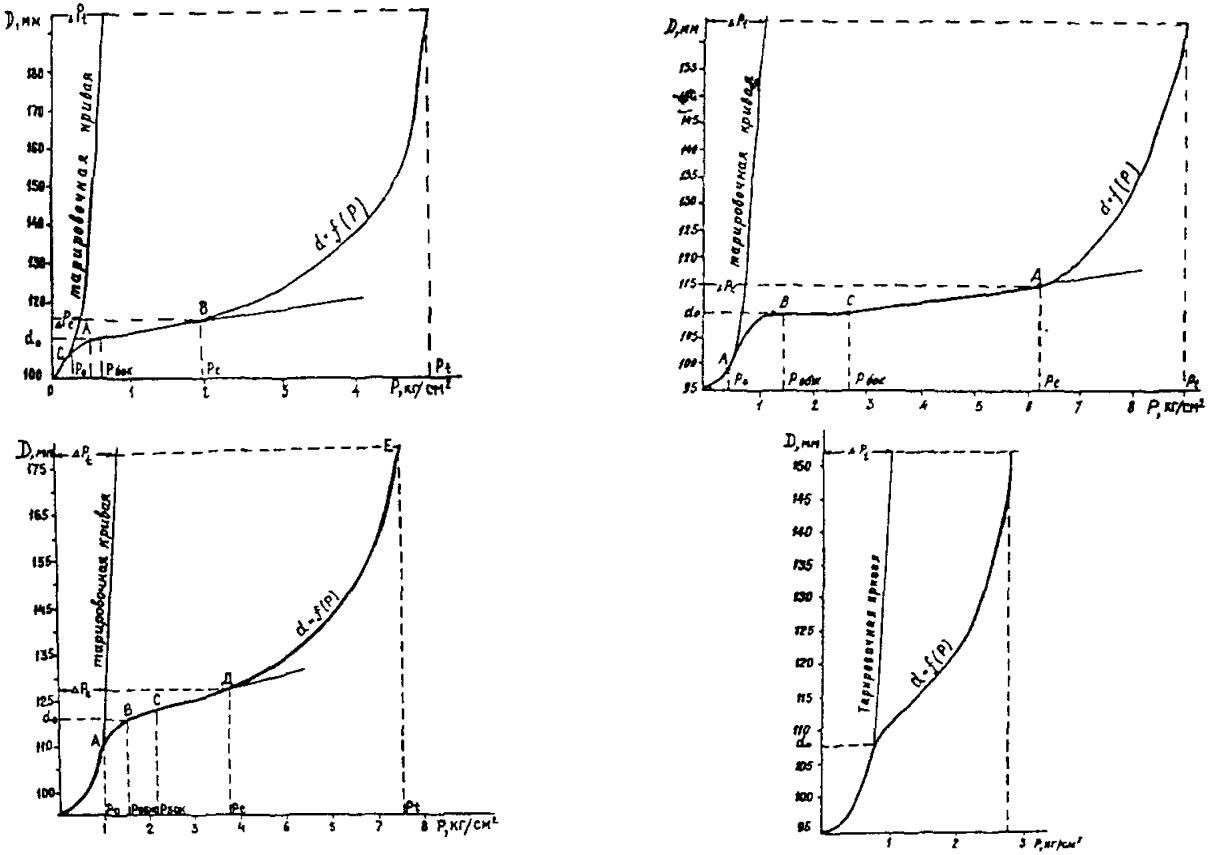


Рис.6. Графики прессиометрических испытаний
а – в покровных суглинках тугопластичной консистенции; б – в мягкопластичных глинах; в – в тугопластичных моренных суглинках; г – в текучих глинах

Ниже рассматриваются примеры обработки графиков прессиометрических испытаний, проведенных на глубинах до 5 и свыше 5 м.

9.2.I. *Глубина проведения опыта выше критической* ($h<5$ м)

Испытания прессиометром проведены в покровных суглинках р-на г.Подольска ($\gamma = 2{,}0$ г/см^3, $w = 30\%$, $B = 0{,}4$).
Глубина проведения опыта I м.

Последовательность обработки материалов следующая.

