

# О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ НАЦИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА «КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ С ИЗМЕРЕНИЕМ БОКОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ»

## ON EXPEDIENCE OF DEVELOPING A NATIONAL STANDARD OF «COMPRESSION SOIL TESTING WITH MEASUREMENT OF LATERAL STRESSES»

**БОЛДЫРЕВ Г.Г.**

Профессор Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, директор по науке и инновациям  
ООО «НПП «Геотек»», д.т.н., г. Пенза, g-boldyrev@geotek.ru

**СКОПИНЦЕВ Д.Г.**

Инженер ООО «НПП «Геотек»», г. Пенза, info@geotek.ru

**BOLDYREV G.G.**

Professor of Penza State University of Architecture and Construction, director for research and innovation of the «NPP «Geotek»» LLC, Penza, g-boldyrev@geotek.ru

**SKOPINTSEV D.G.**

Engineer of the «NPP «Geotek»» LLC, Penza, info@geotek.ru

### Ключевые слова:

компрессионные испытания грунтов; одометр; боковые напряжения; модуль деформации; коэффициент бокового давления; коэффициент Пуассона; угол внутреннего трения.

### Key words:

compression soil testing; oedometer; lateral stresses; deformation modulus; lateral pressure coefficient; Poisson ratio; angle of internal friction.

### Аннотация

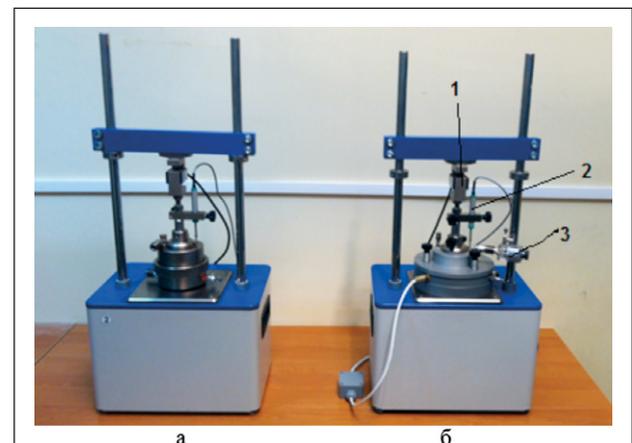
**В статье рассмотрен новый метод испытаний грунтов в одометре с измерением боковых напряжений. Показаны его преимущества по сравнению со стандартным методом испытаний по ГОСТ 12248-2012. В связи с этим отмечена необходимость разработки нового стандарта.**

Метод испытаний дисперсных грунтов в условиях компрессионного сжатия, или одномерной деформации, был предложен в начале XX столетия австрийским ученым К. Терцаги [8]. Он используется и в настоящее время, включен во все иностранные стандарты и в российский ГОСТ 12248-2010 [3]. Испытания этим методом проводятся в компрессионном приборе, который представляет собой устройство силового нагружения с одометром (рис. 1, а). Конструкция одометра была предложена К. Терцаги и используется с некоторыми модификациями до настоящего времени (рис. 2, а).

Испытания грунтов по ГОСТ 12248-2010 проводятся с использованием двух режимов силового на-

### Abstract

**The article considers a new method of soil testing in oedometer with measurement of lateral stresses. Its advantages in comparison with the standard test method by the GOST 12248-2012 are shown. In this regard the need of development of a new standard is noted.**



**Рис. 1.** Виды компрессионных приборов: а — стандартный с одометром Терцаги; б — с одометром разработки ООО «НПП «Геотек»». 1 — внешний датчик силы; 2 — датчик вертикального перемещения; 3 — датчик порового давления



гружения — с использованием статического (кПа) или кинематического (непрерывного) нагружения (мм/мин.). Продолжительность испытаний для песчаных грунтов составляет несколько часов (менее суток), а для глинистых — от нескольких суток до нескольких недель.

В России разработаны два новых метода испытаний дисперсных грунтов, не применяемых в зарубежной практике, — в компрессионном приборе с контролем скорости деформации (МБН) и релаксации напряжений (МРН) [6, 8, 9]. Они являются инновационными и имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с описанными в ГОСТ 12248, стандартах Евросоюза, США и других стран [11–15]. Оба указанных метода испытаний могут быть проведены в одометре с измерением боковых напряжений (рис. 2, б).

