



# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ. ЭЛЕКТРО-ВОЗДУШНЫЙ ПРЕССИОМЕТР ПЭВ-89МК

У большинства изыскателей сохранилось устаревшее представление о прессиометрах, сложившееся в то время, когда прессиометры были недостаточно надёжными. Оболочки были непрочными и часто разрывались, оборудование имело большой вес, при испытаниях результаты приходилось записывать в журнал, а сам опыт требовал постоянного контроля и участия оператора. Сейчас многое изменилось.

В ПО контроллера ТЕСТ-ПРК содержатся все требования ГОСТ 20276-99 и исполнителю для корректного выбора нагрузочных и временных параметров опыта достаточно указать вид грунта, глубину и режим испытания.

Если вспомнить историю развития прессиометрии в России, то можно назвать десятки имён известных специалистов и учёных, участвовавших в разработке данного метода, причём, по некоторым данным, именно отечественным учёным принадлежит приоритет в использовании прессиометрического метода испытаний грунтов (А. Ктаторов, Н. Цилюрик).

Наибольшее развитие прессиометрический метод в России получил в 60-80-е годы. В этот период было разработано много конструкций прессиометров, которые широко использовались в изыскательской практике. Большое внимание уделялось теоретическому обоснованию метода, проводились совещания и конференции, готовились к защите диссертации. Расширялась область практического использования прессиометров для специфических условий, в частности, для просадочных, мёрзлых и слабых структурно-неустойчивых грунтов. Проводились испытания на больших глубинах.

Развитие отечественной прессиометрии закончилось в середине 90-х годов. С тех пор новые приборы и методики не разрабатывались, было утеряно многое из сделанного ранее.

Современные тенденции в строительстве, увеличение нагрузок на фундаменты, повышение плотности застройки и использование в качестве оснований слабых грунтов предполагают использование надёжных расчётных характеристик при проектировании фундаментов. Общеизвестно, что получить такие достоверные оценки свойств грунтов при проведении инженерно-геологических изысканий можно лишь при широком использовании, наряду с лабораторными исследованиями, различных полевых методов испытаний, в том числе и прессиометрии.

## ЕВГЕНИЙ ПЫЛАЕВ

директор ЗАО «Геотест»,

## АЛЕКСЕЙ ЗЮЗИН

инженер, зам. директора  
ЗАО «Геотест»

## Нормативная база

Целью испытания грунтов прессиометрами – определение модуля деформации песчаных, глинистых и органо-минеральных грунтов. Методика испытаний и требования к оборудованию регламентированы ГОСТ 20276-99 «ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости».

Сущность метода состоит в радиальном нагружении участка скважины равномерным давлением и измерении деформаций грунта. К основным достоинствам метода следует отнести компактность оборудования, т.к. при радиальном нагружении скважины происходит компенсация реактивных усилий.

Методика ГОСТ 20276-99 предполагает ступенчатое нагружение стенок скважины возрастающим радиальным давлением и выдержку давления на ступени до «условной стабилизации» в течение определённого времени, зависящего от вида грунта и режима испытаний. По результатам испытаний строится график «Давление – перемещение».

Модуль деформации грунта, определённый по результатам испытаний в «быстром» режиме, может использоваться при проектировании оснований и фундаментов сооружений II и III уровней ответственности, для сооружений I уровня рекомендуется проводить испытания по «медленному» режиму.

ГОСТ 20276-99 регламентирует следующие основные конструктивные параметры радиальных



Рис. 1. Прессиометр ПЭВ-89МК.

прессиометров: внешний диаметр зонда от 76 до 127 мм, длина камеры зонда не менее 4-х диаметров, точность измерения давления не менее 5 % от величины ступени нагрузки, погрешность измерения радиальных перемещений не менее 0.1 мм, в пределах 1,5-кратного изменения начального диаметра скважины.

Испытания выполняют в буровых скважинах, причём для сохранения природного напряжённого состояния слабых грунтов рекомендуется бурение скважин под защитой тяжёлых растворов или использование самозабуривающихся прессиометров, которые для российских специалистов представляют в основном теоретический интерес.

