

УДК 624.131

Л.В. Нуждин, О.А. Коробова, М.Л. НуждинНовосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
Новосибирск, Россия**ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ
С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ
ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ**

Излагается практический метод расчета осадок фундаментов с учетом анизотропии грунтов основания. Он основан на методике расчета деформаций грунтовых оснований по действующей нормативной документации – Своду правил СП 22.13330.2011 (Актуализированной редакции СНиП 2.02.01–83*. Основания зданий и сооружений). Предложенный метод предусматривает учет анизотропии грунтов при определении расчетного сопротивления грунта R под подошвой фундаментов сооружения (назначении размеров их подошвы) и расчете осадок жестких фундаментов S_α методом послойного суммирования деформаций. Для учета анизотропных свойств грунтов предлагается введение в расчет коэффициентов влияния анизотропии грунта k_α и K_α , зависящих от показателя анизотропии грунта α и напряженно-деформированного состояния основания (вида фундамента).

Ключевые слова: осадки фундаментов, деформационная анизотропия грунтов, метод послойного суммирования, расчетное сопротивление грунта основания.

L.V. Nuzhdin, O.A. Korobova, M.L. NuzhdinNovosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk,
Russian Federation**THE PRACTICAL CALCULATION METHOD OF FOUNDATION
SETTLEMENTS WITH REGARD STRAIN ANISOTROPY
OF THE SOIL BASEMENT**

The article describes the practical method for calculating foundation settlements taking into account the anisotropy of soil base. It is based on the method of calculation of deformations of soil base-ments for the current regulatory documents – SP 22.13330.2011 (Updated edition of SNiP 2.02.01–83*. Foundations of buildings and structures). The proposed method involves consideration of soil anisotropy in determining the estimated resistance of soil R under the foundation structures (appointment of the size of their soles) and the calculation of settlements of rigid foundations S_α stratified by summing de-formations. To account for the anisotropic properties of soils is proposed to introduce in the calculation of the influence coefficient of soil anisotropy k_α and K_α , depending on soil anisotropy index α and stress-strain state of a base (foundation species).

Keywords: foundation settlements, soil deformation anisotropy, method of layer-stack design scheme, estimated resistance of base soil.

Введение

Предлагаемый практический метод расчета осадок фундаментов сооружения с учетом деформационной анизотропии грунтов разработан применительно к методике расчета деформаций грунтовых оснований согласно действующей нормативной документации – Своду правил СП 22.13330.2011 (Актуализированной редакции СНиП 2.02.01–83*. Основания зданий и сооружений). Он предусматривает учет анизотропии грунтов при определении расчетного сопротивления грунта R под подошвой фундаментов сооружения (назначении размеров фундаментов) и расчете осадок жестких фундаментов S_α методом послойного суммирования деформаций по расчетной схеме линейно-деформируемого трансверсально-изотропного полупространства с условным ограничением глубины сжимаемой толщи или линейно-деформируемого трансверсально-изотропного однородного слоя.

Данный метод разработан на основе результатов многолетних комплексных исследований грунтов и грунтовых оснований, обладающих анизотропными свойствами, которые проводились на кафедре инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) и кафедре оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Алтайского технического университета им. И.И. Ползунова [1–4]. Комплексные исследования включали в себя: экспериментальное подтверждение существования и выявление степени деформационной анизотропии грунтов; микроструктурные исследования анизотропии грунтов; изучение особенностей напряженно-деформированного состояния оснований, сложенных анизотропными грунтами, и поведения возводимых на них фундаментов; формирование расчетных моделей и численное изучение работы анизотропных грунтовых оснований и другие связанные с темой вопросы. Экспериментальные исследования в связи со сложностью оценки разнонаправленных компонентов напряжений и деформаций проводились преимущественно в лабораторных условиях. При этом предпочтение отдавалось стабилметрическим опытам и испытаниям грунтов в приборе трехосного сжатия с независимым регулированием переменных величин главных напряжений. Так, было испытано более 20 разновидностей грунтов естественного сложения различной номенклатуры и техногенных грунтов с наведенной анизотропией. Численные исследования выполнялись в программных

комплексах ORL, GroundBase, COSMOS/M, SolidWorks, ANSYS, PLAXIS.

