

УДК 624.131.5

О.А. КОРОБОВА, Л.А. МАКСИМЕНКО, О.И. ГЛУШКОВА,  
А.В. КУЗЬМИНА**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ  
ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ  
НА РАСЧЕТЫ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ  
И СООРУЖЕНИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ**

Приводятся рекомендации, составленные в развитие гл. 5, п. 5.6 «Расчет оснований по деформациям» СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*», где изложены основные положения расчета изотропных грунтовых оснований. Разработка надежного аппарата расчета грунтовых оснований приобретает особую актуальность в настоящее время, когда данные о напряженно-деформированном состоянии грунтовых оснований в основном подтверждают положения расчетных методов, изложенных в СП 22.13330.2016, но тем не менее в ряде случаев возникает необходимость корректировки стандартных методов расчета осадок грунтовых оснований фундаментов. Поправочные коэффициенты разработаны для использования в проектной практике при необходимости определения расчетного сопротивления грунта под подошвой фундаментов и назначении размеров подошвы, а также при расчете осадок жестких фундаментов методом послойного суммирования деформаций однородного трансверсально-изотропного однослойного грунтового основания различной мощности (в том числе полуплоскости), находящегося в условиях плоской деформации. Характер деформационной анизотропии исследованных видов грунтов различен. Учет природной анизотропии грунтов позволяет более обоснованно назначать размеры подошвы фундаментов и определять их осадку, а в ряде случаев получить заметный экономический эффект.

**Ключевые слова:** рекомендации, деформационная анизотропия, показатель анизотропии, грунтовое основание, численные методы, планирование эксперимента, расчетное сопротивление грунта основания, коэффициенты влияния анизотропии грунта, расчет осадок.

**DOI 10.32683/0536-1052-2018-719-11-34-49**

Важным вопросом исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) является учет деформационной анизотропии в расчетах грунтовых массивов, который рекомендуют учитывать современные нормативные документы по расчету грунтовых оснований. Необходимо отметить, что исследованию деформационной анизотропии как экспериментальному, так и теоретическому, в том числе и с применением ЭВМ, посвящены работы многих авторов [1–8]. Успешное решение этой задачи заключается в разработке механизмов корректировки метода расчета осадок фундаментов на основе использования схемы линейно деформируемого полупространства по СП 22.13330.2016, что до настоящего времени сделано не было.

© Коробова О.А., Максименко Л.А., Глушкова О.И., Кузьмина А.В., 2018

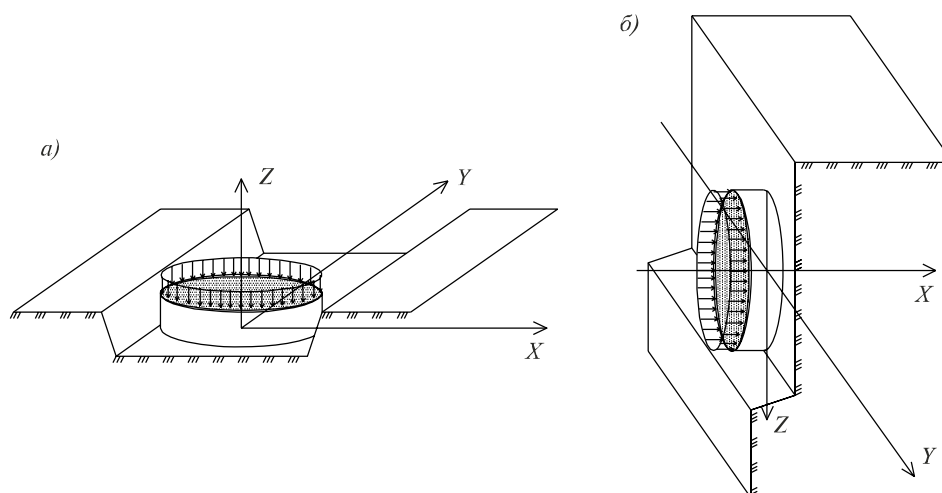


Схема отбора проб грунта при вертикальном (а) и боковом (б) положении колец

Авторами статьи предлагается алгоритм учета деформационной анизотропии в расчетах грунтовых оснований, состоящий из четырех основных этапов. На первом этапе (подготовительном) производится отбор проб грунта из монолита или непосредственно на площадке строительства по двум взаимно-перпендикулярным направлениям: перпендикулярно и параллельно напластованию грунта (рисунок).

