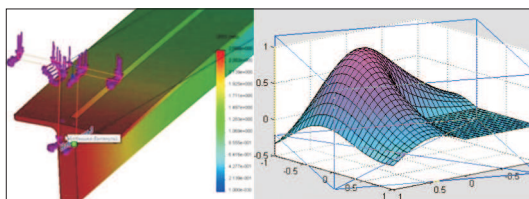


## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 624.131.5

О.А. КОРОБОВА, Л.А. МАКСИМЕНКО, И.Ю. СОЛОВЬЯНОВА

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Рассмотрены вопросы, связанные с учетом деформационной анизотропии на стадии экспериментальных исследований грунтовых образцов в лабораторных условиях. Современные нормативные документы рекомендуют в расчетах грунтовых оснований учитывать деформационную анизотропию. Для расчета необходимо иметь достаточно хорошо разработанные методы прогнозирования напряженного и деформированного состояний оснований. Эти решения должны быть, с одной стороны, надежными, а с другой – простыми и не слишком трудоемкими. Этим требованиям во многих случаях удовлетворяли расчетные методы, основанные на применении теории упругости (точнее – теории линейно-деформируемой среды). Однако по мере накопления экспериментальных данных о грунтах и грунтовых основаниях оказалось, что основные предпосылки линейной теории упругости лишь с большими оговорками могут быть использованы для описания поведения грунтов и грунтовых оснований при действии на них внешних нагрузок и других факторов. Цель экспериментальных исследований – изучение напряженного состояния и деформируемости анизотропных грунтовых образцов и оценка анизотропии. Выявлена степень деформационной анизотропии и характер деформируемости внешне однородных нескальных, в том числе лессовидных просадочных грунтов. Физико-механические характеристики исследуемых грунтов определены по стандартным методикам. Получены результаты лабораторных исследований широкой области грунтов, обладающих деформационной анизотропией, и проведена оценка их анизотропных свойств. Практическая ценность работы заключается в том, что полученный экспериментальный материал о деформируемости внешне однородных образцов грунтов по двум взаимно перпендикулярным направлениям в зависимости от условий их формирования и характера напряженного состояния позволяет провести комплексную оценку деформационной анизотропии грунта. Это дает возможность наиболее полно учитывать реальные свойства грунтов в расчетах грунтовых оснований и, следовательно, более точно и надежно проектировать фундаменты зданий и сооружений, а также прогнозировать работу их оснований под действием нагрузок.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экспериментальные исследования, грунтовые образцы, деформационная анизотропия, показатель анизотропии, методика проведения эксперимента.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-728-8-116-128

Результаты анализа состояния экспериментальных исследований анизотропных грунтов [1–10] позволяют сделать выводы о том, что все исследованные виды глинистых грунтов обладают деформационной анизотропией,

© Коробова О.А., Максименко Л.А., Соловьянова И.Ю., 2019

вызванной текстурными особенностями и условиями их формирования. Эти особенности очень четко прослеживаются у грунтов, имеющих слоистое строение, сжимаемость слоистых глинистых грунтов, как правило, проявляется более заметно в направлении, перпендикулярном слоистости. Деформационная анизотропия присуща не только слоистым, но и внешне однородным грунтам без видимых признаков слоистости. Экспериментально установлено наличие в глинистых грунтах трансверсально-изотропной деформационной анизотропии с плоскостью изотропии, чаще всего параллельной поверхности грунтового массива.

Однако практически не разработаны методика и специальное оборудование для определения деформационных характеристик анизотропных грунтов, а также экспериментально слабо исследовано напряженное и деформированное состояние анизотропных грунтовых оснований, что объясняется методическими затруднениями при внедрении измерительных приборов (датчиков давлений, деформометров) в грунтовый массив, а также слабой изученностью степени погрешности показаний этих приборов в анизотропных средах. В связи с этим была поставлена задача экспериментально установить характер деформационной анизотропии различных разновидностей песчаных и глинистых грунтов, не имеющих видимой слоистой текстуры, а также лессовидных просадочных грунтов и разработать методику проведения эксперимента для дальнейшего учета их реальных свойств в расчетах грунтовых оснований.

**Методика проведения эксперимента.** Экспериментальные исследования с целью подтверждения существования и выявления степени деформационной анизотропии грунтовых образцов и отработки методики были проведены в лаборатории кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета.

В различных районах Новосибирска, Кемерово и Барнаула были отобраны образцы грунтов при естественной влажности и плотности металлическими кольцами высотой 0,025 м и площадью сечения  $60 \times 10^{-4} \text{ м}^2$  (для испытаний в компрессионном приборе) и 0,035 м и площадью сечения  $40 \times 10^{-4} \text{ м}^2$  (для испытаний в уплотнителе системы «Гидропроект»). Для определения деформируемости грунтов по взаимно перпендикулярным направлениям пробы грунта были взяты при вертикальном и боковом положении колец (по шесть проб в каждом случае) (рис. 1). Всего было испытано 22 вида грунтов.

Физические характеристики исследованных грунтов ( $\gamma$  – удельный вес грунта в естественном состоянии;  $w$  – природная влажность;  $I_p$  – число пластичности;  $I_L$  – показатель текучести) были определены по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 5180–2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик». Характеристики исследованных грунтов представлены в табл. 1.