I. По данным полевых испытаний строят график (рис.6а) зависимости диаметра камеры прессиометра d от давления P $d = f(P)$ и составляют рабочую таблицу (см. табл.8), в которую вносят результаты расчетов.

В колонку I таблицы записывают глубину проведения испытаний $h = I$ м. В колонку 2 вносят значение объемного веса $\gamma = 2$ кг/см^3. В колонку 3 вносят значение бытового давления, определенного по формуле

$$P_{быт} = 0{,}I\,\gamma h = 0{,}I \cdot 2 \cdot I = 0{,}2 \text{ кг/см}^2.$$

2. По прессиометрической кривой определяют предел пропорциональности P_e. Для этого из точки А, отвечающей началу пропорциональных деформаций, проводят касательную к прессиометрической кривой. Точка В, в которой эта кривая расходится с касательной, соответствует давлению предела пропорциональности. Опустив перпендикуляр из точки В на ось давлений, получают величину P_e равную 2 кг/см^2.

3. Суммарную поправку $\sum P_e$ к величине предела пропорциональности определяют сложением величин

$$\sum P_e = P_{обж} + P_{бок} + \Delta P_e .$$

$P_{обж}$ - давление, затрачиваемое на обжатие стенок скважины, определяется отрезком СА, заключенным между участком пропорциональных деформаций АВ и начальным отрезком кривой ОС (точка С является точкой расхождения тарировочной и прессиометрической кривой);

$P_{обж} = 0{,}25$ кг/см^2.

Величину $P_{бок}$ рассчитывают по формуле

$$P_{бок} = \varepsilon P_{быт} .$$

Для суглинков ε - коэффициент бокового давления, который равен 0,5. Тогда

$$P_{бок} = 0{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}I \text{ кг/см}^2.$$

Таблица 8

№ п.п.	Глубина опыта h, м	Объемный вес γ, г/см³	Бытовое давление $P_{быт}$, кг/см²	Предел пропорциональности $P_в$, кг/см²	Поправки к $P_в$, кг/см²: $P_{обж}$	$P_{бок}$	ΔP_e	Суммарная поправка $\sum P_e$, кг/см²	Исправленное значение пропорц. $P_{в\,испр} = P_в - \sum P_e$	$\frac{P_{быт}}{P_{в\,исп}}$	Угол внутреннего трения φ, град	$tg\,\varphi$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
	I,0	2,0	0,2	2	0,25	0,I	0,35	0,7	I,3	0,I54	24°30'	0,45

Предел прочности P_t, кг/см²	Поправки к P_t, кг/см²: $P_{обж}$	$P_{бок}$	ΔP_t	Суммарная поправка к величине P_t $\sum P_t$	Исправленное значение предела прочности $P_{t\,испр} = P_t - \sum P_t$	Сцепление С, кг/см²	Начальный диаметр скважины d_o, см	Приращение диаметра на участке пропорц. деформ. Δd, см	Модуль деформации Е, кг/см²	Приращение давления на участке пропорц. деформац. ΔP, кг/см²
I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24
5,0	0,25	0,I	0,7	I,05	3,95	0,I9	II,4	0,4	57,0	I,5

ΔP_e – поправка на расширение собственно камеры прессиометра при $P = P_e$. Эту поправку определяют по тарировочному графику (см. рис.6,а) $\Delta P_e = 0,35$ кг/см^2.

Суммарная поправка $\sum P_e = 0,25 + 0,1 + 0,35 = 0,7$ кг/см^2.

4. Исправленное значение предела пропорциональности устанавливают по формуле $P_{e\,испр} = P_e - \sum P_e$

$= 2 - 0,7 = 1,3$ кг/см^2.

Находят величину отношения $\frac{P_{быт}}{P_{e\,испр}}$; $P_{быт} = 0,2$ кг/см^2, $P_{e\,испр} = 1,3$ кг/см^2, тогда $\frac{P_{быт}}{P_{e\,испр}} = \frac{0,2}{1,3} = 0,154$.