Характеристики исследованных грунтов и площадки их отбора приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики исследованных грунтов

Образец, №	Грунт	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	W, %	$I_p$ , %	$I_L$	n, шт.	Местоположение площадки отбора
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Супесь пылеватая текучая	18,7	31	4	1,2	12	г. Кемерово, п/о «Химволокно»
2	Супесь пылеватая пластичная	17,2	38	6	1,0	12	г. Кемерово, з-д 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, п/о «Химволокно»
7	Песок плотный	17,2	3	–	–	12	г. Новосибирск, Кировский район

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
8	Песок средней плотности	18,2	9	–	–	12	г. Новосибирск, Октябрьский район
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	г. Новосибирск
11	Песок плотный ( $\sigma_1 = \sigma_3$ )	18,0	3	–	–	3	г. Новосибирск
12	Песок воздушно-сухой, плотный	18,0	3	–	–	4	г. Новосибирск
13	Суглинок твердый, уплотненный тяжелой трамбовкой (весом 10 т)	19	16	10	<0	10	г. Барнаул, Квартал 2001
14	Суглинок легкий, пылеватый твердый лессовидный, просадочный	15,5	6	10	<0	10	г. Барнаул, Квартал 2001
15	Супесь твердая, просадочная	21,4	10	2,5	<0	10	г. Барнаул, Дом моделей
16	То же	20,3	15	6	<0	10	г. Барнаул
17	Суглинок твердый, просадочный	17,4	19	11	<0	10	г. Барнаул, Речной вокзал
18	То же	17,2	18	7,5	<0	10	Новосибирская область
19	–»–	17,1	15	13	<0	6	Новосибирская область
20	Суглинок твердый	17,0	18	11	<0	6	Новосибирская область

На втором этапе (экспериментальном) в лабораторных условиях проводятся испытания образцов по стандартным методикам. В нашем случае деформации образцов грунтов 1–8, а также 13–20 (см. табл. 1) в вертикальном и горизонтальном направлениях были определены в условиях компрессии – в уплотнителях системы «Гидропроект». Грунты 9 и 11 были испытаны в ПТС системы А.Л. Крыжановского (приборе трехосного сжатия с независимым регулированием переменных величин главных напряжений) (плоская деформация) при равенстве главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_3$  ( $\sigma_z = \sigma_x$ ), действующих в плоскости деформирования образцов [9]. До начала опыта грунт 9 уплотнялся вибрированием, а грунт 11 – ручным трамбованием. Грунты 10 и 12 были исследованы в условиях гидростатического напряженного состояния образцов, т.е. при действии главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ . В этом случае оценка степени деформационной анизотропии грунтов проводилась по сопоставлению величин деформации по двум взаимно-перпендикулярным горизонтальным направлениям. Деформируемость грунтов 10 и 12 по ортогональным горизонтальным направлениям  $y$  и  $x$  приведена в табл. 2.

**Таблица 2. Деформация грунтов 10, 12 по двум взаимно-перпендикулярным направлениям  $y$  и  $x$**

$\sigma_z$ , МПа	Грунт 10			Грунт 12		
	$s_y$ , мм	$s_x$ , мм	$s_x/s_y$	$s_y$ , мм	$s_x$ , мм	$s_x/s_y$
0,00	0,00	0,00	–	0,00	0,00	–
0,05	0,48	0,50	1,04	0,28	0,27	0,96
0,10	0,66	0,67	1,02	0,33	0,32	0,97
0,15	0,71	0,74	1,04	0,50	0,48	0,96
0,20	0,74	0,77	1,04	0,56	0,53	0,95
0,25	0,81	0,86	1,06	0,61	0,59	0,97
0,30	0,85	0,91	1,07	0,66	0,63	0,95
0,40	0,97	1,02	1,05	0,72	0,71	0,99
0,50	1,00	1,07	1,07	0,77	0,75	0,97
0,60	1,13	1,18	1,04	0,81	0,79	0,98

При анализе полученных результатов представляется возможным оценить степень деформационной анизотропии грунтов 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 эта оценка была проведена по отношению  $s_x/s_y$  (по взаимно-перпендикулярным горизонтальным направлениям  $y$  и  $x$ ).

Показатели анизотропии  $\alpha$  исследованных видов грунта приведены в табл. 3, причем показатели  $\alpha$  изменяются от 0,5 до 2,1, т.е. разброс практически ощутим. Исследованиями песков и глинистых грунтов расширена область грунтов с установленной деформационной анизотропией. Глинистые

**Таблица 3. Показатели анизотропии исследованных грунтов (1–12), вычисленные по средненным значениям деформаций образцов**

Грунт, №	Значения $\alpha = s_x / s_z$ при напряжениях $\sigma_z = \sigma_1$ , МПа						$\alpha_{cp}$ (0,05–0,30)
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	
1	1,04	1,07	1,06	1,05	1,02	0,98	1,04
2	0,50	0,65	0,70	0,71	0,81	0,83	0,7
3	0,57	0,69	0,74	0,69	–	–	0,67
4	1,65	1,43	1,47	1,60	1,54	1,43	1,53
5	2,15	2,27	2,35	2,34	1,92	1,82	2,1
6	1,60	1,37	1,32	1,39	1,48	1,48	1,4
7	0,58	0,65	0,71	0,78	0,86	0,88	0,74
8	0,75	0,90	1,05	1,13	1,47	1,47	1,13
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	(0,10–0,60)
9	1,30	1,36	1,43	1,50	1,42	1,41	1,36
10	1,15	1,34	1,44	1,39	1,44	1,34	1,32
11	0,49	0,57	0,66	0,62	0,67	0,69	0,58
12	0,70	0,50	0,52	0,50	0,48	0,48	0,52