В результате исследований было установлено, что достаточно часто внешне однородные дисперсные грунты без четко выраженных текстурных особенностей, независимо от способа формирования их структуры, обладают деформационной анизотропией. При анализе полученных материалов представляется возможным оценивать степень анизотропии грунтов показателем $\alpha = s_x/s_z = \varepsilon_x/\varepsilon_z$; где s_z и s_x , ε_z и ε_x – абсолютные и относительные деформации в вертикальном и горизонтальном направлении соответственно. Упрощенным способом оценки анизотропии может служить соотношение модулей деформации E_z/E_x , вычисленных через измеренные ε_z и ε_x по зависимостям изотропной среды. Показатель $\alpha = E_z/E_x$, оценивающий деформационную анизотропию грунтов, в основном изменяется в диапазоне от 0,5 до 2,1 (и более для специфических видов грунтов).

Для глинистых и несвязных грунтов одними из факторов, определяющих деформационную анизотропию, являются вещественный состав главных компонентов глинистых и песчано-пылеватых частиц и структурно-текстурные особенности, связанные с условиями их формирования. Микроструктурные исследования подтвердили гипотезу о том, что менее деформируемые связи образуются по направлению основного гравитационного или метаморфического воздействия, а более деформируемые связи – по перпендикулярным направлениям.

Численными исследованиями выявлено относительно слабое влияние изменяемости коэффициентов Пуассона и модулей сдвига грунтов на напряженное состояние анизотропных оснований и осадок их нагружаемой поверхности (возводимых фундаментов). Последнее позволяет сделать вывод о возможности упрощения методики экспериментального определения этих параметров (ν и G) для стандартных расчетов подобных оснований.

Степень деформационной анизотропии определяется не только видом грунта, но и характером напряженного состояния, в котором он находится. При увеличении сжимающих напряжений значения α увеличиваются.

Учет деформационной анизотропии грунтов основания (и вида внешней нагрузки) может заметно (до 10–20 %) изменить величины расчетного сопротивления грунта R и прогнозируемых осадок фунда-

ментов s даже при сравнительно слабом ее выражении у «обычных» природных грунтов. Это влияние достаточно велико для специфических видов грунтов, имеющих слоистую или столбчатую текстуру при значениях α , далеких от единицы.

Параметры деформационной анизотропии грунтового основания

Напряженно-деформированное состояние (НДС) трансверсально-изотропного полупространства (или 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 поперечной деформации Пуассона ν_{yx} и ν_{xz} (в предположении $\nu_{yz} = \nu_{xz}$), где первый параметр характеризует боковое расширение грунта в плоскости изотропии (в горизонтальной плоскости $x-y$), а второй – расширение в вертикальном направлении от нормальных горизонтальных напряжений; модуля сдвига G_{xz} в вертикальной плоскости деформирования. С учетом анизотропии полагаем $\nu_{yz} = \nu_{xz} = \nu_{yx}(E_x/E_z)$.

Модули деформации E_z определяются известными методами, рекомендованными СП 22.13330.2011. Показатель деформационной анизотропии $\alpha = E_z/E_x = \epsilon_x/\epsilon_z$ устанавливается по результатам сравнительных стабилметрических или компрессионных испытаний стандартных образцов грунта, вырезанных из монолита или непосредственно в месте отбора проб по вертикальному и горизонтальному направлениям (ϵ_x и ϵ_z – относительные деформации образцов грунта отобранных соответственно в горизонтальном и вертикально направлениях).

Значения коэффициентов Пуассона ν_{yx} в расчетах НДС анизотропного полупространства (или слоя) для различных грунтов допускается принимать табличными и равными для песков – 0,27; супесей – 0,30; суглинков – 0,35 и глин – 0,40.