По номограмме, приведенной на рис.4, по известному отношению $\frac{P_{быт}}{P_{e\,испр}}$ находят величину угла внутреннего трения $\varphi = 24^0 30$ и тангенс $\varphi = 0,45$.

5. Определяют предел прочности грунта P_t , отвечающий последней ступени нагружения, если при этом была получена незатухающая во времени деформация. В рассматриваемом случае $P_t = 5$ кг/см^2.

6. *Вычисляют суммарную поправку к величине предельного давления* $\sum P_t$, которая включает

$\sum P_t = P_{обж} + P_{бок} + \Delta P_t$; $\sum P_t = 0,1 + 0,25 + 0,7 = 1,05$ кг/см^2.

$P_{обж}$ и $P_{бок}$ – поправки, определенные при вычислении исправленного значения предела пропорциональности $P_{e\,испр}$;

$P_{бок} + P_{обж} = 0,1 + 0,25 = 0,35$ кг/см^2.

ΔP_t – поправка на расширение собственно камеры прессиометра при $P = P_t$;

$\Delta P_t = 0,7$ кг/см^2.

7. Исправленное значение предела прочности находят из выражения

$P_{t\,испр} = P_t - \sum P_t$; $P_{t\,испр} = 5 - (0,1+0,25+0,7) = 3,95$ кг/см^2.

8. Величину сцепления определяют из выражения

$$C = \left(\frac{P_{t\,испр}}{P_{e\,испр}} - 1 \right) P_{быт} \operatorname{tg} \varphi ;$$

$$C = \left(\frac{3,95}{1,3} - 1 \right) \cdot 0,2 \cdot 0,45 = 0,19 \text{ кг/см}^2.$$

9. Модуль деформации пород в пределах диапазона ступеней нагружения, соответствующих участку пропорциональных деформаций прессиометрической кривой, вычисляют по формуле Лямэ

$$E = (1 + \mu) d_0 \frac{\Delta P}{\Delta d} ,$$

где μ – коэффициент Пуассона (для суглинков $\mu = 0{,}35$);

d_0 – начальный диаметр скважины; находят по прессиометрической кривой для давления, соответствующего началу участка пропорциональных деформаций; $d_0 = 11{,}4$ см;

ΔP – приращение давления на участке пропорциональных деформаций (в интервале давлений 0,5–2 кг/см^2),

$\Delta P = 2$ кг/см^2 – 0,5 кг/см^2 = 1,5 кг/см^2;

Δd – приращение диаметра скважины на участке пропорциональных деформаций; $\Delta d = 11{,}4$ см – 11,0 см = 0,4 см. В рассматриваемом примере модуль деформации равен

$$E = (1 + 0{,}35) \cdot 11{,}4 \frac{1{,}5}{0{,}4} = 57 \text{ кг/см}^2.$$

9.2.2. Глубина проведения опыта ниже критической (5 м)

При проведении испытаний ниже критической глубины в зависимости от консистенции испытуемых грунтов наблюдаются два основных вида прессиометрических графиков. В мягкопластичных грунтах уплотнение глин начинается сразу же после обжатия прибором стенок скважины. В плотных, тугопластичных грунтах процессу восстановления бокового давления на графике отвечает горизонтальная ступень, предшествующая участку пропорциональных деформаций. В зависимости от вида графиков методы обработки результатов несколько отличаются. Это показано ниже на примерах.

Пример 1. Испытания проведены на глубине 6 м в мягкопластичных (B = 0,57) глинах ($d\rho \sim Q_{\bar{IV}}$), слагающих оползневой склон в р-не г. Хосты. Над 4-метровым слоем пластичных глин с объемным весом $\gamma = 1{,}95$ г/см^3 залегает слой суглинков с объемным весом $\gamma = 2{,}1$ г/см^3.

Последовательность результатов обработки испытаний следующая.

1. По данным полевых испытаний строят график (рис.6б) зависимости диаметра камеры прессиометра от давления в приборе $d = f(P$ и составляют рабочую таблицу (табл.9).

В колонку 1 таблицы записывают глубину проведения испытаний $h = 6$ м.