грунты г. Новосибирска, исследованные ранее В.П. Писаненко [7], характеризовались значениями  $\alpha = 1,43$  (суглинки) и  $\alpha = 1,24$  (супеси). Из анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что характер деформационной анизотропии исследованных видов 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 повышении сжимающей нагрузки значения  $\alpha$  увеличиваются. При повышении уровня действующих напряжений в условиях плоской деформации и гидростатического обжатия плотного песка средней плотности характер анизотропии не изменяется. В условиях плоской деформации показатель  $\alpha$  меньше, чем в условиях гидростатического обжатия. Показатели  $\alpha$  песка средней плотности в этих условиях превышают единицу, а плотного песка – меньше единицы.

Степень деформационной анизотропии можно оценить не только соотношением деформаций грунтовых образцов по ортогональным направлениям, но и по отношению  $\alpha = E_z/E_x$  [8] с учетом различных значений коэффициентов Пуассона (коэффициентов бокового расширения грунта);  $E_z$  и  $E_x$  – модули деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях. Показатель деформационной анизотропии  $\alpha = E_z/E_x = \varepsilon_x/\varepsilon_z$  устанавливается по результатам компрессионных испытаний стандартных образцов грунта, вырезанных из монолита или в месте отбора проб грунта по вертикальному и горизонтальному направлениям;  $\varepsilon_x$  и  $\varepsilon_z$  – относительные деформации образцов грунта в условиях невозможности бокового расширения при отборе образцов в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно. Значения  $\varepsilon_x$  и  $\varepsilon_z$  можно определить также испытаниями образцов в стабилометре. Значения коэффициента Пуассона  $\nu_{yx}$  в расчетах НДС анизотропной полуплоскости (слоя) для различных грунтов рекомендуется принимать табличными и равными для песков – 0,25; супесей – 0,30; суглинков – 0,35 и глин – 0,40.

На третьем этапе (численный эксперимент) проводятся численные исследования НДС анизотропных грунтовых оснований [10] на ЭВМ (на различных программных комплексах, в основу которых положены идеи метода конечных элементов) с применением методики математического планирования эксперимента. При этом рассматривается модель сплошной, линейно деформируемой, однородной, анизотропной среды с трансверсально-изотропным характером анизотропии. В расчетах принималась модель анизотропного грунтового основания, описываемая параметрами  $E_x, E_z, \nu_{zx}, \nu_{yx}, G_{xz}$ .

При использовании методики математического планирования эксперимента [3] была произведена оценка влияния каждого из параметров анизотропии на функции отклика (напряжения) [11]. Варьируемыми на трех уровнях факторами являлись  $E_x, E_z, \nu_{zx}$  и  $\nu_{yx}$ . Уровни и интервал варьирования приведены в табл. 4.

В результате численных исследований были получены массивы значений напряжений  $\sigma_{z\alpha}, \sigma_{x\alpha}$  и  $\tau_{zx\alpha}$  для анизотропной среды и соответствующие значения напряжений  $\sigma_z, \sigma_x$  и  $\tau_{zx}$  изотропного варианта ( $\alpha = 1,0$ ). Напряжен-

Т а б л и ц а 4. Варьирование параметров деформационной анизотропии среды

Факторы варьирования	$x_i$	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		нижний	нулевой	верхний	
		-1	0	1	
$E_z$ , МПа	$x_1$	5	22,5	40	17,5
$E_x$ , МПа	$x_2$	5	22,5	40	17,5
$\nu_{zx}$	$x_3$	0,25	0,30	0,35	0,05
$\nu_{yx}$	$x_4$	0,25	0,30	0,35	0,05

ное и деформированное состояние трансверсально-изотропной полуплоскости (слоя) рекомендуется устанавливать по результатам расчетов, выполненных методом конечных элементов при известных значениях модулей деформации грунтовой среды  $E_z$  и  $E_x$  по вертикальному и горизонтальному направлениям соответственно; коэффициентов Пуассона  $\nu_{yx}$  и  $\nu_{xz}$  в предположении  $\nu_{yx} = \nu_{xz}$ , где первый параметр характеризует боковое расширение грунта в плоскости изотропии (в горизонтальной плоскости  $xу$ ), а второй – расширение в вертикальном направлении от нормальных горизонтальных напряжений; модуль сдвига  $G_{xz}$  в вертикальной плоскости деформирования; величину  $\nu_{zx} = \nu_{xz} (E_z / E_x)$ . Модуль деформации  $E_z$  рекомендуется определять известными методами (СП 22.13330.2016). Значения модуля сдвига  $G_{xz}$  в связи с малым влиянием его на результаты расчета НДС анизотропной полуплоскости (слоя), представленной грунтами с нечетко выраженной слоистостью текстуры, рекомендуется вычислять по зависимости