В 1984 году на кафедре механики грунтов, оснований и фундаментов Московского инженерно-строительного института, возглавляемой в то время Героем Социалистического Труда профессором Н.А. Цытовичем, была разработана конструкция одометра, принципиально отличавшаяся от предложенной в свое время К. Терцаги [1, 2, 8]. Конструкция подобного одометра, модернизированная в ООО «НПП «Геотек»», показана на рисунке 2, б. Основным отличием нового одометра является возможность измерения горизонтальных напряжений (бокового давления) и порового давления.

На рисунке 1, б показан общий вид нового компрессионного прибора, а на рис. 3 — образцы грунта в стандартном кольце (по ГОСТ 12248) и в кольце, на внешней стороне которого наклеены тензосопротивления. Сигналы с тензометрического моста после усиления и преобразования в цифровой вид передаются в компьютер. Используя градуировочные зависимости, полученные при калибровке, находят значения горизонтальных напряжений, возникающие на стенках кольца при действии внешней вертикальной нагрузки/давления. Одновременно с горизонтальными напряжениями измеряется нормальное давление внешним датчиком силы 1 (см. рис. 1, б), вертикальное перемещение датчиком 2 и поровое давление датчиком 3 с верхнего или нижнего торцов образца грунта.

На рисунке 4 показан общий вид устройства для подготовки образцов грунта из монолитов и последующего их размещения в одометре новой конструкции. Данное устройство позволяет минимизировать нарушение структуры грунта при вырезании образца из монолита.

На рисунках 5–11 приведены результаты испытаний одного образца песчаного грунта в рассматриваемом приборе. По данным одного опыта получены следующие характеристики грунта: одометрический и компрессионный модули деформации; коэффициент Пуассона; коэффициент бокового давления; угол внутреннего трения. Если провести подобные испытания образца глины, то можно получить дополнительные характеристики: давление предварительного уплотнения; коэффициенты первичной и вторичной консолидации; коэффициент фильтрации; удельное сцепление.

В таблицах 1, 2 приведено сравнение прочностных характеристик и модуля деформации, полученных в

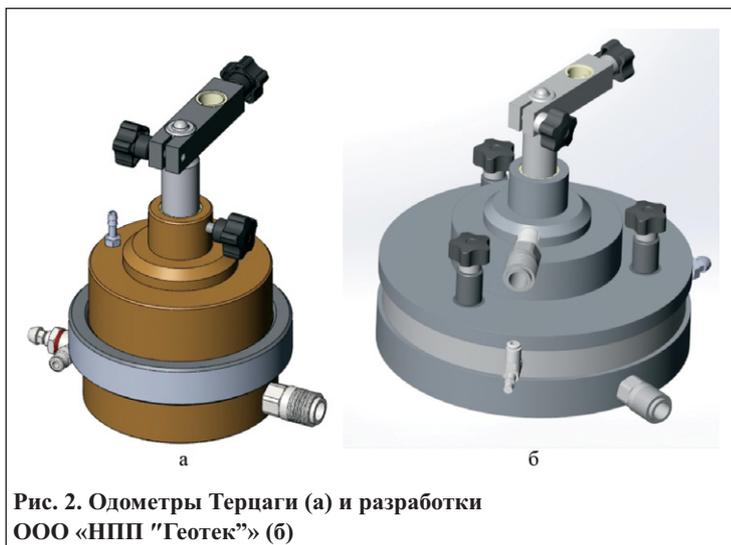


Рис. 2. Одометры Терцаги (а) и разработки ООО «НПП «Геотек»» (б)