Исследования грунтов естественного сложения проведены в компрессионных приборах (одеметрах) и в уплотнителях системы «Гидропроект» (рис. 2). Методика испытаний соответствовала ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Величину деформаций фиксировали индикаторами часового типа ИЧ-10 с ценой деления шкалы, равной 0,01 мм. Наибольшая уплот-

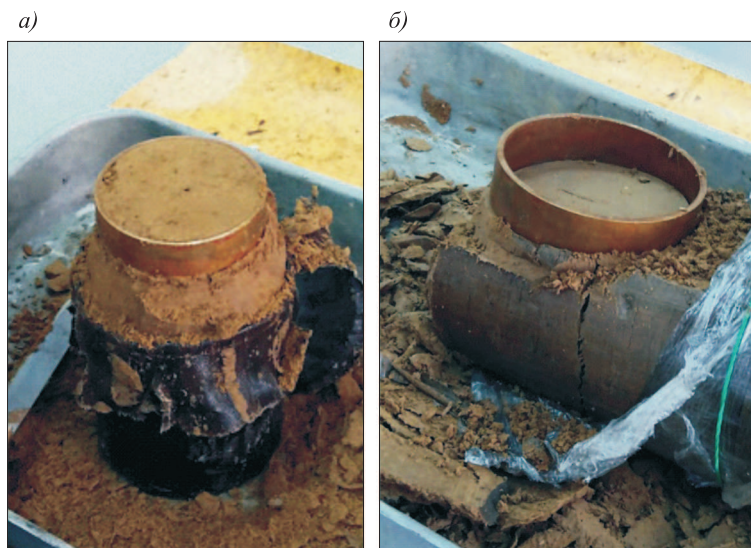


Рис. 1. Отбор образцов грунта при вертикальном (а) и боковом (б) положениях колец (для испытания в компрессионном приборе)

няющая нагрузка создавалась давлением  $p = 0,3-0,4$  МПа. Перед проведением испытаний приборы проградуированы стальными болванками. Результаты градуировки использованы при обработке опытных данных.

Исследование деформационной анизотропии грунтов, имеющих структуру, сформированную простой отсыпкой, уплотнением виброванием или трамбованием, было проведено в приборе трехосного сжатия (ПТС системы А.Л. Крыжановского) с независимым регулированием переменных величин главных напряжений. Прибор создан на кафедре инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (рис. 3). Рабочую камеру прибора в форме куба со стороной 0,14 м заполняли исследуемым грунтом. Перед началом опытов в приборе ПТС выполнена его трехкратная градуировка, для чего в рабочую камеру устанавливали бетонный куб с размером грани, равной 0,138 м. Результаты градуировки использованы при обработке опытных данных по установлению связи между напряжениями и деформациями грунтового образца. Статистическая обработка результатов определения характеристик грунтов проведена в соответствии с ГОСТ 20522–2012 «Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний».

**Оценка результатов экспериментальных исследований.** Полученные в экспериментальных исследованиях значения деформаций образцов грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях использованы для оценки деформационной анизотропии грунтов.

Деформации образцов грунтов 1–8, а также 13–23 (см. табл. 1) в вертикальном и горизонтальном направлениях определены в условиях компрессии. Грунты 9 и 11 испытаны в ПТС (плоская деформация) при равенстве главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_3$  ( $\sigma_z = \sigma_x$ ), действующих в плоскости деформирования образцов. До начала опыта грунт 9 уплотняли вибрированием, а грунт 11 – ручным трамбованием. Грунты 10 и 12 исследованы в услови-

Таблица 1. Характеристики исследованных грунтов

Группа	Образец, №	Грунт	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	w, %	$I_p$ , %	$I_l$	n, шт.	Местоположение площадки отбора
I	1	Супесь пылеватая текучая	18,7	31	4	1,2	12	г. Кемерово, ОАО «Химволокно»
	2	Супесь пылеватая пластичная	17,2	38	6	1,0	12	г. Кемерово, завод «Сиблитмаш»
	3	Супесь пылеватая пластичная (плоская деформация $\sigma_1 = \sigma_3$ )	17,7	18	6	0,6	12	г. Новосибирск, Ленинский район
	4	Супесь песчанистая пластичная	19,2	18	3	0,4	12	г. Новосибирск, Дзержинский район
	5	Супесь песчанистая твердая	17,4	18	1	0	12	г. Новосибирск, Оперный театр
	6	Суглинок легкий, пылеватый полутвердый	17,5	20	13	0,1	12	г. Кемерово, ОАО «Химволокно»
	7	Песок плотный	17,2	3	–	–	12	г. Новосибирск, Кировский район
	8	Песок средней плотности	18,2	9	–	–	12	г. Новосибирск, Октябрьский район
II	9	Песок средней плотности ( $\sigma_1 = \sigma_3$ )	15,6	3	–	–	3	г. Новосибирск
	10	Песок средней плотности ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ )	15,6	3	–	–	12	–/–
	11	Песок плотный ( $\sigma_1 = \sigma_3$ )	18,0	3	–	–	3	–/–
	12	Песок воздушно-сухой, плотный	18,0	3	–	–	4	–/–
III	13	Суглинок легкий, пылеватый твердый лессовидный, просадочный	15,5	6	10	<0	10	г. Барнаул, 2001 квартал
	14	Супесь твердая, просадочная	21,4	10	2,5	<0	10	г. Барнаул, Дом моделей
	15	То же	20,3	15	6	<0	10	г. Барнаул
	16	Суглинок твердый, просадочный	17,4	19	11	<0	10	г. Барнаул, Речной вокзал
	17	То же	17,2	18	7,5	<0	10	Новосибирская область
	18	–/–	17,1	15	13	<0	6	То же
	19	Суглинок твердый	17,0	18	11	<0	6	–/–
	20	Суглинок твердый, просадочный	17,2	18	7,5	<0	10	–/–
	21	То же	17,1	15	13	<0	6	–/–
	22	Суглинок твердый	17,0	18	11	<0	6	–/–