При устойчивых стенках скважины допускается проведение испытаний без сохранения природного напряжённого состояния, но при обязательном сохранении природного сложения грунта. Диаметр скважины для испытания не должен превышать диаметр зонда прессиометра более, чем на 10 мм.

В реальных условиях прессиометрические испытания проводят в основном в устойчивых грунтах на небольших глубинах (до 15 метров). В таких условиях при выполнении требований к подготовке скважины, следуя методике проведения испытаний, как правило, получают надёжные результаты.

Требование ГОСТ 20276-99 о сохранении природного напряжённого состояния существенно сужает область метода, т.к. интерес представляет и изучение деформационных свойств слабых водо-насыщенных и структурно-неустойчивых грунтов, которые часто используются в качестве оснований сооружений.

#### **Конструкция прессиометра ПЭВ-89МК и технические характеристики**

В качестве прототипа при разработке прессиометра ПЭВ-89МК использовался прессиометр ПЭВ-89 конструкции Уральского политехнического института. Общий вид прессиометра ПЭВ-89МК показан на рисунке 1.

Прессиометр состоит из четырёх основных разъёмных узлов: зонда с пневмомагистралью, манометрической головки с редуктором, ресивера с манометром и измерительного прибора (контроллера) ТЕСТ-ПРК.

Зонд прессиометра имеет прочную эластичную полиуретановую оболочку толщиной 6 мм, внутри зонда в пределах средней трети размещено шесть индуктивных датчиков перемещений. Зонд соединён с пневмомагистралью диаметром 16 мм, которая заканчивается присоединительным элементом с электрическим датчиком давления и разъёмами для подключе-

ния манометрической головки и измерительного прибора.

Манометрическая головка имеет образцовый манометр для контроля давления в зонде, редукционный клапан для задания и поддержания давления на ступени, быстроразъёмные соединения для пневмомагистральной зонда и ресивера.

Ресивер имеет штуцер для закачивания воздуха и манометр для контроля давления. Он присоединяется к манометрической головке посредством быстроразъёмного соединения.

Измерительный прибор (контроллер) ТЕСТ-ПРК предназначен для индикации, анализа и сохранения опытных данных. Питание контроллера осуществляется от бортовой сети автомашины или отдельного аккумулятора напряжением – 12 вольт.

Дополнение нагрузочной системы редукционным клапаном и ресивером существенно упрощает проведение опыта, т.к. во время выдержки на ступени давление поддерживается на одном уровне без дополнительной подкачки, а использование измерительного прибора с функциями сохранения и анализа результатов позволяет вести выдержку на ступени до выполнения критерия стабилизации без участия оператора.

В состав прессиометрического комплекта также входят: контрольная труба диаметром 95 мм; буровой стакан диаметром 89 мм для калибровки скважины на отметке установки прессиометра или ручного бурения скважины для испытаний; программа «PRESS. PW. MA» для обработки результатов.

Тарировка прессиометра выполняется предприятием-изготовителем и в дальнейшем при эксплуатации прессиометра выполняются лишь контрольные испытания, с целью проверки герметичности нагрузочной системы и работоспособности измерительного тракта.

Для этого зонд прессиометра помещают в контрольную трубу, в зонде создают заданное давление, которое измеряется электрическим манометром, и снимают соответствующие контрольные