Значения модуля сдвига G_{xz} , в связи с малым влиянием его на результаты НДС анизотропного полупространства (или слоя), представленного грунтами с нечетко выраженной слоистостью текстуры, рекомендуется вычислять по зависимостям:

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

Расчетное сопротивление анизотропного грунта под подошвой фундамента Определение размеров подошвы фундамента

Величина расчетного сопротивления грунта основания R вычисляется по формуле (5.7) СП 22.13330.2011

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_y k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}]. \quad (2)$$

Учет анизотропных свойств основания производится введением поправочного коэффициента k_α , зависящего от показателя анизотропии грунта α и угла наибольшего отклонения полного напряжения от нормали к площадке, на которой оно действует, θ_{max} . В качестве примера на рис. 1 показаны соотношения R/R_α , вычисленные для ленточного фундамента шириной $b = 1,6$ м на анизотропных основаниях с показателем $0,13 \leq \alpha \leq 8$ при значениях $\theta_{max} = 20 \dots 40^\circ$. Поскольку для определения размеров фундаментов принимается, что $p = N/lb \leq R$, то корректировка $R_\alpha = R/k_\alpha$ приводит к $b_\alpha = k_\alpha b$.

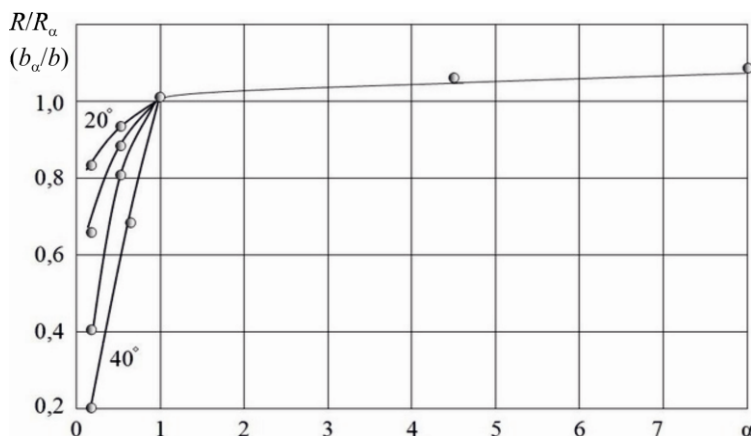


Рис. 1. Поправочный коэффициент k_α для корректировки расчетного сопротивления грунта основания R в зависимости от показателя анизотропии грунта α и угла наибольшего отклонения θ_{max}

Значение наибольшего угла отклонения $\theta_{\max}$ определено при расчете напряженного состояния грунтового основания под фундаментом по известной зависимости

$$\sin \theta_{\max} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi)} \quad (3)$$

из предположения, что достижение предельного состояния грунта в рассматриваемой зоне будет соответствовать условию

$$\sin \theta_{\max} = \sin \varphi (\sin \psi); \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\operatorname{tg} \varphi + c}{\sigma},$$

где ψ – угол сдвига. При этом фиксированное значение $\varphi(\psi)$ для определенного вида грунта определяется соответствующей внешней нагрузкой p ($p = R$). Значения угла $\theta_{\max}$ приведены на рис. 2.

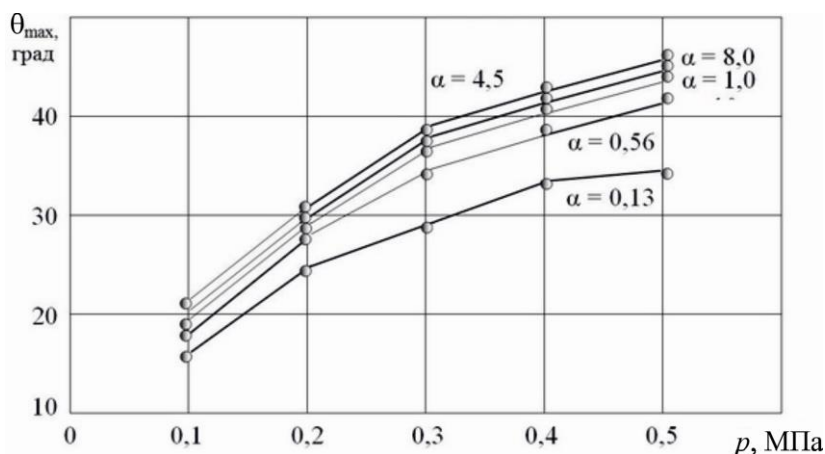


Рис. 2. Зависимость угла наибольшего отклонения $\theta_{\max}$ от показателя анизотропии грунта α и среднего давления p под подошвой фундамента