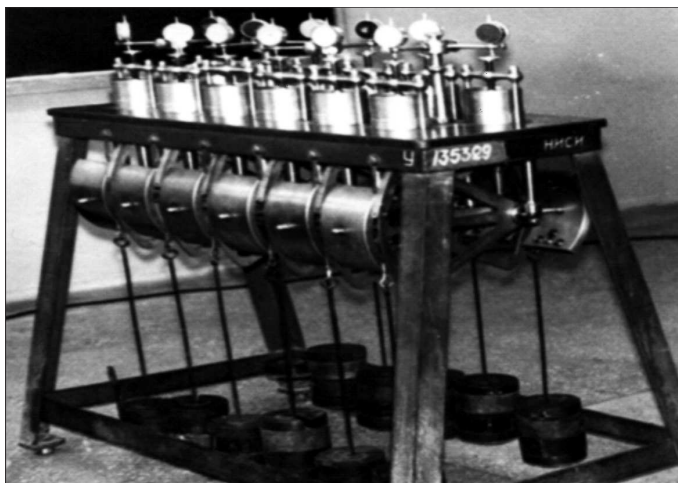


Рис. 2. Уплотнители системы «Гидропроект»

ях гидростатического напряженного состояния образцов при действии главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ . В этом случае оценку степени деформационной анизотропии грунтов проводили по сопоставлению величин деформации по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям. При анализе результатов степень деформационной анизотропии грунтов оценивали показателем анизотропии  $\alpha = s_x/s_z = \varepsilon_x/\varepsilon_z$ , где  $s_z$  и  $s_x$ ,  $\varepsilon_z$  и  $\varepsilon_x$  – абсолютные и относительные деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно, а для грунтов 10, 12 – по отношению  $s_x/s_y$  (по взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям  $y$  и  $x$ ).

Показатели анизотропии  $\alpha$  всех видов грунта изменялись в диапазоне от 0,5 до 2,1. Исследованиями расширена область грунтов с установленной деформационной анизотропией. Глинистые грунты Новосибирска, изученные ранее В.П. Писаненко [11], характеризовались значениями  $\alpha = 1,43$

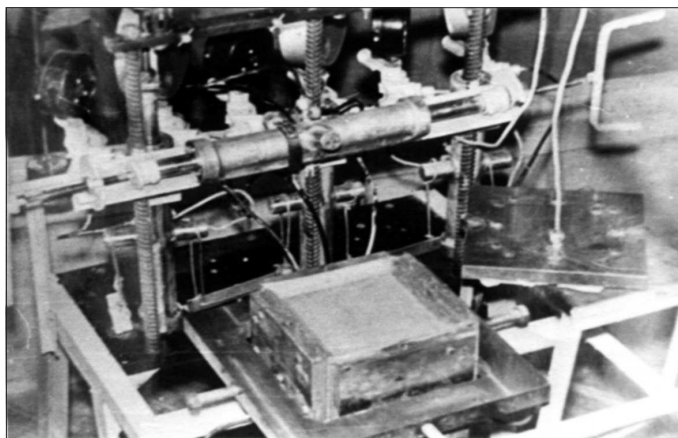


Рис. 3. Прибор трехосного сжатия (ПТС) с независимым регулированием величин главных напряжений