В колонку 2 таблицы вписывают средневзвешенное значение объемного веса для всей 6-метровой толщи, вычисленное по формуле

$$\gamma_{ср} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2}{h_1 + h_2};$$

Таблица 9

№ п.п.	Глубина h, м	Объемный вес γ, г/см^3	Бытовое давление $P_{быт}$, кг/см^2	Предел пропорцион. P_e, кг/см^2	Поправки к P_e, кг/см^2: $P_{обж}$	$P_{бок}$	P_θ	Суммарная поправка P_e, кг/см^2	Испр. значен. предела пропорцион. $P_{e\,испр}$ $P_e - \xi P_e$	$\frac{P_{быт}}{P_{e\,исп}}$	Угол внутреннего трения φ, град	$tg\varphi$	Предел прочности P_t, кг/см^2	Поправки к величине P_t, кг/см^2: $P_{обж}$	$P_{бок}$	ΔP_t	Суммарная поправка к P_t $\xi P_t - P$	Испр. значение предела прочности $P_{t\,исп}$ $P_t - \xi P_t$	Сцепление С, кг/см^2	Нач. диаметр скважины d_0, см	Приращение диаметра на уч-ке пропор. деформ. Δd, см	Прираш. дав. на уч-ке пропор. деф. ΔP, кг/см^2	Коэф. Пуассона M	Модуль деформации E, кг/см^2
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24
I	6,0	2,0	I,2	3,75	0,5	0,65	I,0	2,I5	I,5	0,8	I5	0,27	7,5	0,5	0,65	I,4	2,55	4,95	0,75	II,4	0,6	2,25	0,35	28,3

$$\gamma_{ср} = \frac{2,1 \times 2 + 1,95 \cdot 4}{6} = \frac{12}{6} = 2 \text{ г/см}^3.$$

Бытовое давление на глубине $h = 6$ м вычисляют по формуле

$$P_{быт} = 0,1 \cdot \gamma \cdot h = 0,1 \cdot 2 \cdot 6 = 1,2 \text{ кг/см}^2.$$

2. По прессиометрическому графику определяют предел пропорциональности P_e. Для этого из точки А, отвечающей началу пропорциональных деформаций, проводят касательную к прессиометрической кривой. Точка В, в которой прессиометрическая кривая расходится с касательной, соответствует давлению предела пропорциональности. Опустив перпендикуляр из точки В на ось давления, получают величину $P_e = 3,75$ кг/см^2.

3. Суммарную поправку к величине предела пропорциональности вычисляют как сумму поправок

$$\sum P_e = P_{обж} + P_{бок} + \Delta P_e ,$$

где $P_{обж}$ – давление, затрачиваемое на обжатие стенок скважины; определяется по прессиометрической кривой и соответствует отрезку АВ, заключенному между участком пропорциональных деформаций ВС и начальным участком кривой, совпадающей с тарировочным графиком ОА; $P_{обж} = 0,5$ кг/см^2;

$P_{бок}$ – боковое давление на глубине проведения опыта $h = 6$ м; рассчитывают его по формуле $P_{бок} = P_{быт}\, \mathcal{E}$;

$\mathcal{E}$ – коэффициент бокового давления, определяемый отношением

$$\mathcal{E} = \frac{\mu}{1-\mu} \quad ; \quad \mathcal{E} = \frac{0,35}{1-0,35} = 0,54.$$

Тогда $P_{бок} = 1,2 \cdot 0,54 = 0,65$ кг/см^2.

ΔP_e – поправка на расширение собственно камеры прессиометра при $P = P_e$; определяется по тарировочной кривой (рис.6,б); $\Delta P_e = 1,0$ кг/см^2.

Суммарная поправка равна

$$\sum P_e = 0,5 + 0,65 + 1,0 = 2,15 \text{ кг/см}^2.$$

4. Исправленное значение предела пропорциональности находят из выражения

$$P_{e\ испр} = P_e - \sum P_e; \qquad P_{e\ испр} = 3,75 - 2,15 = 1,5 \text{ кг/см}^2.$$

Результаты записывают в колонку 9 табл.9

5. По отношению $\frac{P_{быт}}{P_{e\ испр}}$ по графику, приведенному на рис.5, определяют величину угла внутреннего трения. При $\frac{P_{быт}}{P_{e\ испр}} = \frac{1,2}{1,5} =$ $= 0,8$ угол внутреннего трения $\varphi = 15^0$. Значение тангенса угла $\varphi = 15^0$ вписывают в колонку 12 табл.9; $tg\,15^0 = 0,27$.