Осадка основания фундамента с учетом анизотропии грунтов

Расчет осадки фундамента на анизотропном основании S_α в соответствии с рекомендациями СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01–83*) более корректно выполнять, применяя усовершенствованный метод послойного суммирования деформаций, учитывающий разную деформи-

руемость грунта по вертикальному и горизонтальному направлениям при действии вертикальных $\sigma_{zp,\alpha}$ и горизонтальных $\sigma_{xp,\alpha}$ напряжений от внешней нагрузки (от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта), рассчитываемых в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента:

$$S = \Sigma \varepsilon_{z,i} \cdot h_i, \quad \varepsilon_{z,i} = \frac{\sigma_{zp,i,\alpha}}{E_z} (1 - \nu_{xy} \nu_{zy}) - \frac{\sigma_{xp,i,\alpha}}{E_x} (1 + \nu_{xy}). \quad (5)$$

Но наиболее просто (и строго в соответствии с СП 22.13330.2011) влияние анизотропии грунта можно учесть по формуле (5.16) СП 22.13330.2011 путем корректировки только напряжений $\sigma_{zp,i}$ и, при необходимости, $\sigma_{zy,i}$.

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy} h_i}{E_{e,i}}. \quad (6)$$

При этом точность расчета осадок основания фундамента несколько снижается.

Число слоев, на которые разбивается сжимаемая толща основания n , и толщина i -го слоя h_i принимаются в соответствии со СП 22.13330.2011; значения ν_i , как было отмечено ранее, допускается брать по таблицам. Вертикальные напряжения от внешней нагрузки σ_{zp} и напряжения от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента σ_{zy} также рассчитываются по формулам СП 22.13330.2011. Учет анизотропных свойств грунтов основания производится введением поправочных коэффициентов K_α , зависящих от показателя деформационной анизотропии α , размеров, формы и глубины заложения фундамента, распределения давления на грунт по его подошве (для прямоугольных, круглых и ленточных жестких фундаментов – от относительной глубины z_i от подошвы фундамента и относительной мощности слоя H_c):

$$\begin{aligned} \sigma_{zp,i,\alpha} &= K_{az} \sigma_{zp,i}; \quad \sigma_{zy,i,\alpha} = K_{az} \sigma_{zy,i}; \quad \sigma_{xp,i,\alpha} = K_{ax} \sigma_{xp,i}; \\ \sigma_{xy,i,\alpha} &= K_{ax} \sigma_{xy,i}; \quad \sigma_{zp,c,\alpha} = K_{az}' \sigma_{zp,c}; \quad \sigma_{zy,c,\alpha} = K_{az}' \sigma_{zy,c}; \\ \sigma_{xp,c,\alpha} &= K_{ax}' \sigma_{xp,c}; \quad \sigma_{xy,i,\alpha} = K_{ax}' \sigma_{xy,i}. \end{aligned} \quad (7)$$

[illegible]

Окончание табл. 1

3,75b	1,02	1,06	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	1,02	1,05	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	–	–	–	–
≥6,50b	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
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 4,50$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	1,04	1,12	1,21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50b	1,04	1,12	1,21	1,28	1,32	1,35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	1,04	1,12	1,21	1,28	1,32	1,35	1,37	1,38	1,39	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	1,04	1,12	1,20	1,27	1,31	1,34	1,36	1,37	1,38	1,38	1,38	1,37	–	–	–	–
≥6,50b	1,04	1,12	1,20	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

Таблица 2

Поправочные коэффициенты K_{az}' для корректировки вертикальных нормальных напряжений σ_z в грунтовом основании от внешней нагрузки при учете анизотропии грунтов

Для ленточного фундамента (полосовой нагрузки) по вертикали, проходящей под углом (наружной гранью) подошвы фундамента																
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 0,22$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8 b	6,2 b
1,25b	0,97	0,91	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50b	0,97	0,91	0,80	0,71	0,65	0,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,75b	0,97	0,91	0,81	0,72	0,67	0,62	0,59	0,57	0,56	—	—	—	—	—	—	—
4,70b	0,97	0,91	0,82	0,74	0,69	0,65	0,63	0,51	0,51	0,61	0,61	0,61	—	—	—	—
$\geq 6,50b$	0,97	0,91	0,82	0,75	0,70	0,68	0,66	0,66	0,67	0,69	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,79
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 0,56$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	0,99	0,97	0,94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50b	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,75b	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,82	0,84	0,84	—	—	—	—	—	—	—
4,70b	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,84	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	—	—	—	—
$\geq 6,50b$	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
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 1,78$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	1,01	1,02	1,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 2