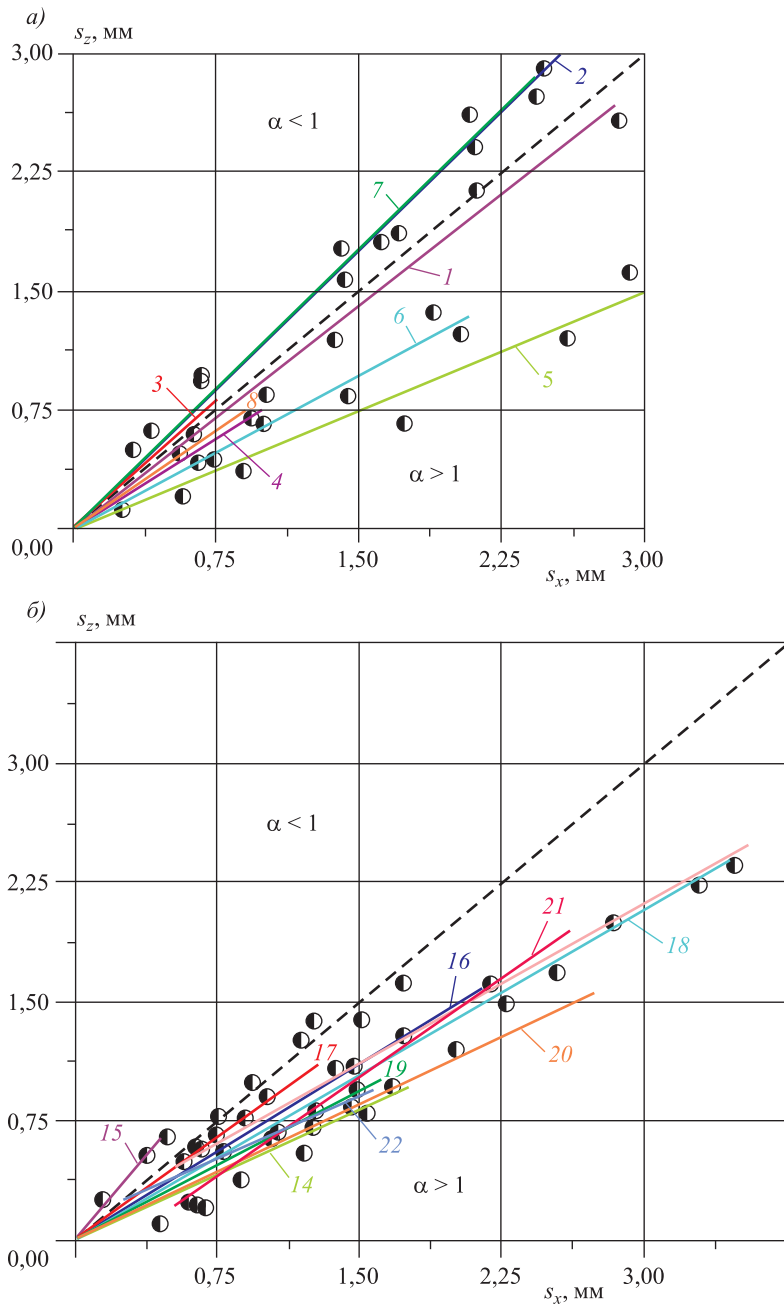


Рис. 4. Деформируемость грунтов 1–8 (а) и 14–22 (б) по взаимно перпендикулярным направлениям (z, x)

(суглинки) и  $\alpha = 1,24$  (супеси). Полученные результаты представлены на рис. 4–8.

Как видно из рисунков, характер деформационной анизотропии грунтов различен – для пластичных супесей 1–3 показатель  $\alpha \leq 1$ ; для лессовидных супесей и суглинков 4–6, как правило  $\alpha > 1$ ; для песков 7, 8 средней плотности и плотных, испытанных в условиях компрессии  $\alpha < 1$ . При росте сжимающей нагрузки значения  $\alpha$  увеличиваются. При повышении

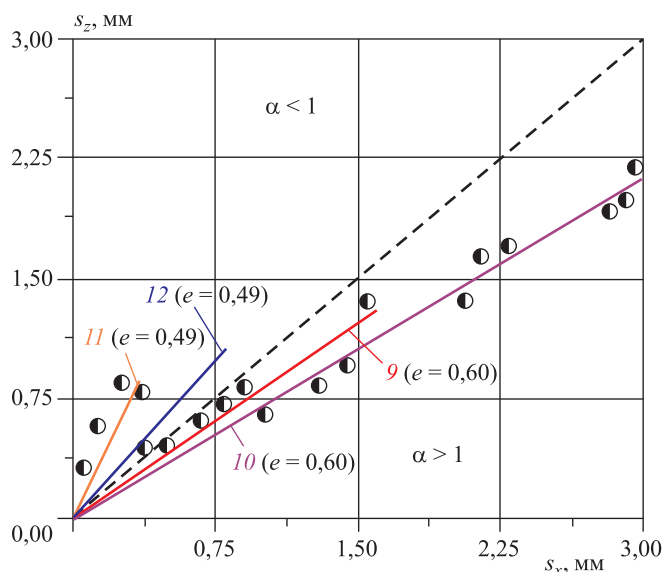


Рис. 5. Влияние коэффициента пористости  $e$  на деформационную анизотропию грунтов 9–12

уровня действующих напряжений в условиях плоской деформации и гидростатического обжатия плотного песка средней плотности характер анизотропии не изменяется. В условиях плоской деформации показатель  $\alpha$  оказался меньше, чем при гидростатическом обжатии. Показатели  $\alpha$  песка средней плотности в этих условиях превышают единицу, а у плотного песка они меньше единицы.

**Исследование деформационной анизотропии просадочных супесей и суглинков.** Учет деформационной анизотропии лессовидных грунтов в расчетах оснований является одним из важных вопросов, так как ее степень и характер в лессовидных просадочных грунтах проявляются особенно отчетливо. Проблема становится еще более актуальной, если учесть, что до 20 % территории Западной Сибири занимают лессовидные просадочные грунты. В связи с этим были проведены исследования по изучению анизотропии лессовидных просадочных грунтов. Результаты испытаний суглинков Новосибирской области, грунты 20–22 в компрессионных условиях сведены в табл. 2.