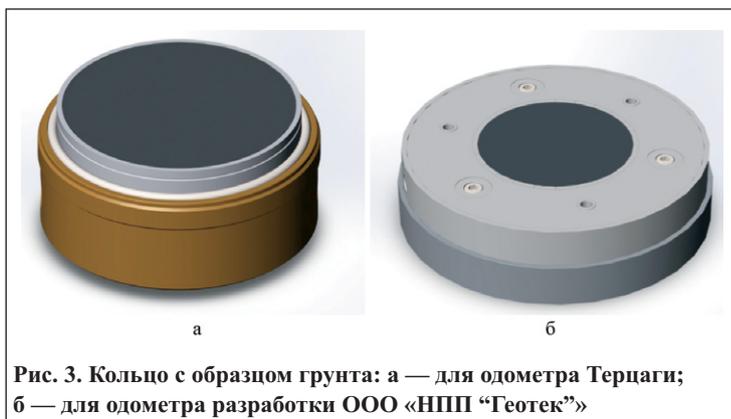
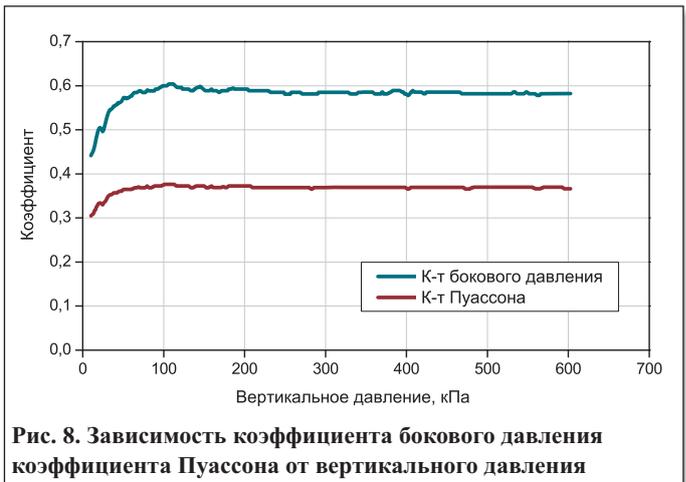
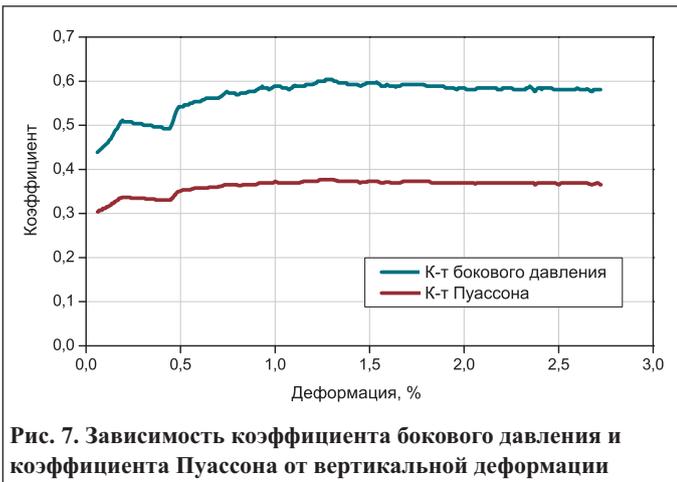
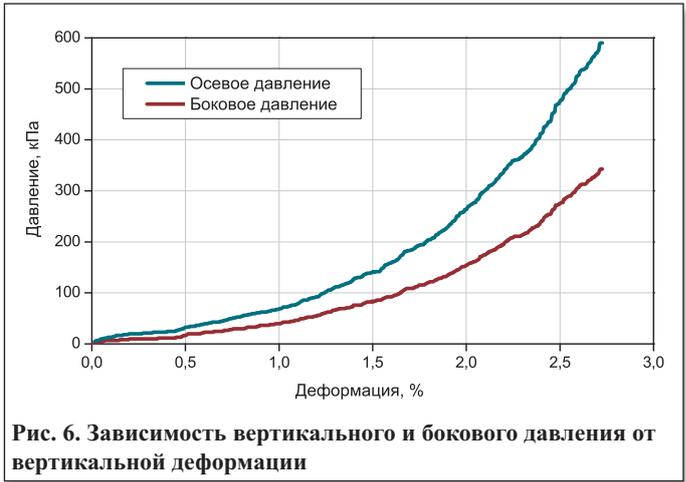
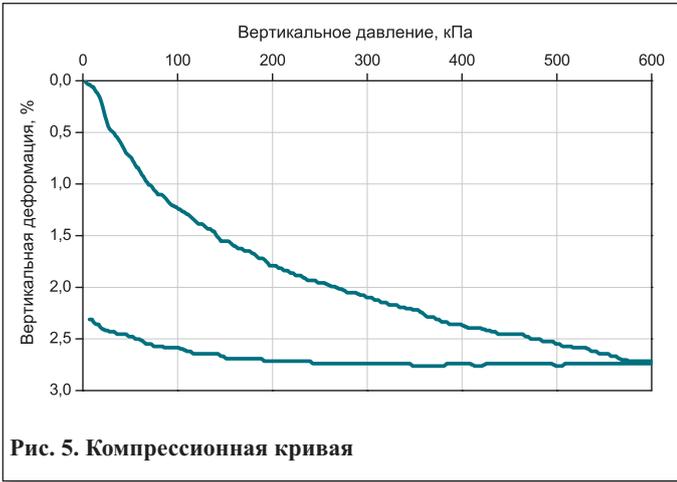