2,50b	1,01	1,02	1,04	1,07	1,08	1,10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	1,01	1,02	1,04	1,06	1,09	1,11	1,12	1,13	1,14	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	1,01	1,02	1,04	1,07	1,08	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	–	–	–	–
≥6,50b	1,01	1,02	1,04	1,06	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,12	1,15	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 4,50$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8 b	2,2 b	2,6 b	3,0 b	3,4 b	3,8 b	4,2 b	4,6 b	5,0 b	5,4 b	5,8 b	6,2 b
1,25b	1,02	1,04	1,09	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50b	1,02	1,04	1,09	1,14	1,20	1,25	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	1,02	1,04	1,09	1,15	1,21	1,25	1,28	1,31	1,33	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	1,02	1,04	1,09	1,15	1,20	1,25	1,29	1,32	1,34	1,35	1,37	1,37	–	–	–	–
≥6,50b	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 3

Поправочные коэффициенты $K_{\alpha x}$ для корректировки горизонтальных напряжений σ_x в грунтовом основании от внешней нагрузки при учете анизотропии грунтов

Для ленточного фундамента (полосовой нагрузки) по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента																
Относительная мощность слоя H_c	При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 0,22$															
	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	2,82	2,68	1,97	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50b	2,37	2,35	1,48	1,48	1,40	1,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,75b	2,14	2,15	1,32	1,29	1,28	1,35	1,84	2,39	2,73	—	—	—	—	—	—	—
4,70b	2,06	2,06	1,28	1,20	1,25	1,33	1,56	2,31	2,27	2,00	2,43	2,86	—	—	—	—
≥6,50b	2,00	1,91	1,19	1,13	1,07	1,06	1,09	2,00	2,00	2,00	2,25	2,43	4,12	1,70	0,82	0,08
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 0,56$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	1,47	1,36	1,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50b	1,37	1,33	1,22	1,20	0,98	0,94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,75b	1,33	1,23	1,10	1,15	0,73	0,62	0,48	0,39	0,36	—	—	—	—	—	—	—
4,70b	1,31	1,22	1,08	1,10	0,60	0,39	0,12	0,15	0,34	2,25	2,71	2,86	—	—	—	—
≥6,50b	1,28	1,22	1,14	1,10	0,53	0,29	0,19	0,14	0,30	2,00	2,00	2,14	3,87	1,50	0,48	0,08
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 1,78$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	0,69	0,79	0,82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 3

2,50b	0,74	0,83	0,87	0,78	0,8	0,98	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	0,76	0,84	0,90	0,81	0,88	1,15	1,16	1,26	1,32	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	0,78	0,86	0,98	0,85	0,95	1,28	1,37	1,54	1,73	2,25	2,37	2,57	–	–	–	–
≥6,50b	0,79	0,86	0,98	0,95	1,00	1,29	1,45	2,00	2,00	3,00	3,45	3,57	0,50	0,20	0,18	0,08
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 4,50$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	0,40	0,47	0,56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50b	0,46	0,54	0,60	0,55	0,72	1,07	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	0,49	0,7	0,68	0,63	0,80	1,08	1,16	1,26	1,36	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	0,51	0,71	0,74	0,65	0,90	1,22	1,44	1,85	2,09	2,87	3,29	3,29	–	–	–	–
≥6,50b	0,55	0,72	0,78	0,68	1,07	1,27	1,55	2,43	3,00	3,00	3,50	3,86	1,62	1,30	1,09	1,00

Таблица 4

Поправочные коэффициенты $K_{\alpha\chi}'$ для корректировки горизонтальных напряжений σ_{χ} в грунтовом основании от внешней нагрузки при учете анизотропии грунтов