6. Вычисляют предел прочности P_t, отвечающий ступени нагружения, при которой деформации носят незатухающий характер. В рассматриваемом примере P_t = 7,5 кг/см^2.

7. Определяют общую поправку к величине предела прочности грунта, включающую поправку на обжатие стенок скважины $P_{обж}$, поправку на восстановление бокового давления $P_{бок}$, поправку на расширение собственно камеры прессиометра ΔP_t.

Величины давления обжатия $P_{обж}$ и бокового давления $P_{бок}$ были установлены при вычислении исправленного значения предела пропорциональности.

Поправку на расширение камеры прессиометра при $P = P_t$ определяют по тарировочному графику (см.рис.6,б). В данном случае ΔP_t = I,4 кг/см^2. Суммарная поправка $\sum P_t$ составит: 0,5 + 0,65 + I,4 = 2,55 кг/см^2.

8. Исправленное значение предела прочности вычисляют по формуле

$$P_{t\,испр} = P_t - \sum P_t ;$$

$$P_{t\,испр} = 7,5 - 2,55 = 4,95 \text{ кг/см}^2.$$

9. Величину сцепления находят по уравнению

$$C = \left(\frac{P_{t\,испр}}{P_{e\,испр}} - I \right) \cdot P_{быт} \quad tg\varphi = \left(\frac{4,95}{I,5} - I \right) \cdot I,2 \times 0,27 =$$

$$= 0,75 \text{ кг/см}^2.$$

IO. Для расчета величины модуля общей деформации по формуле Ламэ необходимо определение начального диаметра скважины. Начальный диаметр скважины устанавливают по прессиометрической кривой. Ему на графике $d = f(P)$ соответствует ордината, отвечающая началу участка пропорциональных деформаций (см. рис.6,б). Из точки В опускают перпендикуляр на ось деформации и находят величину d_o; d_o = II,4 см.

II. Определяют приращение диаметра скважины на участке пропорциональных деформаций (на отрезке ВС прессиометрической кривой)

$$\Delta d = I2 - I1,4 = 0,6 \text{ см}.$$

I2. Вычисляют приращение давления на участке пропорциональных деформаций

$$\Delta P = P_e - P_o ; \quad \Delta P = 3,75 - I,5 = 2,25 \text{ кг/см}^2,$$

где P_e – предел пропорциональности равный 3,75 кг/см^2;

P_o – давление, соответствующее началу пропорциональных деформаций, равное I,5 кг/см2.

13. Модуль деформации находят по формуле Ляма

$$E = (1 + \mu)\, d_0 \frac{\Delta P}{\Delta d}\ ;\ E = (1+0{,}35)\ 11{,}4\ \frac{2{,}25}{0{,}6} = 58{,}3\ \text{кг/см}^2.$$

Пример 2. Испытание проведено в плотных тугопластичных моренных суглинках с объемным весом 2,2 г/см^3 на глубине 5,5 м (Подмосковье). Над моренными суглинками залегает 2-метровая толща ледниковых супесей с объемным весом 1,95 г/см^3. При обработке прессиометрических кривых соблюдается следующая последовательность.

1. По данным полевых испытаний строят график зависимости (рис.6,в) диаметра камеры прессиометра d от давления в приборе $d = f(P)$ и составляют рабочую таблицу (табл.10), которую заполняют в процессе вычислений показателей прочности и деформируемости.

В колонку 2 таблицы заносят глубину проведения испытаний $h = 5{,}5$ м.