$$G_{xz} = \frac{E_{cp}}{[2(1 + \nu_{cp})]}. \quad (1)$$

При условиях, перечисленных выше, методом конечных элементов определены все компоненты напряжений в прямоугольных конечных элементах, образующих зону грунтового основания, расположенную под гранью участка поверхности полуплоскости, нагруженной равномерной нагрузкой и имеющего глубину распространения, равную четверти ширины нагруженного участка; найдены средние для зоны значения главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  и среднее для зоны значение угла наибольшего отклонения  $\theta_{max}$ . В связи со слабым влиянием значений коэффициентов Пуассона на конечный результат, расчеты выполнены в предположении  $\nu_{yx} = \nu_{xz} = \text{const} (0,3)$ . Значение  $\theta_{max}$  установлено по известной зависимости теории напряжений

$$\sin \theta_{max} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \operatorname{ctg} \varphi)}. \quad (2)$$

Здесь  $\varphi$  и  $c$  – угол внутреннего трения и удельная сила сцепления грунта соответственно; для несвязного грунта  $c = 0$ .

Предельное (по прочности грунта в рассматриваемой зоне) состояние будет достигнуто при выполнении условий:

$$\sin \theta_{max} = \sin \varphi (\sin \psi), \quad (3)$$

где  $\psi$  – угол сдвига;

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\operatorname{tg}\varphi + c}{\sigma}, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – нормальное направление на площадке сдвига.

Фиксированному значению  $\varphi$  ( $\psi$ ) для определенного вида грунта основания соответствуют различные значения внешних нагрузок (давлений  $p = R$ ), зависящие от показателя анизотропии  $\alpha = E_z/E_x$ . По графикам устанавливается изменение величины давлений  $p_\alpha = R_\alpha$  в случае анизотропного основания по сравнению с изотропным ( $p = R, \alpha = 1$ ):

$$E_{\text{cp}} = \frac{E_z + E_x}{2}; \quad (5)$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{v_{yx} + v_{xz}}{2}. \quad (6)$$

Значения расчетного сопротивления грунта основания  $R$  вычисляются по СП 22.13330.2016. При известном значении внешней нагрузки  $N$  на уровне подошвы фундамента ширина  $b$  подошвы фундамента, расположенного на поверхности изотропной полуплоскости, определится по зависимости

$$b = \frac{N}{R}, \quad (7)$$

а для анизотропной полуплоскости

$$b_\alpha = \frac{N}{R_\alpha}, \quad (8)$$

т.е.

$$b_\alpha = b \frac{R}{R_\alpha}. \quad (9)$$

Таким образом, установив размер подошвы фундамента  $b$  по обычной методике расчета (без учета анизотропных свойств грунта) и соотношение  $R/R_\alpha = p/p_\alpha$ , по графикам определяем значение  $b_\alpha$ .

Соотношениями  $R/R_\alpha$  или  $b_\alpha/b$  оценивается эффект учета анизотропных свойств грунта основания.

На четвертом этапе (вычисление поправочных коэффициентов) при сравнении полученных результатов расчета НДС однородно-анизотропных и изотропных оснований в виде слоев различной мощности и полуплоскости был разработан способ, учитывающий деформационную анизотропию грунтов основания при помощи коэффициентов влияния анизотропии грунта [10].

Усовершенствование метода заключается в учете деформируемости грунта по вертикальному и горизонтальному направлениям при действии вертикальных  $\sigma_{zp,\alpha}$  и горизонтальных  $\sigma_{xp,\alpha}$  дополнительных напряжений, рассчитываемых для точек полуплоскости, которые расположены на центральной вертикали посередине слоев  $h_i$

$$s = \sum \varepsilon_{z,i} h_i, \quad (10)$$

где

$$\varepsilon_{z,i} = \frac{(\sigma_{zp_i,\alpha} - \sigma_{z\ell})}{E_z} (1 - v_{xy} v_{zy}) - \frac{\sigma_{xp_i,\alpha}}{E_x} (1 + v_{xy}).$$

Наиболее просто влияние анизотропии можно учесть путем корректировки только напряжений  $\sigma_{zp,i}$  т. е. по формуле СП 22.13330.2016

$$s = \beta \sum (\sigma_{zp,i,\alpha} - \sigma_{z\gamma}) \frac{h_i}{E_{z,i}}. \quad (11)$$

При этом точность расчета осадок несколько снижается.

Толщина  $h_i$  и количество  $n$  слоев принимается в соответствии с СП 22.13330.2016; значения  $v_i$  – табличные в соответствии с СП 22.13330.2016.