Приложение	А
Лист №	17

### Паспорт прессиометрического опыта

Объект: Автосалон с паркингом

Опыт: 11

Дата проведения опыта: 25.06.2006

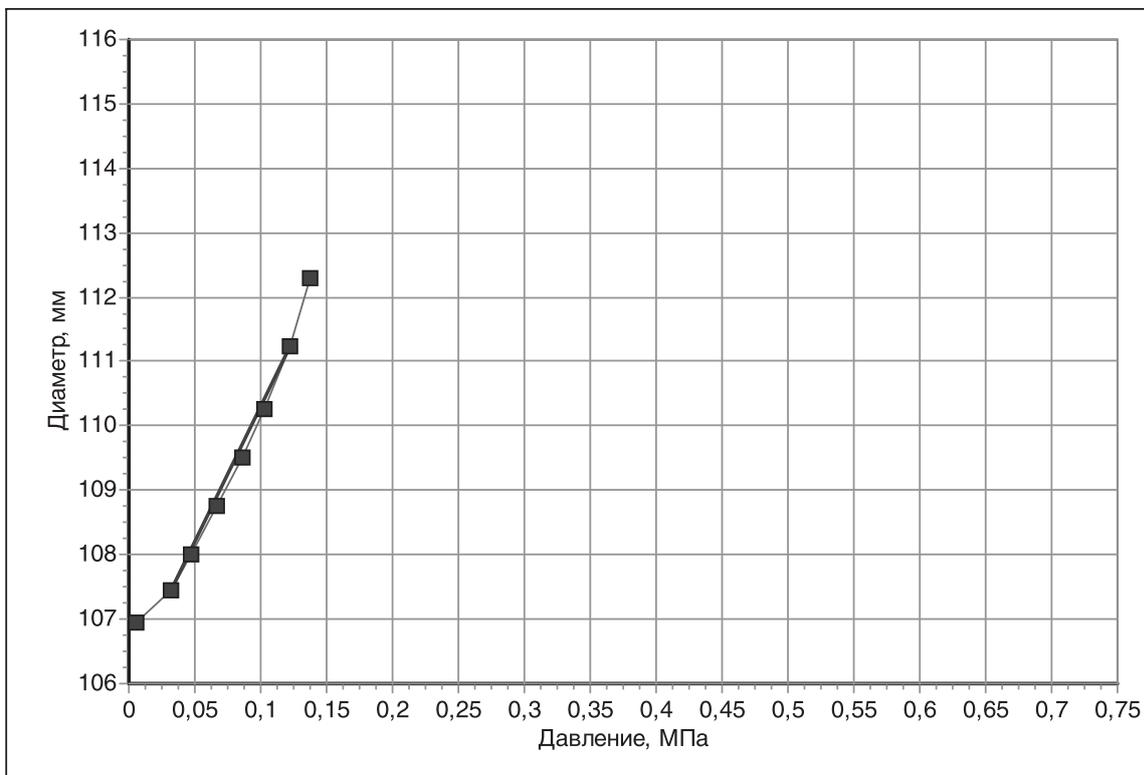
Привязка: По плану... 10

Идентификатор комплекта: 2 - ПЭВ-89МК

#### Условия опыта :

Глубина испытания, м	1,00	Время усл. стабилизации, мин	6
Режим испытания	Быстрый	Интервал отсчетов, мин	2
Вид грунта	Суглинок	Схема нагружения	Нагрузка
Начальная ступень, кПа	130	Шаг нагружения, кПа	20,0

#### График прессиометрического опыта :



Описание грунта: Суглинок эллювиальный буровато-желтый, полутвердый с прослойками супеси, ИГЭ №2.

#### Результаты расчета:

Корректирующий коэффициент по ГОСТ 20276-99 (прил. И) Kr: 3

Расчетные значения параметров	$D_i$ , мм	$\Delta d$ , мм	$\Delta p$ , МПа	E, МПа
Нагрузка	107,44	3,80	0,09	7,70
Разгрузка	-	-	-	-

Исполнитель :	Башкирцов А.Б.
Проверил :	Пылаев Е.Л.

25.09.2006	ЗАО "Геотест"	Стр. 1
------------	---------------	--------

Рис. 2а. Паспорт опыта.