Рис. 3. Кольцо с образцом грунта: а — для одометра Терцаги; б — для одометра разработки ООО «НПП «Геотек»»

новом устройстве, с параметрами, определенными стандартными методами по ГОСТ 12248-2010 — одноплоскостного среза и трехосного сжатия в условиях консолидированно-дренированного сдвига. Новый метод дает примерно такие же значения, но по данным испытаний одного образца грунта, а не четырех, как по ГОСТ 12248-2010. Вторым преимуществом нового метода является также то, что характеристики прочности и деформируемости определяются в одном приборе с использованием одного образца грунта. ГОСТ



Рис. 4. Устройство для вырезания образца грунта: а — режущая оснастка с кольцом в разрезе; б — собранное устройство

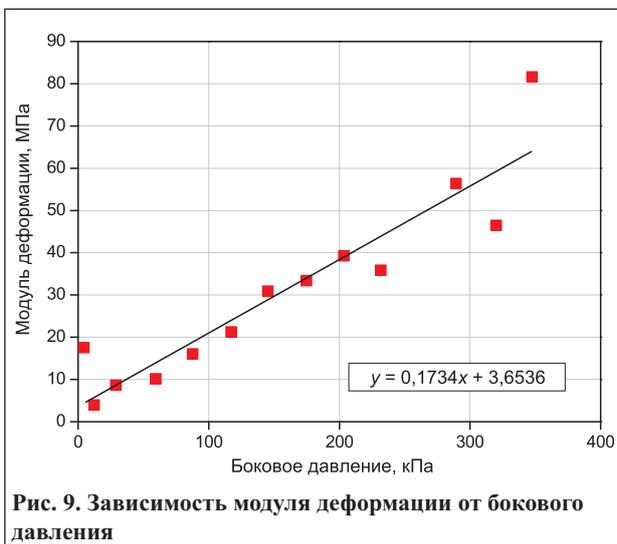


12248 предлагает использовать для этой цели два прибора — компрессионный и одноплоскостного среза. При этом необходимо провести испытания четырех образцов грунта.

Еще одним из преимуществ испытаний грунтов в новом одометре является возможность контроля порового давления в ходе испытаний водонасыщенных образцов глинистых грунтов. Это позволяет определять время стабилизации деформаций без использования таблицы 5.3 ГОСТ 12248-2012 прямым образом, используя зависимость диссипации порового давления во времени (см. рис. 11). Скорость стабилизации

деформаций зависит от вида грунта и может существенно отличаться от значений, приведенных в указанной таблице ГОСТ, как в большую, так и меньшую сторону. Измеряя поровое давление, мы можем оценить время стабилизации деформаций по остаточным значениям избыточного порового давления. Теоретически процесс фильтрационной консолидации завершается при величине порового давления, близкой к нулевым значениям. Практически же, как видно из рис. 11, остаточное поровое давление характеризуется значением в несколько килопаскалей. Однако эта разница обусловлена не физикой процесса, а точностью измерительного канала, которая зависит от чувствительности датчика порового давления, точности градуировки применяемой измерительной системы и других факторов.