Дополнительные напряжения вычисляются по зависимостям:

$$\sigma_{zp,i,\alpha} = \sigma_{zp,i} K_{\alpha}; \quad (12)$$

$$\sigma_{xp,i,\alpha} = \sigma_{xp,i} K'_{\alpha}; \quad (13)$$

$$\sigma_{zp,i,\alpha}^y = \sigma_{zp,i}^y K_{\alpha}^y; \quad (14)$$

$$\sigma_{xp,i,\alpha}^y = \sigma_{xp,i}^y K_{\alpha}^{y'}, \quad (15)$$

где  $\sigma_{zp}(\sigma_{zp}^y)$  и  $\sigma_{xp}(\sigma_{xp}^y)$  в соответствующих точках  $i$  изотропной полуплоскости определяются по имеющимся решениям для линейно деформируемой среды;

$K_{\alpha}(K_{\alpha}^y)$  и  $K'_{\alpha}(K_{\alpha}^{y'})$  – коэффициенты влияния анизотропии грунта, представленные в табл. 5, 6.

В случае необходимости определения значений  $K_{\alpha}(K_{\alpha}^y)$  и  $K'_{\alpha}(K_{\alpha}^{y'})$  для иных точек центральной и угловой вертикалей их значения находятся

Таблица 5. Значения поправочных коэффициентов при напряжении  $\sigma_z$ , Центральная вертикаль (полосовая нагрузка)

Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,222$ SIGMA 1 Вертикаль 1															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,9	0,75	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,9	0,76	0,66	0,6	0,57	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,9	0,77	0,67	0,62	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,9	0,78	0,68	0,62	0,6	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0	0	0	0
6–560	0,9	0,78	0,68	0,63	0,61	0,6	0,61	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7	0,72	0,75	0,77	0,77
Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,562$ SIGMA 1 Вертикаль 1															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,97	0,93	0,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,97	0,93	0,89	0,86	0,85	0,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,97	0,93	0,89	0,86	0,85	0,84	0,82	0,82	0,81	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,97	0,93	0,89	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,82	0,82	0	0	0	0
6–560	0,97	0,93	0,89	0,87	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,88	0,88



Продолжение табл. 5

Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 1,778$ SIGMA 1 Вертикаль 1 Центральная вертикаль $\sigma_z$															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	1,02	1,06	1,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	1,02	1,05	1,09	1,11	1,13	1,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	1,02	1,06	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	0	0	0	0	0	0	0
4–700	1,02	1,05	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	0	0	0	0	0
6–560	1,02	1,06	1,09	1,11	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,14	1,15	1,14	1,13	1,14	1,13	1,13
Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 4,500$ SIGMA 1 Вертикаль 1															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	1,04	1,12	1,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	1,04	1,12	1,21	1,28	1,32	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	1,04	1,12	1,21	1,28	1,32	1,35	1,37	1,38	1,39	0	0	0	0	0	0	0
4–700	1,04	1,12	1,2	1,27	1,31	1,34	1,36	1,37	1,38	1,38	1,38	1,37	0	0	0	0
6–560	1,04	1,12	1,2	1,27	1,31	1,34	1,35	1,36	1,37	1,37	1,37	1,36	1,35	1,36	1,36	1,35

**Угловая вертикаль (полосовая нагрузка)**

Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,222$ SIGMA 1 Вертикаль 2															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,97	0,91	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,97	0,91	0,8	0,71	0,65	0,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,97	0,91	0,81	0,72	0,67	0,62	0,59	0,57	0,56	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,97	0,91	0,82	0,74	0,69	0,65	0,63	0,51	0,51	0,61	0,61	0,61	0	0	0	0
6–560	0,97	0,91	0,82	0,75	0,7	0,68	0,66	0,66	0,67	0,69	0,7	0,73	0,75	0,77	0,79	0,79
Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,562$ SIGMA 1 Вертикаль 2															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,99	0,97	0,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,82	0,84	0,84	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,84	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0	0	0	0
6–560	0,99	0,97	0,94	0,91	0,9	0,89	0,87	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88

Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 1,778$ SIGMA 1 Вертикаль 2 Угловая вертикаль $\sigma_z$															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	1,01	1,02	1,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	1,01	1,02	1,04	1,07	1,08	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	1,01	1,02	1,04	1,06	1,09	1,11	1,12	1,13	1,14	0	0	0	0	0	0	0
4–700	1,01	1,02	1,04	1,07	1,08	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	0	0	0	0
6–560	1,01	1,02	1,04	1,06	1,09	1,1	1,11	1,12	1,13	1,12	1,15	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 4,500$ SIGMA 1 Вертикаль 2															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	1,02	1,04	1,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	1,02	1,04	1,09	1,14	1,2	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	1,02	1,04	1,09	1,15	1,21	1,25	1,28	1,31	1,33	0	0	0	0	0	0	0
4–700	1,02	1,04	1,09	1,15	1,2	1,25	1,29	1,32	1,34	1,35	1,37	1,37	0	0	0	0
6–560	1,02	1,04	1,09	1,14	1,19	1,23	1,27	1,29	1,31	1,31	1,33	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

Таблица 6. Значения поправочных коэффициентов при напряжении  $\sigma_x$ , Центральная вертикаль (полосовая нагрузка)

Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,222$ SIGMA 2 Вертикаль 1															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	2,82	2,68	1,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	2,37	2,35	1,48	1,48	1,4	1,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	2,14	2,15	1,32	1,29	1,28	1,35	1,84	2,39	2,73	0	0	0	0	0	0	0
4–700	2,06	2,06	1,28	1,2	1,25	1,33	1,56	2,31	2,27	2	2,43	2,86	0	0	0	0
6–560	2	1,91	1,19	1,13	1,07	1,06	1,09	2	2	2	2,25	2,43	4,12	1,7	0,82	0,08
Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,562$ SIGMA 2 Вертикаль 1															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	1,47	1,36	1,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	1,37	1,33	1,22	1,2	0,98	0,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	1,33	1,23	1,1	1,15	0,73	0,62	0,48	0,39	0,36	0	0	0	0	0	0	0
4–700	1,31	1,22	1,08	1,1	0,6	0,39	0,12	0,15	0,34	2,25	2,71	2,86	0	0	0	0
6–560	1,28	1,22	1,14	1,1	0,53	0,29	0,19	0,14	0,3	2	2	2,14	3,87	3,4	3,18	3

Продолжение табл. 6

Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 1,778$ SIGMA 2 Вертикаль 1 Центральная вертикаль $\sigma_x$															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,69	0,79	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,74	0,83	0,87	0,78	0,8	0,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,76	0,84	0,9	0,81	0,88	1,15	1,16	1,26	1,32	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,78	0,86	0,98	0,85	0,95	1,28	1,37	1,54	1,73	2,25	2,37	2,57	0	0	0	0
6–560	0,79	0,86	0,98	0,95	1	1,29	1,45	2	2	3	3,45	3,57	0,5	0,2	0,18	0,08
Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 4,500$ SIGMA 1 Вертикаль 1															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,4	0,47	0,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,46	0,54	0,6	0,55	0,72	1,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,49	0,7	0,68	0,63	0,8	1,08	1,16	1,26	1,36	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,51	0,71	0,74	0,65	0,9	1,22	1,44	1,85	2,09	2,87	3,29	3,29	0	0	0	0
6–560	0,55	0,72	0,78	0,68	1,07	1,27	1,55	2,43	3	3	3,5	3,86	1,62	1,3	1,09	1

**Угловая вертикаль (полосовая нагрузка)**

Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,222$ SIGMA 2 Вертикаль 2															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	3,71	3	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	3,15	2,7	2,25	2	1,9	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	2,8	2,4	2,13	1,8	1,7	1,65	1,63	1,36	1,33	0	0	0	0	0	0	0
4–700	2,56	2,38	2,07	1,72	1,6	1,5	1,33	1,3	1,28	2,75	2	2	0	0	0	0
6–560	2,21	2,2	2	1,6	1,5	1,4	1,3	1,28	1,26	1,25	1,21	1,11	11,4	9,75	9,15	8,64
Отно- ситель- ное заглуб- ление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 0,562$ SIGMA 2 Вертикаль 2															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	1,86	1,63	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	1,54	1,51	1,41	1,29	1,85	2,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	1,41	1,39	1,37	1,25	1,6	1,09	1,15	2,07	2,07	0	0	0	0	0	0	0
4–700	1,37	1,35	1,32	1,16	1	1,5	1	1,8	2	2,75	2,33	2,07	0	0	0	0
6–560	1,34	1,31	1,29	1,12	1	1	1	1	1	1,75	1,86	1,44	3,3	2,92	2,77	2,64

Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 1,778$ SIGMA 2 Вертикаль 2 Угловая вертикаль $\sigma_x$															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,51	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,66	0,66	0,67	0,64	0,95	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,71	0,74	0,76	0,72	0,98	1,27	1,31	1,36	1,33	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,74	0,77	0,82	0,75	1	2	1,83	2,6	2,6	1,25	1,33	1,33	0	0	0	0
6–560	0,76	0,79	0,84	0,83	1,02	2	2	3	3	1,25	1,13	1,22	-0,1	0,08	0	0
Относительное заглубление	Поправочные коэффициенты $\alpha = 4,500$ SIGMA 1 Вертикаль 2															
	расчетные значения поправочных коэффициентов для:															
	0,2В	0,6В	1,0В	1,4В	1,8В	2,2В	2,6В	3,0В	3,4В	3,8В	4,2В	4,6В	5,0В	5,4В	5,8В	6,2В
1–250	0,12	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2–500	0,32	0,4	0,43	0,46	0,7	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3–750	0,4	0,47	0,56	0,5	0,8	1,18	1,31	1,36	1,4	0	0	0	0	0	0	0
4–700	0,44	0,51	0,61	0,69	1	2	2	2	2,4	2,25	3	3	0	0	0	0
6–560	0,49	0,56	0,66	0,75	1,62	2	3	3	3	1,75	1,57	1,22	-1,1	0,83	0,77	0,71

интерполяцией результатов. Значения  $K_\alpha(K_\alpha^y)$  и  $K'_\alpha(K_\alpha^{y'})$  получены путем сопоставления соответствующих напряжений, рассчитанных методом конечных элементов при  $\alpha = 1$  и  $\alpha \neq 1$ , и показывают какую долю от напряжения в изотропной среде составляют соответствующие напряжения в анизотропной.