Предлагаемая методика экспериментального определения показателя анизотропии  $\alpha$  грунтов [12] позволяет учитывать деформационную анизотропию реального грунта. Имея полную картину напряженно-деформированного состояния, полученную в любом из современных программных комплексов, можно вычислять поправочные коэффициенты, показывающие какую долю от напряжения в изотропной среде составляют соответствующие напряжения в среде анизотропной [13]. Это дает возможность более точно и обоснованно производить расчет осадок фундаментов, учитывая их реальные свойства [14].

**Выводы.** 1. Все исследованные виды грунтов (в том числе и лессовидные, просадочные) независимо от способа формирования их структуры обладают деформационной анизотропией.

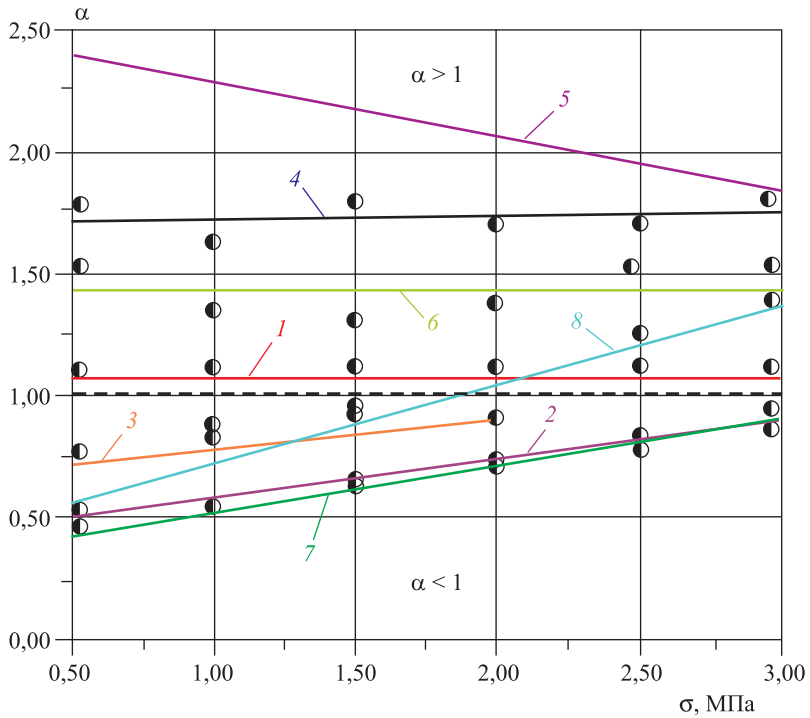


Рис. 6. Показатели анизотропии  $\alpha$  грунтов 1–8

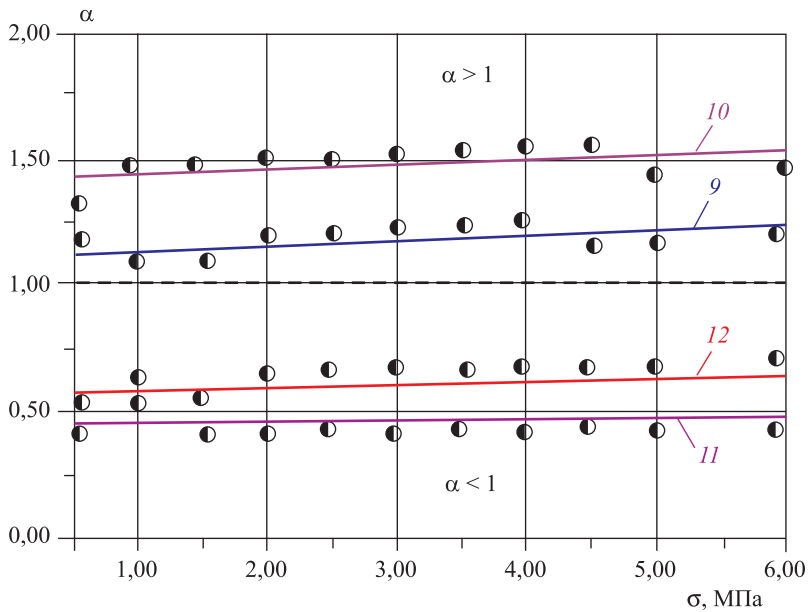


Рис. 7. Показатели анизотропии  $\alpha$  грунтов 9–12

2. Степень деформационной анизотропии определяется не только видом грунта, но и характером напряженного состояния, в котором он находится. Выявленные в процессе испытаний показатели анизотропии  $\alpha$ , безусловно, характеризуют степень деформационной анизотропии данного грунта, но было бы недопустимым классифицировать анизотропные свойства грунтов только по этому признаку.