В настоящее время ГОСТ 12248-2010 еще больше усложнил процедуру определения времени стабилизации деформаций. Предлагается в соответствии с пунктом 5.1.4.4 этого документа время окончания 100%-ной фильтрационной консолидации ( $t_{100}$ ) в процессе испытания находить из графика зависимости относительной деформации образца от времени (кривой консолидации), который обрабатывают методом «квадратного корня из времени» или логарифмическим методом. Данную рекомендацию невозможно реализовать практически, так как в процессе испытаний на каждой ступени нагружения следует строить кривую консолидации и находить величину  $t_{100}$  (рис. 12). Это приходится делать вручную, используя процедуру, описанную в приложении К указанного ГОСТ. В случае про-



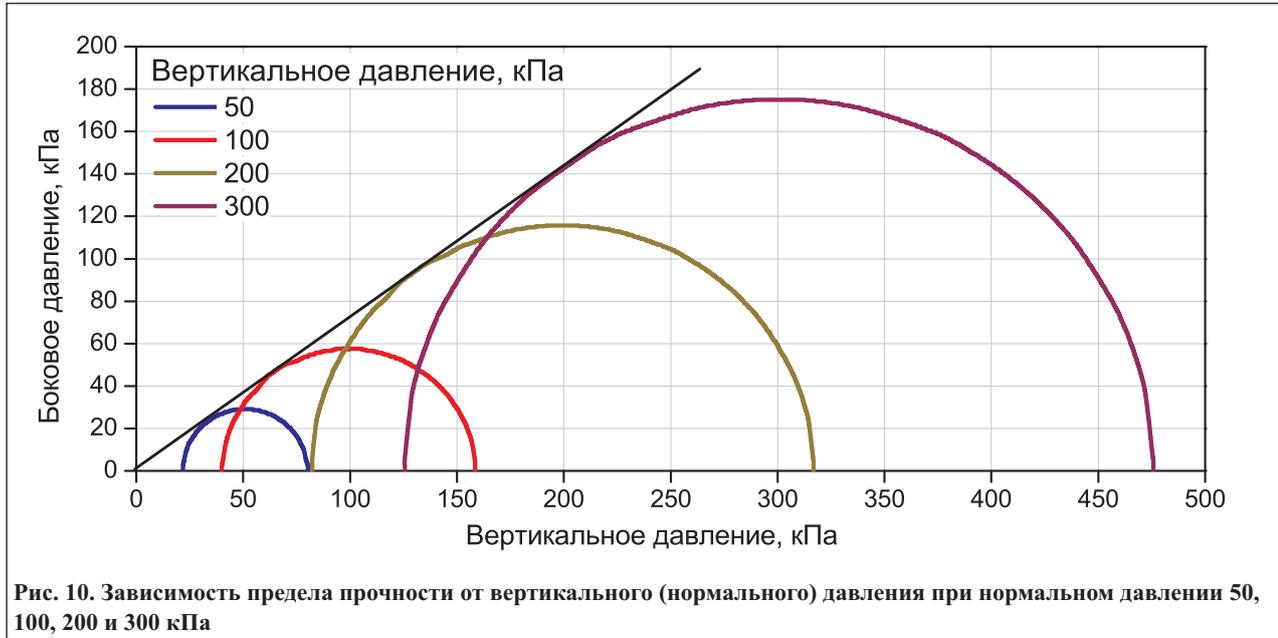


Рис. 10. Зависимость предела прочности от вертикального (нормального) давления при нормальном давлении 50, 100, 200 и 300 кПа