Применение изложенной методики расчета осадок фундамента целесообразно при учете влияния соседних фундаментов, а также для расчета осадки слоя конечной мощности. Учет анизотропии грунтов еще более усугубляет негативные последствия, вызванные нарушением равновесия в режимах природы. Учет анизотропии необходим также и при решении проблемы утилизации и хранения различного вида отходов, так как характерной чертой всех ее форм (свалок, отвалов, хранилищ и т.п.) является их неоднородность по плотности, составу и, как следствие, по прочности и деформируемости. В этих случаях естественно ожидать значительного проявления анизотропии.

Установлено также, что в тех случаях, когда основание имеет показатель деформационной анизотропии  $\alpha < 1$ , значения расчетного сопротивления грунта основания  $R$  увеличиваются, что приводит к уменьшению размеров подошвы фундаментов и к получению известного экономического эффекта, и, наоборот, при  $\alpha > 1$  требуется увеличение размеров подошвы по сравнению с установленными по СП 22.13330.2016. Исследования показали, что применение изотропной модели для расчетов грунтовых оснований приводит к искажению действительной картины НДС основания.

Влияние деформационной анизотропии на величину прогнозируемых осадок при слабовыраженной анизотропии обычных грунтов оценивается

величиной, достигающей 10–40 % от расчетной осадки фундамента, расположенного на изотропном основании. Полученные данные можно использовать в расчетах оснований по деформациям при надстройке зданий и сооружений, принимая во внимание, что для анизотропных грунтов с показателем анизотропии  $\alpha < 1$  расчет по методике СП 22.13330.2016, не учитывающей анизотропию, приводит к завышенным значениям осадок, а также при таких способах усиления фундаментов, как уширение подошвы фундамента, устройство обойм, рубашек, наращиваний и т.п. Для грунтов, характеризующихся показателями анизотропии  $\alpha > 1$ , традиционный расчет дает уменьшение значения осадок, и если учесть, что для таких грунтов особенно велико влияние деформационной анизотропии, так как это, как правило, грунты, имеющие слоистую или столбчатую текстуру, то пренебрегать этим фактом при реконструкции недопустимо. Деформационную анизотропию необходимо учитывать и при переустройстве столбчатых фундаментов в ленточные, а также при пересадке фундаментов на сваи, так как все вышеизложенное справедливо и для расчета свайных фундаментов и их оснований по деформациям. Обязателен учет деформационной анизотропии и при расчете осадки фундаментов при возведении нового здания около существующего, так как для слабых грунтов основания увеличение расчетной осадки за счет учета деформационной анизотропии может оказаться недопустимо большим, особенно с точки зрения неравномерности осадок соседних фундаментов.

**Выводы.** Предложенный усовершенствованный практический метод расчета грунтовых оснований по деформациям дает возможность более точно и обоснованно производить расчет осадок фундаментов, учитывая их реальные свойства [10, 11]. Разработанные таблицы поправочных коэффициентов влияния анизотропии грунта могут быть рекомендованы для расчета осадок фундаментов с учетом деформационной анизотропии по СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б и ч Г.М., К у ш н и р е в а А.А. Исследование анизотропии деформации лессового грунта // Изв. вузов. Строительство и архитектура. Новосибирск, 1973. № 4. С. 159–161.
2. Б у г р о в А.К., Г о л у б е в А.И. Анизотропные грунты и основания сооружений. СПб.: Недра, 1993. 245 с.
3. В о з н е с е н с к и й В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 263 с.
4. В у л и с П.Д. Исследование анизотропии деформационных свойств глинистых грунтов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1973. 25 с.
5. Г о л ь д ш т е й н М.Н., Л а п к и н В.Б. К вопросу о распределении напряжений в трансверсально-изотропной грунтовой среде // Вопросы геотехники. Днепропетровск, 1972. № 21. С. 68–85.
6. К у з ь м и ц к и й В.А. К вопросу об определении деформационных характеристик анизотропных грунтов // Строительные конструкции и теория сооружений. Основания, фундаменты и механика грунтов: Республ. межвед. сб. / Госстрой БССР. Ин-т стр-ва и архитектуры. Минск: Высш. шк., 1973. № 2. С. 243–251.

7. П и с а н е н к о В.П. Об анизотропии деформационных свойств глинистых грунтов Новосибирского Приобья // Труды Новосибирского ин-та инж. ж.-д. транспорта. Новосибирск: НИИЖТ, 1977. № 180. С. 80–83.
8. Р о г а т к и н а Ж.Е. Влияние анизотропии глинистых грунтов на физико-механические свойства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1967. № 1. С. 14–15.
9. К о р о б о в а О.А., Б и р ю к о в а О.А. Лабораторные исследования деформационной анизотропии грунтов при инженерно-геологических изысканиях // Инженерные изыскания. 2012. № 6. С. 24–32.
10. К р и в о р о т о в А.П., К о р о б о в а О.А. Влияние деформационной анизотропии грунта на осадки жестких фундаментов // Информ. листок о научно-техническом достижении. № 87–19 / ЦНТИ. Новосибирск, 1987. 5 с.
11. К о р о б о в а О.А., М а к с и м е н к о Л.А. Методы усовершенствования расчета осадок грунтовых оснований // Интерэкспо Гео-Сибирь: Сб. материалов XI Международ. науч. конф. (13–25 апр. 2015 г., г. Новосибирск СГУГиТ). Новосибирск, 2015. Т. 1, № 1. С. 194–199.