Приложение	А
Лист №	17

### Протокол прессиометрического опыта

**Объект:** Автосалон с паркингом

**Опыт:** 11

**Дата проведения опыта:** 25.06.2006

**Привязка:** По плану... 10

**Идентификатор комплекта:** 2 - ПЭВ-89МК

#### *Опытные данные*

Шаг	Время	P, кПа	D, мм	ΔD, мм	Ks, мм
Ступень : 1 - (11:28:37)					
1	0:00:00	131,0	106,84	0,00	
2	0:02:00	130,0	106,92	0,08	
3	0:04:00	130,0	106,94	0,02	
4	0:06:00	130,0	106,96	0,02	0,12
Ступень : 2 - (11:35:07)					
1	0:00:00	153,0	107,34	0,00	
2	0:02:00	157,0	107,49	0,15	
3	0:04:00	156,0	107,47	0,03	
4	0:06:00	156,0	107,44	0,01	0,10
Ступень : 3 - (11:41:38)					
1	0:00:00	171,0	107,84	0,00	
2	0:02:00	171,0	107,93	0,09	
3	0:04:00	171,0	107,97	0,04	
4	0:06:00	172,0	108,00	0,03	0,16
Ступень : 4 - (11:48:12)					
1	0:00:00	192,0	108,51	0,00	
2	0:02:00	193,0	108,69	0,18	
3	0:04:00	193,0	108,73	0,04	
4	0:06:00	193,0	108,76	0,03	
5	0:08:00	192,0	108,76	0,00	0,07
Ступень : 5 - (11:56:35)					
1	0:00:00	212,0	109,22	0,00	
2	0:02:00	212,0	109,43	0,21	
3	0:04:00	212,0	109,47	0,04	
4	0:06:00	212,0	109,50	0,03	
5	0:08:00	212,0	109,52	0,02	0,09
Ступень : 6 - (12:04:50)					
1	0:00:00	230,0	109,94	0,00	
2	0:02:00	231,0	110,15	0,21	
3	0:04:00	231,0	110,21	0,06	
4	0:06:00	231,0	110,24	0,03	
5	0:08:00	230,0	110,26	0,02	0,11
Ступень : 7 - (12:13:14)					
1	0:00:00	251,0	110,76	0,00	
2	0:02:00	252,0	111,10	0,34	
3	0:04:00	252,0	111,17	0,07	
4	0:06:00	252,0	111,20	0,03	
5	0:08:00	252,0	111,24	0,04	0,14
Ступень : 8 - (12:21:34)					
1	0:00:00	273,0	111,79	0,00	
2	0:02:00	272,0	112,14	0,35	
3	0:04:00	272,0	112,21	0,07	

P, кПа – давление в зонде без учета поправок на растяжение оболочки;

D, мм – диаметр скважины;

ΔD, мм – приращение диаметра скважины за один интервал отсчетов;

Ks, мм – приращение диаметра скважины за время условной стабилизации.

Исполнитель:	Башкирцов А.Б.	
Проверил:	Пылаев Е.Л.	