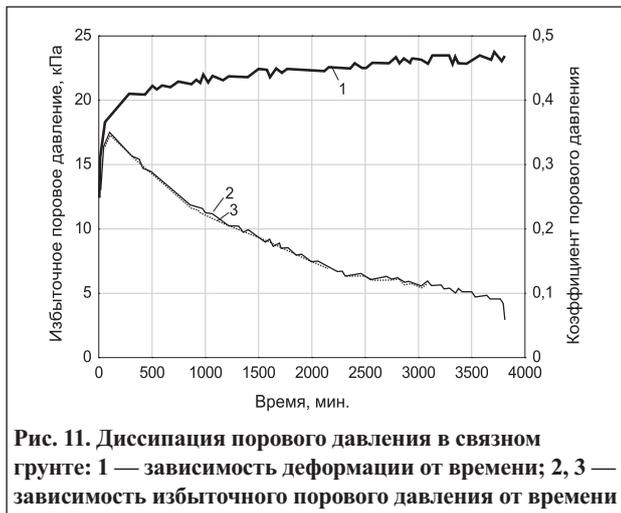


Рис. 11. Диссипация порового давления в связном грунте: 1 — зависимость деформации от времени; 2, 3 — зависимость избыточного порового давления от времени

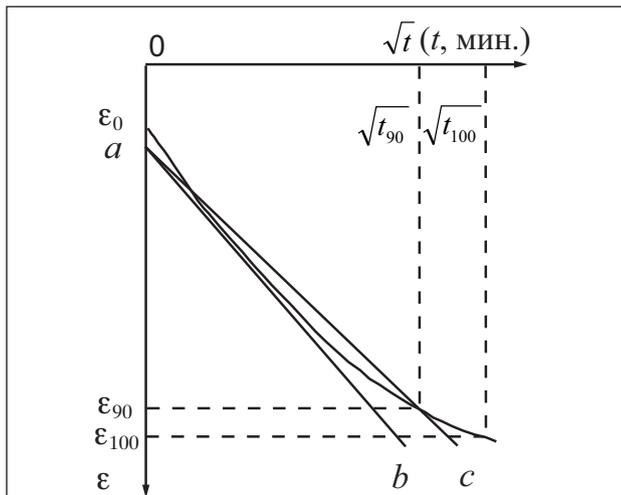


Рис. 12. График, полученный в результате обработки кривой консолидации методом «корень квадратный из времени»:  $\epsilon$  — относительная деформация;  $t$  — время, мин.;  $t_{100}$ ,  $\epsilon_{100}$  — время окончания 100%-ной фильтрационной консолидации, мин., и соответствующая относительная деформация;  $t_{90}$ ,  $\epsilon_{90}$  — время окончания 90%-ной фильтрационной консолидации, мин., и соответствующая относительная деформация

ведения испытаний с измерением порового давления это выполняется автоматически без участия оператора, что исключает субъективный фактор и повышает точность оценки времени завершения фильтрационной консолидации.

В таблице 3 приведены характеристики грунтов, определяемые с использованием стандартного метода и предлагаемых методов компрессионных испытаний.

Целесообразность разработки нового стандарта отмечена также и в ГОСТ 12248-2010 (в разделе 5.4.4.1), в котором допускается проведение испытаний с постоянной скоростью деформации образца с измерением порового давления, а также испытаний с измерением бокового давления.

Таблица 1

Сравнение величин прочностных характеристик, полученных разными методами			
Параметр	Метод испытаний		
	в одометре с измерением боковых напряжений	трехосное сжатие по КД* схеме	одноплоскостной срез
Угол внутреннего трения $\phi$ , град.	30,2	35,0	34,4
Удельное сцепление $C$ , кПа	0,9	1,0	0,15

\* КД — консолидированно-дренированной.

Таблица 2

Сравнение величин модуля деформации (МПа), полученных разными методами			
Метод испытаний	Боковое давление, МПа		
	0,1	0,2	0,3
Трехосное сжатие по КД* схеме	26	38	67
В одометре с измерением боковых напряжений	21	38	56

\* КД — консолидированно-дренированной.