**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

**Глушкова Ольга Игоревна**, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Кузьмина Алина Владимировна**, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 10.10.18

**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

**Glushkova Olga Igorevna**, Student

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

**Kuzmina Alina Vladimirovna**, Student

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

## **EVALUATION OF THE EFFECT OF DEFORMATION ANISOTROPY SANDY AND CLAY SOILS IN THE CALCULATIONS OF FOUNDATION'S OF BUILDINGS AND STRUCTURES ACCORDING TO THE DEFORMATION**

The article presents the recommendations made in the development of Chapter 5, paragraph 5.6 «Calculation of the grounds for deformation» SP 22.13330.2016 «Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.02.01–83\*», which sets out the basic provisions of the calculation of isotropic soil bases. The development of a reliable apparatus for calculating soil bases is particularly relevant at the present time, when the available data on the stress-strain state of soil bases, mainly confirm the provisions of the calculation methods set out in SP 22.13330.2016, but in some cases, there is a need to adjust the standard methods for calculating the sediment of soil foundations. Correction factors are

developed for use in design practice when it is necessary to determine the design resistance of the soil under the sole of the foundations and the purpose of the sole size, as well as when calculating the sediment of rigid foundations by the method of layer-by-layer summation of deformations of a homogeneous transversally isotropic single – layer soil base of different power (including-half-plane) under conditions of flat deformation. The character of deformation anisotropy of the studied soil types is different. Taking into account the natural anisotropy of soils allows you to more reasonably assign the size of the sole of the foundations and determine their sediment, and in some cases get a noticeable economic effect.

**Key words:** recommendations, deformation anisotropy, an indicator of anisotropy, the subgrade, numerical methods, design of experiments, the design resistance of the Foundation soil, the influence coefficients of anisotropy of soil, calculation of sediment.

#### REFERENCES

1. Bich G.M., Kushnireva A.A. Issledovanie anizotropii deformatsii lessovogo grunta [Investigation of anisotropy of deformation of loess soil]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture]. 1973. No. 4. Pp. 159–161. (in Russian)
2. Bugrov A.K., Golubev A.I. Anizotropnye grunty i osnovaniya sooruzheniy [Anisotropic soils and foundations of structures]. Saint-Petersburg, 1993. 245 p. (in Russian)
3. Voznesenskiy V.A. Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyakh [Statistical methods of experiment planning in technical and economic research]. Moscow, 1981. 263 p. (in Russian)
4. 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)
5. Gol'dshteyn M.N., Lapkin V.B. K voprosu o raspredelenii napryazheniy v transversal'no-izotropnoy gruntovoy srede [The question of the distribution of stresses in a transversely isotropic soil medium]. *Voprosy geotekhniki* [Geotechnical issues]. Dnepropetrovsk, 1972. No. 21. Pp. 68–85. (in Russian)
6. 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, fundamentey i mekhanika gruntov: Respublikanskije mezhvedomstvennyye sborniki*. Minsk, 1973. No. 2. Pp. 243–251. (in Russian)
7. Pisarenko 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 instituta inzhenerov zh.-d. transporta*. Novosibirsk, 1977. No. 180. Pp. 80–83. (in Russian)
8. Rogatkina Zh.E. Vliyanie anizotropii glinistykh gruntov na fiziko-mekhanicheskie svoystva [The effect of anisotropy of clayey soils on the physico-mechanical properties]. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov* [Foundations and soil mechanics]. 1967. No. 1. Pp. 14–15. (in Russian)
9. Korobova O.A., Biryukova 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)

10. Krivorotov A.P., Korobova O.A. Vliyanie deformatsionnoy anizotropii grunta na osadki zhestkikh fundamentov [Influence of the deformation anisotropy of the soil on the sediments of rigid foundations]. Inform. listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii. No. 87–19 / CNTI. [Information sheet on scientific and technical achievements. No. 87–19]. Novosibirsk, 1987. 5 p. (in Russian)
  11. Korobova O.A., Maksimenko L.A. Metody usovershenstvovaniya rascheta osadok gruntovykh osnovaniy [Methods for improving the calculation of sediments of soil bases]. Interekspo Geo-Sibir': Sb. materialov XI Mezhdunar. nauch. konf. (13–25 apr. 2015 g.), g. Novosibirsk [Interexpo Geo-Siberia: Proceedings of the XI International Scientific Conference (April 13–25, 2015), Novosibirsk, 2015]. Novosibirsk, 2015. Vol. 1, No. 1. Pp. 194–199. (in Russian)
-