25.09.2006	ЗАО "Геотест"	Стр. 2
------------	---------------	--------

**Рис. 26. Протокол испытания.**



Приложение	А
Лист №	17

### Развитие деформаций во времени

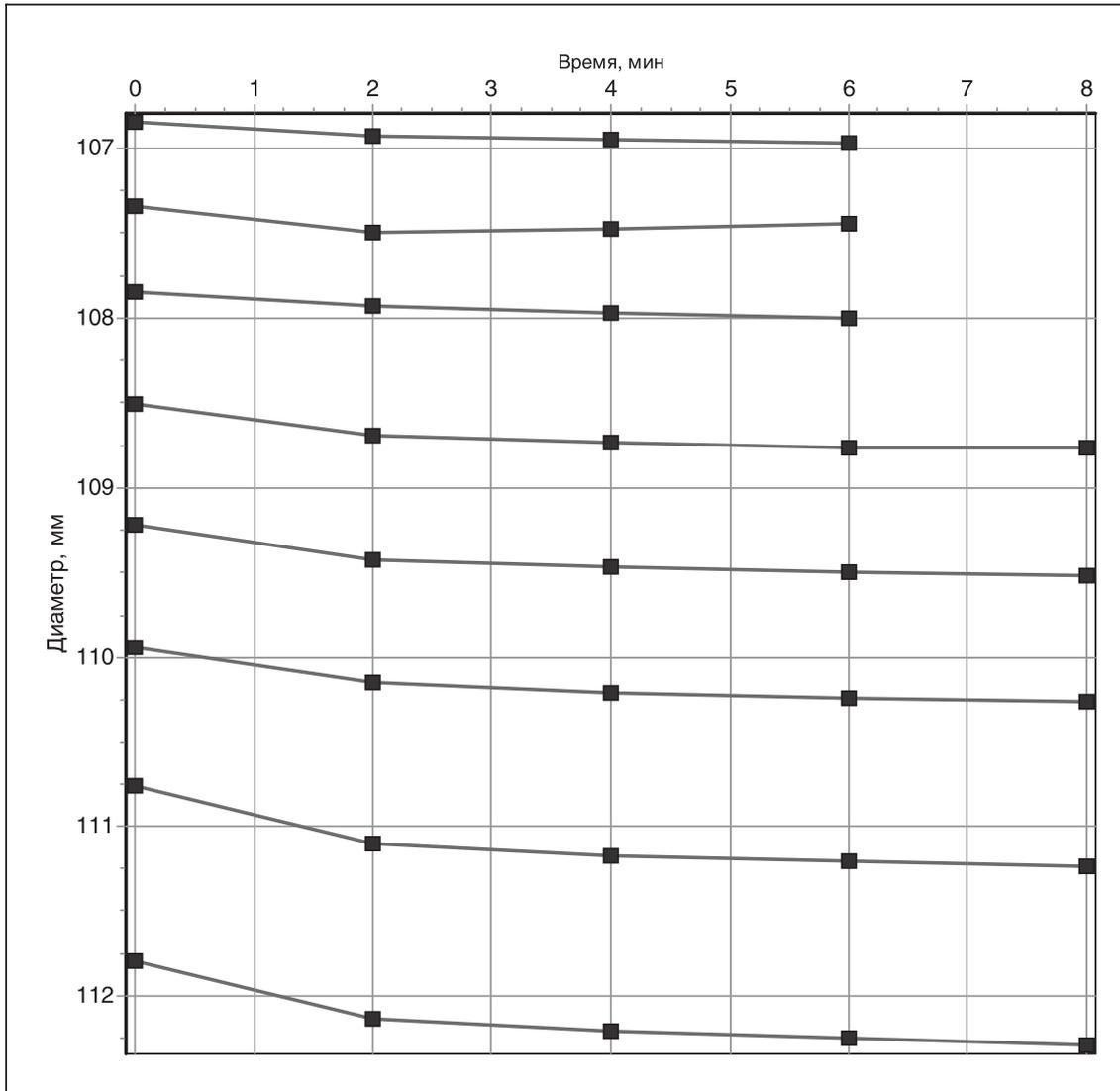
Объект: Автосалон с паркингом

Опыт: 11

Дата проведения опыта: 25.06.2006

Привязка: По плану... 10

Идентификатор комплекта: 2 - ПЭВ-89МК



Исполнитель:	Башкирцов А.Б.	
Проверил:	Пылаев Е.Л.	

25.09.2006	ЗАО "Геотест"	Стр. 4
------------	---------------	--------

Рис. 2в. Развитие деформаций на ступенях.



**Основные технические характеристики прессиометра ПЭВ-89МК**

Диаметр зонда прессиометра:	
минимальный, мм	89
максимальный, мм	120
Длина рабочей части зонда, мм	600
Система создания давления	пневматическая
Максимальное давление на грунт, МПа	1.0
Диаметр опытной скважины, мм	90-100
Предельная глубина испытания, м	30
Система измерения перемещений	электрическая
Индикация результатов	цифровая
Объём памяти для сохранения опытных данных	32 кБ
Интерфейс передачи данных в ПК	RS-232
Питание измерительного прибора	9-18 В
Точность измерения перемещений, не менее	0,1 мм
Манометр кл. точности 0.4	1,0 МПа
Температурный диапазон	от -10 до 30 °С
Общая масса прессиометра	33 кг

показания датчиков перемещений и давления.