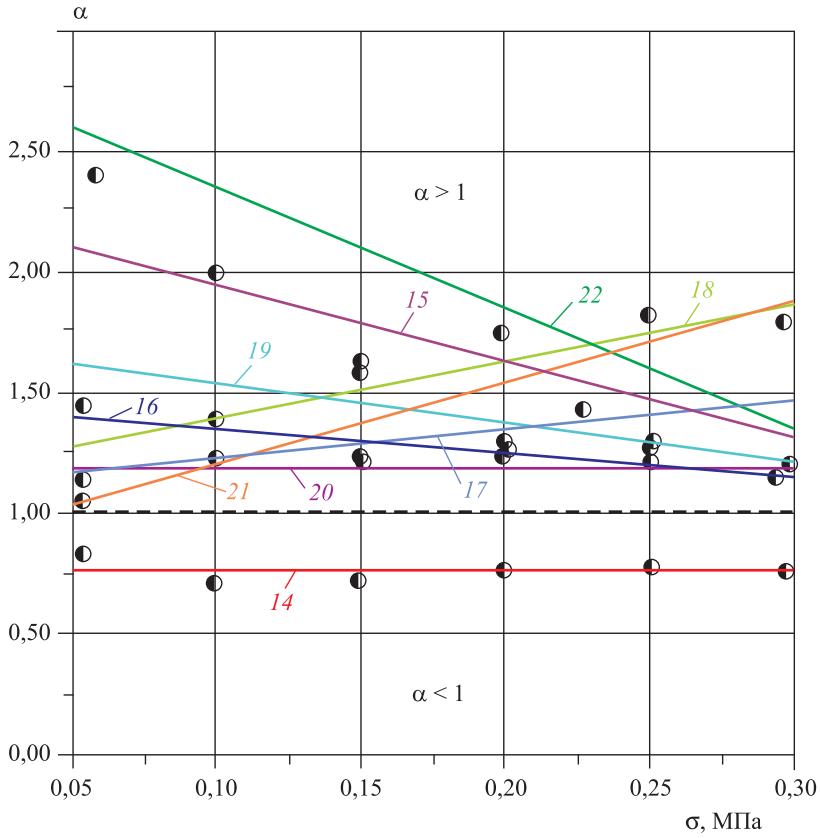


Рис. 8. Показатели анизотропии  $\alpha$  грунтов 14–22

Таблица 2. Результаты исследования просадочных грунтов 20–22

$\sigma$ , МПа	$s_x$ , мм	$s_z$ , мм	$E_x$ , МПа	$E_z$ , МПа	$\alpha = s_x/s_z$	$\alpha = E_z/E_x$
1	2	3	4	5	6	7
Грунт 20 до замачивания						
0,05	0,62	0,53	1,78	2,10	1,17	1,17
0,10	1,55	1,20	1,42	1,84	1,3	1,3
0,15	2,23	1,68	1,48	1,97	1,33	1,33
0,20	2,75	1,99	1,60	2,22	1,38	1,38
0,25	3,14	2,21	1,76	2,49	1,42	1,42
0,30	3,50	2,44	1,89	2,71	1,43	1,43
Грунт 20 после замачивания						
0,30	4,00	2,85	1,65	2,32	1,40	1,40
0,35	4,29	3,08	1,80	2,51	1,39	1,39
0,40	4,50	3,23	1,96	2,73	1,39	1,39
Грунт 21 до замачивания						
0,05	0,32	0,30	3,74	3,50	1,07	1,07
0,10	0,77	0,47	4,69	2,86	1,64	1,64
0,15	1,02	0,58	5,75	3,24	1,77	1,77

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
0,20	1,25	0,68	6,53	3,54	1,84	1,84
0,25	1,43	0,76	7,25	3,85	1,88	1,88
0,30	1,65	0,90	7,35	4,02	1,83	1,83
Грунт 21 после замачивания						
0,30	2,24	2,21	2,99	2,95	1,01	1,01
0,40	2,55	2,66	2,32	3,46	0,96	0,96
Грунт 22 до замачивания						
0,05	0,58	0,22	1,90	5,01	2,64	2,64
0,10	1,13	0,51	1,95	4,32	2,22	2,22
0,15	1,57	0,86	2,11	3,85	1,83	1,83
0,20	2,00	1,24	2,21	3,56	1,61	1,61
0,25	2,29	1,57	2,41	3,51	1,46	1,46
0,30	2,55	1,91	2,59	3,46	1,34	1,34
Грунт 22 после замачивания						
0,30	3,08	2,69	2,15	2,46	1,14	1,14
0,40	3,59	3,36	2,46	2,62	1,07	1,07

3. Сжимаемость образцов лессовидного грунта, отобранных по двум взаимно перпендикулярным направлениям, различна и зависит от пористости и естественной влажности грунта.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башинджагян И.С. Влияние направления слоистости в связных грунтах на сопротивляемость их сжатию и сдвигу: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Баку, 1955. 22 с.
2. Вулис П.Д. Исследование анизотропии деформационных свойств глинистых грунтов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1973. 25 с.
3. Гольдштейн М.Н., Лапкин В.Б. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния анизотропного основания, нагруженного ленточным фундаментом // Вопросы геотехники. Исследование устойчивости железнодорожного полотна. Днепропетровск, 1973. № 22. С. 105–112.
4. Гречко В.Ф., Макаренко И.А., Хаин В.Я. Об измерении анизотропии грунтов // Тр. Днепропетр. ин-та инженеров ж.-д. трансп. Днепропетровск, 1976. Вып. 179/25. С. 57–62.
5. Кузьмицкий В.А. К вопросу об определении деформационных характеристик анизотропных грунтов // Строительные конструкции и теория сооружений. Основания, фундаменты и механика грунтов: Респ. межвед. сб. / Госстрой БССР. Ин-т стр-ва и архитектуры. Минск: Высш. шк., 1973. Вып. 2. С. 243–251.
6. Набоков И.М. Некоторые результаты исследований влияния анизотропии на напряженно-деформированное состояние грунтового основания, нагруженного абсолютно жестким штампом // Основания и фундаменты: Сб. тр. / Ин-т стр-ва и архитектуры. Минск: Госстрой БССР, 1976. Вып. 12. С. 43–46.