В колонку 3 таблицы записывают средневзвешенное значение объемного веса:

$$\gamma_{ср} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2}{h}\ ;\ \gamma_{ср} = \frac{2{,}2 \cdot 3{,}5 + 1{,}95 \cdot 2}{5{,}5} = \frac{7{,}7 + 3{,}9}{5{,}5} = 2{,}1\ \text{г/см}^3.$$

Бытовое давление на глубине 5,5 м составит

$$P_{\text{быт}} = 0{,}1 \times 5{,}5 \times 2{,}1 = 1{,}15\ \text{кг/см}^2.$$

2. По прессиометрической кривой определяют предел пропорциональности P_e. Для этого из точки А, отвечающей началу пропорциональных деформаций, проводят касательную к прессиометрической кривой. Точка В, в которой прессиометрическая кривая расходится с касательной, соответствует давлению предела пропорциональности $P_e = 6{,}25$ кг/см^2.

3. Суммарную поправку к величине предела пропорциональности находят суммированием

$$\sum P_e = P_{\text{обж}} + P_{\text{бок}} + \Delta P_e,$$

где $P_{\text{обж}}$ – давление, затрачиваемое на обжатие стенок скважины, нарушенных в процессе бурения; $P_{\text{обж}}$ определяют по прессиометрической кривой (см. рис.6,в); оно соответствует отрезку АВ; в рассматриваемом примере $P_{\text{обж}} = 1{,}5 - 0{,}5 = 1$ кг/см^2;

$P_{\text{бок}}$ – боковое давление на глубине проведения опыта; при наличии горизонтальной площадки на прессиометрической кривой, отвечающей восстановлению природного бокового давления, величину $P_{\text{бок}}$ определяют по графику прессиометрических испытаний (см. рис.6,в); $P_{\text{бок}} = BC = 2{,}75 - 1{,}5 = 1{,}2$ кг/см^2;

ΔP_e – поправку на расширение собственно камеры прессиометра при увеличении давления от 0 до $P = P_e$ находят по тарировочному графику (см.рис.6,в), $\Delta P_e = 0{,}8$ кг/см^2.

Численное значение суммарной поправки к величине предела пропорциональности составит

$$\sum P_e = 1 + 1{,}2 + 0{,}8 = 3 \text{ кг/см}^2.$$

4. Исправленное значение предела пропорциональности вычисляют по разности

$P_{e\,испр} = P_e - \sum P_e$; испр = 6,35 кг/см^2 – 3 кг/см^2 = 3,35 кг/см^2.

5. Для отношения $\frac{P_{быт}}{P_{e\,испр}}$ по номограмме (см.рис.5) определяют угол внутреннего трения.

При $\frac{P_{быт}}{P_{e\,испр}} = \frac{1{,}15}{3{,}35} = 0{,}3$; $\varphi = 23^0 30'$, $tg\,\varphi = 0{,}398$.

6. Устанавливают предел прочности, отвечающий последней ступени нагружения, если опыт доведен до конца в соответствии с требованиями раздела 8. В рассматриваемом случае $P_t = 9$ кг/см^2.

7. Находят поправку к величине предела прочности $\sum P_t$, который заключает в себе ранее определенные величины $P_{обж} = 1{,}0$ кг/см^2 и $P_{бок} = 1{,}2$ кг/см^2 (колонки 6,7 табл. 10), а также поправку ΔP_t на расширение собственно камеры прессиометра при увеличении давления от P = 0 до P = P_t (см.рис.6,в); $\Delta P_t = 1{,}15$ кг/см^2,

$P_{t\,испр} = P_t - \sum P_t$; $P_{t\,испр} = 1$ кг/см^2 + 1,2 кг/см^2 + 1,15 кг/см^2 = 3,35 кг/см^2.

8. Исправленное значение величины предела прочности определяют по формуле

$P_{t\,испр} = P_t - \sum P_t$; $P_t = 9 - 3{,}35 = 5{,}65$ кг/см^2.

9. Получив исправленные значения $P_{e\,испр}$, $P_{t\,испр}$, а также величину $P_{быт}$ и угол внутреннего трения, рассчитывают величину сцепления пород по формуле

$$C = \left(\frac{P_{t\,испр}}{P_{e\,испр}} - 1\right) P_{быт} \cdot tg\,\varphi = \left(\frac{5{,}65}{3{,}35} - 1\right) \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}4 =$$

$= 0{,}32$ кг/см^2.