Для ленточного фундамента (полосовой нагрузки) по вертикали, проходящей под углом (наружной гранью) подошвы фундамента																
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 0,22$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	3,71	3,00	2,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50b	3,15	2,70	2,25	2,00	1,90	1,80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	2,80	2,40	2,13	1,80	1,70	1,65	1,63	1,36	1,33	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	2,56	2,38	2,07	1,72	1,60	1,50	1,33	1,30	1,28	2,75	2,00	2,00	–	–	–	–
$\geq 6,50b$	2,21	2,20	2,00	1,60	1,50	1,40	1,30	1,28	1,26	1,25	1,21	1,11	1,14	9,75	9,15	8,64
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 0,56$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	1,86	1,63	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50b	1,54	1,51	1,41	1,29	1,85	2,92	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	1,41	1,39	1,37	1,25	1,60	1,09	1,15	2,07	2,07	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	1,37	1,35	1,32	1,16	1,00	1,50	1,00	1,80	2,00	2,75	2,33	2,07	–	–	–	–
$\geq 6,50b$	1,34	1,31	1,29	1,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,75	1,86	1,44	3,30	2,92	2,77	2,64
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 1,78$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	0,51	0,60	0,60	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 4

2,50b	0,66	0,66	0,67	0,64	0,95	0,96	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	0,71	0,74	0,76	0,72	0,98	1,27	1,31	1,36	1,33	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	0,74	0,77	0,82	0,75	1,00	2,00	1,83	2,60	2,60	1,25	1,33	1,33	–	–	–	–
≥6,50b	0,76	0,79	0,84	0,83	1,02	2,00	2,00	3,00	3,00	1,25	1,13	1,22	0,10	0,08	0	0
При показателе деформационной анизотропии $\alpha = 4,50$																
Относительная мощность слоя H_c	На относительной глубине от подошвы фундамента z_i :															
	0,2b	0,6b	1,0b	1,4b	1,8b	2,2b	2,6b	3,0b	3,4b	3,8b	4,2b	4,6b	5,0b	5,4b	5,8b	6,2b
1,25b	0,12	0,30	0,30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50b	0,32	0,40	0,43	0,46	0,70	0,72	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,75b	0,40	0,47	0,56	0,50	0,80	1,18	1,31	1,36	1,40	–	–	–	–	–	–	–
4,70b	0,44	0,51	0,61	0,69	1,00	2,00	2,00	2,00	2,40	2,25	3,00	3,00	–	–	–	–
≥6,50b	0,49	0,56	0,66	0,75	1,62	2,00	3,00	3,00	3,00	1,75	1,57	1,22	1,10	0,83	0,77	0,71

Значения $K_{\alpha z}$, $K_{\alpha z}$, $K_{\alpha z}$, $K_{\alpha z}$, $K_{\alpha z}$ для ленточного фундамента в качестве примера приведены в табл. 1–4. Данные значения получены путем сопоставления соответствующих напряжений, рассчитанных методом конечных элементов для грунтовых оснований при $\alpha = 1$ и $\alpha \neq 1$. В табл. 1–4 значения относительной глубины от слоя от подошвы фундамента $z_i = 0,2b, 0,6b, 1,0b, \dots 6,2b$ приняты с учетом применения K_α для корректировки средних значений соответствующих напряжений в i -х слоях грунта при разбиении сжимаемой толщи на $h_i = 0,4b$. При необходимости корректировки напряжений на другой глубине промежуточные значения K_α могут быть найдены интерполяцией.

При необходимости определения вертикальных напряжений от внешней нагрузки на глубине z от подошвы фундамента по вертикали, проходящей через произвольную точку A под прямоугольным фундаментом или за его пределами $\sigma_{zp,\alpha}$ (для учета влияния соседних фундаментов или нагрузок на прилегающие площади), следует использовать поправочные коэффициенты K_α , аналогичные приведенным в табл. 2 и 4. Предлагаемый подход также удобно использовать для оценки деформаций основания при усилении грунтов (создании наведенной анизотропии) и реконструкции сооружений с увеличением нагрузок на фундаменты.

Заключение

Результаты исследований и расчетов по предлагаемому практическому методу показывают, что учет природной (или наведенной в техногенных грунтах) анизотропии грунтов позволяет более обоснованно назначать размеры фундаментов и прогнозировать их осадку, а в ряде случаев получить ощутимый экономический эффект. Когда грунты основания имеют показатель деформационной анизотропии $\alpha > 1$, требуется увеличение размеров подошвы по сравнению с определяемыми по требованиям СП 22.13330.2011, и, наоборот, при $\alpha < 1$ величина расчетного сопротивления грунта основания R возрастает, что позволяет уменьшить размеры фундамента. Применение изотропных моделей для расчетов анизотропных грунтовых оснований приводит к искажению действительной картины их НДС.