7. Писаненко В.П. Методика и результаты исследования анизотропии деформационных свойств грунтов // Совершенствование методов лабораторных исследований грунтов при инженерных изысканиях для строительства: Тез. докл. 11-го респ. совещ. Смоленск; М., 1977. С. 65–75.
8. Рогаткина Ж.Е. Влияние анизотропии глинистых грунтов на физико-механические свойства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1967. № 1. С. 14–15.
9. Степанов А.В. Причины особенностей разрушения упруго-анизотропных тел // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1950. Т. 14, № 1. С. 122–141.
10. Шутенко Л.Н. Об анизотропии механических характеристик грунтов // Изв. вузов. Геология и разведка. 1968. № 12. С. 86–89.
11. Писаненко В.П. Об анизотропии деформационных свойств глинистых грунтов Новосибирского Приобья // Труды Новосиб. ин-та инж. ж.-д. транспорта. 1977. Вып. 180. С. 80–83.
12. Коробова О.А., Бирюкова О.А. Лабораторные исследования деформационной анизотропии грунтов при инженерно-геологических изысканиях // Инженерные изыскания. 2012. № 6. С. 24–32.
13. Коробова О.А., Максименко Л.А. Методы усовершенствования расчета осадок грунтовых оснований // Интерэкспо Гео-Сибирь: Сб. материалов XI Междунар. науч. конф. (13–25 апр. 2015 г.). Новосибирск: СГУГиТ, 2015. Т. 1, № 1. С. 194–199.
14. Коробова О.А., Максименко Л.А., Глушкова О.И., Кузьмина А.В. Оценка влияния деформационной анизотропии песчаных и глинистых грунтов на расчеты оснований зданий и сооружений по деформациям // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 11. С. 34–49.

**Коробова Ольга Александровна**, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Максименко Любовь Александровна**, канд. техн. наук, доц.

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск

**Соловьянова Ирина Юрьевна**, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 15.07.2019

**Korobova Olga Aleksandrovna**, DSc, Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Maksimenko Lyubov Aleksandrovna**, PhD, Ass. Professor

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

**Solovyanova Irina Yuryevna**, Post-graduate Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **METHODS OF EVALUATION OF EXPERIMENTAL STUDIES OF DEFORMATION ANISOTROPY OF NON-ROCK SOILS**

The article discusses issues related to the consideration of deformation anisotropy at the stage of experimental studies of soil samples in laboratory conditions. Consider the deformation anisotropy in the calculation of soil bases recommend modern regulatory documents for the calculation of soil bases. For the calculation, it is necessary to have sufficiently well-developed methods for predicting the stress and strain states of the bases. These decisions should be reliable on the one hand and simple and not too laborious on the other. Until now, in many cases, these methods have been satisfied by calculation methods based on the application of the theory of elasticity (more precisely, the theory of linearly

deformable media). However, with the accumulation of experimental data on soils and soil bases, it turned out that the basic premises of the linear theory of elasticity, with great reservations, can be used to describe the behavior of soils and soil bases under the influence of external loads and other factors. The purpose of the experimental studies was to study the stress state and deformability of anisotropic soil samples and to evaluate the anisotropy phenomenon. The degree of deformation anisotropy and the character of deformability of externally homogeneous non-rocky, including loess-like subsidence soils are revealed. Physico-mechanical characteristics of the studied soils were determined by standard methods. The results of laboratory studies of a wide area of soils with deformation anisotropy were obtained, and their anisotropic properties were evaluated. The practical value of the work lies in the fact that the obtained experimental material on the deformability of externally uniform soil samples in two mutually perpendicular directions, depending on the conditions of their formation and the nature of the stress state, allows a comprehensive assessment of the deformation anisotropy of the soil. This makes it possible to take fully into account the real properties of soils in the calculation of soil bases and, therefore, more accurately and reliably design the foundations of buildings and structures, as well as to predict the work of their bases under the action of loads.