Отметим, что надёжность измерительного тракта достаточно высокая, а герметичность пневматической системы обеспечивается фитингами фирмы SAMOZZI, поэтому контрольные испытания следует проводить 1 раз в квартал или при серьёзных дефектах, таких как прокол оболочки или обрыв датчиков перемещений.

**Методика проведения опыта и обработка результатов**

Перед началом опыта в ресивер автомобильным насосом, или другим способом закачивают воздух. В контроллер вводят исходные данные опыта: номер, вид грунта, глубина испытания, схема нагружения и выбирается режим проведения испытаний. Испытания можно проводить по быстрому или медленному режиму.

После установки прессиометра на отметку испытания посредством троса, и задания исходных данных, оператор задаёт первую ступень давления, предложенную контроллером и проверяет начальный диаметр скважины, при диаметре меньше 100 мм, оператор сохраняет исходные данные и запускает программу выполнения опыта.

Контроллер начинает анализ и сохранение опытных данных с заданным интервалом времени. При выполнении критерия стабилизации контроллер подаёт звуковой сигнал и оператор задаёт следующую ступень нагрузки и так далее, до завершения опыта, если не предусмотрен режим разгрузки. В памяти контроллера возможно сох-

ранение данных нескольких десятков опытов.

После завершения испытаний опытные данные передаются в компьютер для последующей обработки и сохраняются в базе внешней программы. Вместе с опытными данными в компьютер передаются и результаты тарировки прессиометра, зашитые в ПО контроллера.

При обработке результатов возможна генерация отчётов (рис. 2):

Паспорт прессиометрического опыта с результатами расчёта модуля деформации грунта; протокол прессиометрического испытания (в режиме реального времени) для контроля проведения опыта; график развития деформаций на ступенях.

Важно, что ввести опытные данные в программу обработки можно только из контроллера, поэтому всегда можно проверить корректность проведения опыта. Работа с прессиометром ПЭВ-89МК не требует высокой квалификации исполнителя, т.к. все параметры для проведения испытания подсказываются контроллером, и основная задача оператора состоит в том, чтобы правильно установить прессиометр на отметке и далее лишь следовать рекомендациям программы контроллера.

**Дополнительные возможности испытаний грунтов прессиометром ПЭВ-89МК**

Фактическая разрешающая способность прессиометра ПЭВ-89МК при измерении деформаций составляет 0.01мм, поэтому при проведении испытаний существует реальная возможность сокращения времени проведения опыта в

соответствии с Приложением 2 к Таблице 6.1. ГОСТ-20276-99.

В ПО контроллера ТЕСТ-ПРК в некоторых версиях предусмотрена возможность проведения испытаний по «медленному» и «быстрому» режимам с дополнительным критерием стабилизации 0.05 мм, при использовании которого, время условной стабилизации, предложенное в Таблице 6.1. ГОСТ 20276-99 можно сократить в четыре раза по сравнению с критерием 0.2 мм (при измерении приращения диаметра скважины).

Более того, при выполнении испытания по «медленному» режиму, при любом критерии (0.2 или 0.05), контроллер позволяет в процессе испытания отследить выполнение соответствующих критериев для «быстрого» режима испытаний и при обработке результатов получить дополнительный коэффициент Krt (п.6.5.4., ГОСТ 20276-99).

Перспективными выглядят и методики проведения испытаний в режиме «релаксации» (падение давления при выдержке на ступени), которые также могут быть реализованы при работе с прессиометром ПЭВ-89МК и позволяют существенно сократить время испытания.

В настоящее время представляется целесообразным переход на «быстрые» методики испытаний, которые более правильно отражают суть прессиометрии, как экспресс-метода оценки сжимаемости грунтов, тем более что ГОСТ 20276-99 предполагает обязательную корректировку прессиометрического модуля деформации по результатам штамповых испытаний. 