Влияние деформационной анизотропии на прогнозируемые осадки фундаментов при слабо выраженной анизотропии обычных грунтов

может оцениваться величиной, достигающей 10–40% от расчетного значения осадки фундамента, расположенного на изотропном основании. Для грунтов с показателем анизотропии $\alpha < 1$ неучет анизотропии приводит к завышению расчетных осадок, а при $\alpha > 1$ – происходит их занижение. Последнее может быть очень важным для проектирования усиления грунтов с созданием наведенной анизотропии, в том числе при возведении рядом с существующим новых сооружений или дополнительной загрузке прилегающих к фундаменту площадей. В этих случаях нужно обращать особое внимание на оценку неравномерности осадок фундаментов.

Библиографический список

1. Криворотов, А.П., Коробова О.А. Влияние деформационной анизотропии грунта на осадки жестких фундаментов // Инф. листок о научно-техническом достижении. № 87-19 / ЦНТИ. – Новосибирск, 1987. – 5 с.
2. Швецов Г.И., Коробова О.А.. Исследование деформационной анизотропии лессовых просадочных грунтов / Г.И. Швецов, // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 1997. – № 9 – С. 93–97.
3. К методике проведения и обработки результатов экспериментальных исследований деформационной анизотропии грунтов / О.А. Коробова, А.Н. Козлов, В.В. Пехур, О.В. Сабурова // Сб. трудов НГАСУ (Сибстрин). Т. 12. – Новосибирск, 2009. – № 3 (46). – С. 54–60.
4. Коробова О.А., Бирюкова О.А. // Лабораторные исследования деформационной анизотропии грунтов при инженерно-геологических изысканиях Инженерные изыскания. – 2012. – № 6. – С. 24–32.

References

1. Krivorotov A.P., Korobova O.A. Vliyaniye deformatsionnoj anizotropii grunta na osadki zhestkikh fundamentov [Influence of soil deformation anisotropy on precipitation hard foundations]. *Inf. listok o nauchno-tehnicheskom dostizhenii*. Novosibirsk: TsNTI, 1987, no. 87-19, 5 p.
2. Shvetsov G.I., Korobova O.A. Issledovaniye deformatsionnoj anizotropii lessovykh prosadochnykh gruntov [Investigation of deformation anisotropy loess soil subsidence]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 1997, no. 9. pp. 93-97.

3. Korobova O.A., Kozlov A.N., Pekhur V.V., Saburova O.V. K metodike provedeniya i obrabotki rezultatov eksperimentalnykh issledovaniy deformatsionnoy anizotropii gruntov [On the methods of treatment and results of experimental studies of soil deformation anisotropy]. *Sbornik trudov NGASU (Sibstrin)*. Novosibirsk, 2009. no. 3 (46), pp.54-60.

4. Korobova O.A., Biryukova O.A. Laboratornye issledovaniya deformatsionnoy anizotropii gruntov pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh [Laboratory studies of deformation anisotropy of soils in geotechnical investigations]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2012, no. 6, pp.24-32.

Об авторах

Нуждин Леонид Викторович (Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) (e-mail: nuzhdin_ml@mail.ru).

Коробова Ольга Александровна (Новосибирск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) (e-mail: oakorobova@mail.ru).

Нуждин Матвей Леонидович (Новосибирск, Россия) – начальник НИВЦ «Геотехника» Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) (e-mail: 89139059520@mail.ru).

About the authors

Nuzhdin Leonid Viktorovich (Novosibirsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Professor, Head of Department EGBF, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (e-mail: nuzhdin_ml@mail.ru).

Korobova Olga Alexandrovna (Novosibirsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department EGBF, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (e-mail: oakorobova@mail.ru).

Nuzhdin Matvey Leonidovich (Novosibirsk, Russian Federation) – Head of RVC “Geotechnics”, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (e-mail: 89139059520@mail.ru).

Получено 11.04.2014