Таблица 3

Сравнение результатов методов испытаний МБН, МРН и стандартного по ГОСТ 12248*			
Характеристика	ГОСТ 12248	МБН	МРН
Одометрический модуль деформации	+	+	+
Компрессионный модуль деформации	+	+	+
Коэффициент Пуассона	-	+	+
Коэффициент бокового давления	-	+	+
Давление предварительного уплотнения	-	+	+
Угол внутреннего трения	-	+	+
Удельное сцепление	-	+	+
Коэффициент первичной консолидации	+	+	+
Коэффициент вторичной консолидации	+	+	+
Контроль диссипации порового давления	-	+	-
Контроль скорости деформации	-	+	-
Контроль релаксации напряжений	-	-	+
Продолжительность испытаний, сут	1–12	< 1	< 1

\* «+» — характеристика определяется; «-» — характеристика не определяется.

Таким образом, ГОСТ 12248-2010 допускает проведение подобных испытаний, но в нем не приведены методика их выполнения и требования к оборудованию (так как по этому документу используется одометр стандартного типа). Отсутствует и ряд других требований, а также методика интерпретации результатов компрессионных испытаний с измерением боковых напряжений. Дело в том, что при работе по актуализации ГОСТ 12248-96 предполагалось, что стан-

дарт для испытаний с измерением боковых напряжений будет разработан отдельно, что и предлагается в настоящее время. Как было отмечено ранее в зарубежных стандартах ASTM, BS, ISO, EN [11–15], при проведении компрессионных испытаний не предусмотрено измерение горизонтальных напряжений. Поэтому предполагаемый стандарт будет отличаться от зарубежных и позволит в отличие от них определять ряд дополнительных характеристик грунтов: коэффициент бокового давления, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения и удельное сцепление.

В заключение следует отметить, что предлагаемый метод компрессионных испытаний сокращает сроки лабораторных исследований в несколько раз. Продолжительность испытаний глинистых грунтов не превышает 8–10 ч в отличие от стандартного метода, в котором она может достигать нескольких суток.

### Выводы

Предлагаемый метод компрессионных испытаний позволяет определять ряд дополнительных характеристик грунтов, что не предусмотрено в ГОСТ 12248-2010. Продолжительность испытаний при этом в несколько раз меньше по сравнению с испытаниями по ГОСТ 12248-2010.

Метод компрессионных испытаний в одометре с измерением боковых напряжений рекомендуется использовать в практике изыскательских организаций Российской Федерации. Это позволит значительно сократить сроки проведения инженерно-геологических изысканий и существенно повысить их конкурентоспособность.

Для внедрения в практику инженерно-геологических изысканий нового метода компрессионных испытаний необходимо разработать стандарт и рекомендации по использованию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев Г.Г., Сидорчук В.Ф. Определение механических свойств грунтов в компрессионном приборе с измерением боковых напряжений // Автоматизированные технологии изысканий и проектирование. 2003. № 9–10. С. 69–71.
2. Жамбакина З.М. Экспериментальное изучение связи коэффициента бокового давления с прочностными свойствами грунта: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.: Изд-во МИСИ, 1989.
3. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2010.
4. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: МНТКС, 2012.
5. СП 47.13330. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Госстрой России, 2013.
6. СТО 60284311-003-2012. Стандарт организации. Грунты. Метод компрессионных испытаний грунтов в режиме релаксации напряжений. Краснодар: СРО НП «КубаньСтройИзыскания», 2012.
7. Тер-Мартirosян З.Г., Кятов Н.Х., Сидорчук В.Ф. Экспериментальные и теоретические основы определения напряженного состояния грунтов естественного сложения // Инженерная геология. 1984. № 4. С. 13–25.
8. Терцаги К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств. М.: Госстройиздат, 1933. 391 с.
9. Труфанов А.Н. Метод релаксации напряжений // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 5. С. 7–11.
10. Труфанов А.Н. Перспективы применения метода релаксации напряжений в практике инженерных изысканий // Инженерные изыскания. 2013. С. 44–51.
11. ASTM D4186. Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils using controlled-strain loading. 1989.
12. ASTM D2435. Test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading. 1996.
13. BS 1377-6. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 6. Consolidation and permeability tests in hydraulic cells and with pore pressure measurement. 1990.
14. EN 1997-2:2007. Eurocode 7. Geotechnical design. Part 2. Ground investigation and testing. 2007.
15. ISO 17892-7. Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 5: Incremental loading oedometer test. 2004.