10. Для расчета величины модуля общей деформации необходимо знать начальный диаметр скважины – d_0. Его определяют по прессиометрической кривой (см. рис.6,в). Величина d_0 равна ординате, отвечающей началу пропорциональных деформаций. В рассматриваемом случае $d_0 = 11$ см.

Таблица IO

№ п.п.	Глубина, h м	Объемный вес γ, г/см³	Бытовое давление $P_{быт}$, кг/см²	Предел пропорциональн. $P_в$, кг/см²	Поправки к величине $P_в$, кг/см²: $P_{обж}$	$P_{бок}$	$\Delta P_в$	Суммарная поправка к $P_в$, $\xi P_в$, кг/см²	Исправленное значение $P_в$ испр	$\frac{P_{быт}}{P_в испр}$	Угол внутреннего трения φ, град.	$tg\varphi$	Предел прочности P_t, кг/см²	Поправки к величине P_t, кг/см²: $P_{обж}$	$P_{бок}$	ΔP_t	Суммарная поправка ξP_t, кг/см²	Исправленное значение P_t испр	Сцепление С, кг/см²	Начальный диаметр скважины d_o, см	Прирщ. диам. на участке пропорц. деформации Δd, см	Приращение давления на участке пропорц. деформации ΔP, кг/см²	Модуль деформации Е, кг/см²
I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24
I	5,5	2,I	I,I5	6,25	I,0	I,2	0,8	3,0	3,3	0,8	23°30′	0,398	9,0	I,0	I,2	I,I5	3,35	5,65	0,82	II,0	0,5	3,5	I04

Таблица II

№ п.п.	Глубина h, м	Объемный вес γ, г/см³	Бытовое давление $P_{быт}$, кг/см²	Предел прочности P_t, кг/см²	Поправки к P_t, кг/см²: $P_{обж}$	$P_{бок}$	ΔP_t	Суммарная поправка ξP_t, кг/см²	Исправленное значение предела прочности P_t испр	Сцепление C_2 кг/см²	Начальн. диаметр скважины d_o, см	Приращение диаметра Δd, см	Приращение давления ΔP, кг/см²	Модуль деформации Е, кг/см²
I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II	I2	I3	I4	I5
I	8	2,0	0,6	2,75	0,2	0,4	I,0	I,6	I,I5	0,86	II,0	0,7	0,4	I0

II. Приращение диаметра скважины на участке пропорциональных деформаций вычисляют по прессиометрической кривой (см. рис.6,в), $\Delta d = 0,5$ см.

I2. Рассчитывают приращение давления на участке пропорциональных деформаций, в данном случае оно составит $\Delta P = 3,5$ кг/см^2.

I3. Модуль деформации подсчитывают по формуле

$$E = (1+\mu)\, d_0 \frac{\Delta P}{\Delta d}\ ;\ E = (1+0,35)\ 11 \cdot \frac{3,5}{0,5} = 104 \text{ кг/см}^2.$$

9.3. Пример обработки результатов прессиометрических испытаний в глинах, обладающих только сцеплением ($\varphi = 0$)

Испытания проведены на глубине 3 м в текучепластичных аллювиальных глинах (B = 0.75) с объемным весом γ2 г/см^3. Последовательность обработки результатов испытаний следующая.

I. Прессиометрическая кривая для рассматриваемого примера приведена на рис.6,г.Как и в предыдущем примере составлена рабочая таблица (табл.II).

2. В первую колонку рабочей таблицы (см.табл.II) записывают глубину проведения опыта $h = 3$ м. Во вторую колонку вносят значение объемного веса $\gamma = 2$ г/см^3. В третью колонку вписывают величину бытового давления, определенного по формуле

$$P_{\text{быт}} = 0,1\gamma h\ ;\ P_{\text{быт}} = 0,1 \cdot 2 \cdot 3 = 0,6 \text{ кг/см}^2.$$

3. По прессиометрической кривой (рис.6,г) определяют величину предела прочности $P_t = 2,75$ кг/см^2.