**Key words:** experimental studies, soil samples, deformation anisotropy, anisotropy index, experimental procedure.

#### REFERENCES

1. Bashindzhagyan I.S. Vliyanie napravleniya sloistosti v svyaznykh gruntakh na soprotivlyaemost' ikh szhatiye i sdvigu [Influences establish layers in the Holy lands on resistances and shear and shear]. Baku, 1955. 22 p. (in Russian)
2. Vulis P.D. Issledovanie anizotropii deformatsionnykh svoystv glinistykh gruntov [The study of the anisotropy of the deformation properties clay soils]. Sverdlovsk, 1973. 25 p. (in Russian)
3. Gol'dshteyn M.N., Lapkin V.B. Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya anizotropnogo osnovaniya, nagruzhennogo lentochnym fundamentom [Experimental study of the stress-strain state of an anisotropic substrate mounted with a tape foundation]. Voprosy geotekhniki. Issledovanie ustoychivosti zheleznodorozhnogo polotna [Geotechnical issues. Railway stability study]. Dnepropetrovsk, 1973. No. 22. Pp. 105–112. (in Russian)
4. Grechko V.F., Makarenko I.A., Hain V.Ya. Ob izmerenii anizotropii gruntov [On the measurement of the anisotropy of the soils]. Trudy Dnepropetrovskogo in-ta inzh. zh.-d. transporta [Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Engineering Railway Transport]. Dnepropetrovsk, 1976. Vol. 179/25. Pp. 57–62. (in Russian)
5. Kuz'mitskiy V.A. K voprosu ob opredelenii deformatsionnykh kharakteristik anizotropnykh gruntov [On the question of determining the deformation characteristics of anisotropic soils]. Stroitel'nye konstruksii i teoriya sooruzheniy. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Building constructions and theory of constructions. Foundations and soil mechanics]. Minsk, 1973. No. 2. Pp. 243–251. (in Russian)
6. Nabokov I.M. Nekotorye rezul'taty issledovaniy vliyaniya anizotropii na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie gruntovogo osnovaniya, nagruzhennogo absolyutno zhestkim shtampom [Some resultant, investigated effect of anisotropy on the stress-strain state of the soil base loaded with an absolute rigid die]. Osnovaniya i fundamenty [Grounds and foundations]. Minsk, 1976. Vol. 12. Pp. 43–46. (in Russian)

7. P i s a n e n k o V.P. Metodika i rezul'taty issledovaniya anizotropii deformatsionnykh svoystv gruntov [Methods and results of investigation of soil deformation properties anisotropy]. Sovershenstvovanie metodov laboratornykh issledovaniy gruntov pri inzhenernykh izyskaniyakh dlya stroitel'stva: Tezisy dokladov 11-go respublikanskogo soveshchaniya [Improvement of methods of laboratory studies of soils in engineering surveys for construction: Abstracts of the 11th Republican meeting]. Smolensk; Moscow, 1977. Pp. 65–75. (in Russian)
8. R o g a t k i n a Zh.E. Vliyanie anizotropii glinistykh gruntov na fiziko-mekhanicheskie svoystva [The effect of anisotropy of clayey soils on the physico-mechanical properties]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations and soil mechanics]. 1967. No. 1. Pp. 14–15. (in Russian)
9. S t e p a n o v A.V. Prichiny osobennostey razrusheniya uprugo-anizotropnykh tel [The causes of the degradation features of elastic-anisotropic bodies]. Izv. AN SSSR. Seriya fizicheskaya [Bull. Academy of Sciences of the USSR]. 1950. T. 14, No. 1. Pp. 122–141. (in Russian)
10. S h u t e n k o L.N. Ob anizotropii mekhanicheskikh kharakteristik gruntov [On anisotropy of mechanical characteristics of soils]. Izv. vuzov. Geologiya i razvedka [University news. Geology and exploration]. 1968. No. 12. Pp. 86–89. (in Russian)
11. P i s a n e n k o V.P. Ob anizotropii deformatsionnykh svoystv glinistykh gruntov Novosibirskogo Priob'ya [On anisotropy of deformation properties of clay soils of the Novosibirsk Ob region]. Trudy Novosibirskogo in-ta inzhenerov zh.-d. transporta [Proceeding of the Novosibirsk Institute of Railway Engineers of Transport]. 1977. No. 180. Pp. 80–83. (in Russian)
12. K o r o b o v a O.A., B i r y u k o v a O.A. Laboratornye issledovaniya deformatsionnoy anizotropii gruntov pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh [Laboratory investigations of deformation anisotropy of soils during engineering-geological surveys]. Inzhenernye izyskaniya [Engineering survey]. 2012. No. 6. Pp. 24–32. (in Russian)
13. K o r o b o v a O.A., M a k s i m e n k o L.A. Metody usovershenstvovaniya rascheta osadok gruntovykh osnovaniy [Methods for improving the calculation of sediments of soil bases]. Interjeks-po Geo-Sibir': Sb. materialov XI Mezhdunar. nauch. konf. (13–25 apr. 2015 g.) [Interexpo Geo-Siberia: Proceedings of the XI International Scientific Conference (April 13–25, 2015)]. Novosibirsk, SSUGT, 2015. Vol. 1, No. 1. Pp. 194–199. (in Russian)
14. K o r o b o v a O.A., M a k s i m e n k o L.A., G l u s h k o v a O.I., K u z ' m i n a A.V. Otsenka vliyaniya deformatsionnoy anizotropii peschanykh i glinistykh gruntov na raschety osnovaniy zdaniy i sooruzheniy po deformatsiyam [Rating of the influence of deformation anisotropy of sandy and clay soils on the deformation distribution of bases]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2018. No. 11. Pp. 34–49. (in Russian)