4. Вычисляют суммарную поправку к величине предела прочности ξP_t, которая включает:

- поправку на обжатие стенок скважины, нарушенных в процессе бурения $P_{\text{обж}} = 0,2$ кг/см^2;
- поправку на восстановление природного бокового давления $P_{\text{бок}} = 0,1 \cdot \gamma \cdot h = 0,4$ кг/см^2;
- поправку на расширение собственно камеры прессиометра при $P = P_t$; $\Delta P_t = 1,0$ кг/см^2.

5. Исправленное значение предела прочности $P_{t\ \text{испр}}$ находят по формуле

$$P_{t\ испр} = P_t - \xi P_t\ ;$$

$$P_{t\ \text{испр}} = 2,75 - 1,6 = 1,15 \text{ кг/см}^2.$$

6. Сцепление вычисляют по формуле

$$C = \frac{P_{t\ испр}}{2\sqrt{}} = \frac{1,15}{3,14} = 0,36 \text{ кг/см}^2.$$

7. Поскольку в глинистых грунтах, обладающих только сцеплением, прессиометрическая кривая не имеет предела пропорциональности ($P_t = 0$), то определяют условный модуль деформации таких грунтов в интервале нагрузок от 0 до I/3 - I/4 P_t. Приращение давления ΔP в этом случае составит 0,4 кг/см^2.

Приращение диаметра скважины на условном отрезке пропорциональных деформаций составит II,7 - II,0 = 0,7 см.

8. Величину модуля деформации вычисляют по формуле

$$E = (1 + \mu) d_0 \frac{\Delta P}{\Delta d};$$

$$E_{усл} = 1{,}42 \cdot 11 \cdot \frac{0{,}4}{0{,}7} \approx 10 \text{ кг/см}^2.$$

10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

В зависимости от состояния опробуемых пород прессиометрические испытания могут осуществляться как во время проходки скважин, так и после полного завершения бурения.

В целях предотвращения несчастных случаев в процессе бурения скважин и во время проведения прессиометрических испытаний необходимо ознакомление всех работающих с правилами техники безопасности. Все вновь поступающие рабочие обязательно проходят производственный инструктаж по технике безопасности и десятидневную стажировку под руководством опытного инженера, хорошо знающего правила безопасности ведения этих работ. Ведение буровых и прессиометрических испытаний должно точно соответствовать инструкциям.

Работы на буровых станках должны проводиться с соблюдением специальных правил техники безопасности, установленных для каждого типа буровых станков.

Правила техники безопасности при проведении прессиометрических испытаний включают в себя следующие положения:

I. В бригаду, производящую прессиометрические испытания, должны входить инженер (техник) и рабочий. Члены бригады занимают следующие места:

инженер (техник) - у измерительного блока прессиометра (руководит прессиометрическими испытаниями, работами, а также выполняет измерительные и счетно-вычислительные операции);

рабочий - у лебедки (производит спуско-подъемные операции).

2. В целях исключения взрыва баллона с воздухом запрещается:

а) подавать избыточное давление,

б) бросать баллоны,

в) работать при температуре свыше 35°С,

г) находиться напротив вентиля баллона лицам, присутствующим при испытаниях.

3. Наполнение баллонов воздухом может производить инженер или техник, обязательно выполняя при этом все требования "Правил устройства безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением".

4. Устанавливать прибор в рабочее положение можно только после тщательного осмотра и проверки исправности всех его частей.

5. При установке прибора устье скважины должно быть закрыто деревянным щитком.

6. Во избежание прихвата снаряда во время спуско-подъемных операций необходимо прибор устанавливать строго вертикально.

7. За стальной трос во время подъема или опускания снаряда нельзя браться руками без рукавиц.

8. Запрещается всем присутствующим на испытании во время проведения опыта склоняться над устьем скважины.

9. Инженерно-технический персонал и общественные организации должны систематически наблюдать за строгим соблюдением правил техники безопасности.

При их нарушении ответственность несут во время своей рабочей смены буровой мастер, а на площадке прессиометрических испытаний - инженер.

10. Для оказания медицинской помощи пострадавшим каждая бригада должна иметь аптечку с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств.

gost.e-ecolog.ru