

Коробова О.А.,
д-р техн. наук, проф.
Бирюкова О.А., аспирант
Любич И. В., аспирант
Новосибирский
государственный
архитектурно-строитель-
ный
университет (Сибстрин),
Россия

Участники конференции,
Национального первенства
по научной аналитике,
Открытого
Европейско-Азиатского
первенства
по научной аналитике

МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ ГРУНТОВ В РАСЧЕТАХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

В статье представлен усовершенствованный метод расчета деформаций грунтовых оснований, позволяющий учитывать деформационную анизотропию грунта. Исследованиями выявлено, что влияние деформационной анизотропии на величину прогнозируемых осадок при слабо выраженной 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 показателем анизотропии $\lambda < 1$ расчет по методике СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» не учитывающей анизотропию, приводит к завышенным значениям осадок, а также при таких способах усиления фундаментов, как уширение подошвы фундамента, устройства обойм, рубашек, наращиваний и т.п. Для грунтов, характеризующихся показателями анизотропии $\lambda > 1$, традиционный расчет дает уменьшение значения осадок, и если учесть, что для таких грунтов особенно велико влияние деформационной анизотропии, т.к. это, как правило, грунты, имеющие слоистую или столбчатую текстуру, то пренебрегать этим фактом при реконструкции недопустимо.

Ключевые слова: деформационная анизотропия, грунты, анизотропное грунтовое основание, метод расчета по деформациям, усовершенствованный метод.

An improved method of calculating the deformation of soil bases for incorporating strain anisotropy of the soil is presented in the article. Research has shown that the influence of strain anisotropy on the value of the predicted settlements with poorly expressed anisotropy of ordinary soils is estimated to reach 10-40% of the theoretical foundation settlement, located on the isotropic base. The obtained data can be used in the calculation of basis for distortions in the superstructure of buildings and structures, taking into account that for anisotropic soils the anisotropy index $a < 1$ by the method of calculation of SP 22.13330.2011 "Foundations of buildings and structures" which ignores the anisotropy, leads to overstated values of settling and in such a ways of the foundations enhancements as the foundation base broadening, the clips arrangement, casings, build-ups, etc. For soils with the anisotropy index $a > 1$, the traditional calculation gives the decrease of the settling values. Considering that strain anisotropy impact is particularly high as these are usually soils with a layered or columnar texture, neglecting of this fact during the reconstruction is unacceptable.

Keywords: strain anisotropy, soils, anisotropic foundation bed, stiffness analysis method, improved method.

Многочисленные исследования ученых, как в России, так и за рубежом убедительно свидетельствуют о том, что все нескальные грунты обладают свойством деформационной анизотропии. [1] В связи с этим, учет анизотропных свойств грунтов в расчетах грунтовых оснований позволяет уточнить их реальные свойства и в настоящее время приобретает свою неоспоримую актуальность. Для достижения этой цели авторами были проведены многочисленные экспериментальные и теоретические исследования по выявлению и оценке напряженно-деформированного состояния

(н.д.с.) анизотропных грунтовых оснований, целью которых являлось создать практический метод расчета деформаций фундаментов, позволяющий учесть их деформационную анизотропию. [2] Этот метод заключается в следующем. На первом этапе при оценке инженерно-геологических условий необходимо определить модули деформации грунтов по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Для определения деформируемости грунтов по взаимно перпендикулярным направлениям пробы грунта необходимо отбирать при вертикальном и боковом положении колец (по шесть

проб в каждом случае) (рисунок 1). Исследования грунтов естественного сложения были проведены по стандартным методикам в уплотнителях системы "Гидропроект" (рисунок 2).

Исследования деформационной анизотропии грунтов, имеющих структуру, сформированную простой отсыпкой, уплотнением виброванием и трамбованием были проведены в приборе трехосного сжатия (ПТС системы А.Л. Крыжановского) с независимым регулированием переменных величин главных напряжений. Прибор создан на кафедре инженерной геологии, оснований и фун-

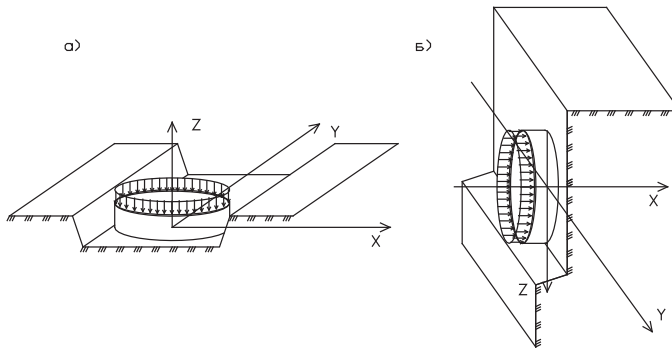


Рисунок 1. Схема отбора образцов грунта

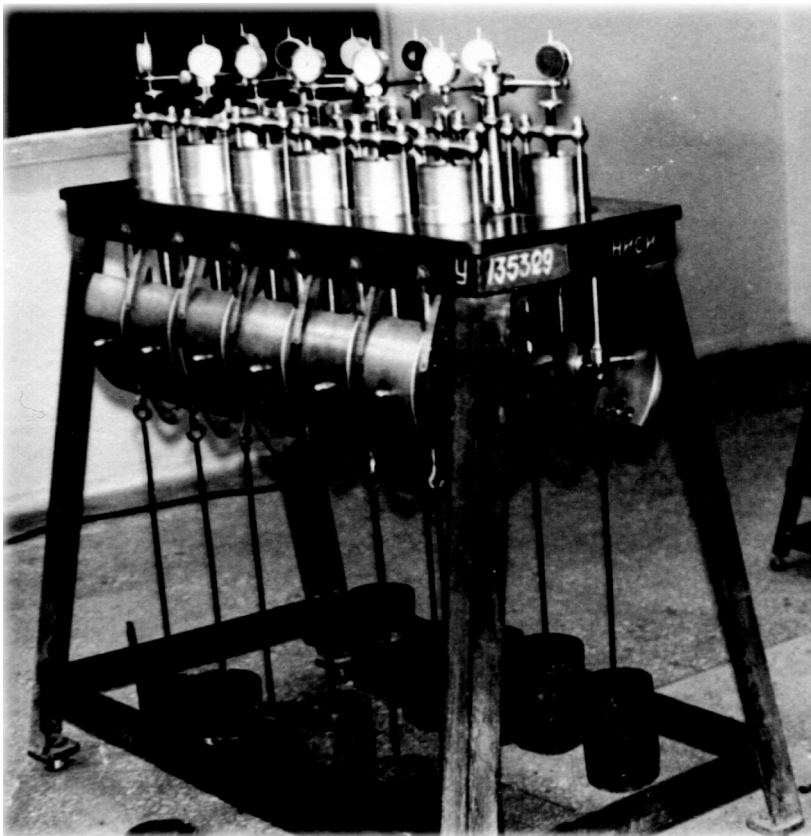


Рисунок 2. Уплотнители системы "Гидропроект"

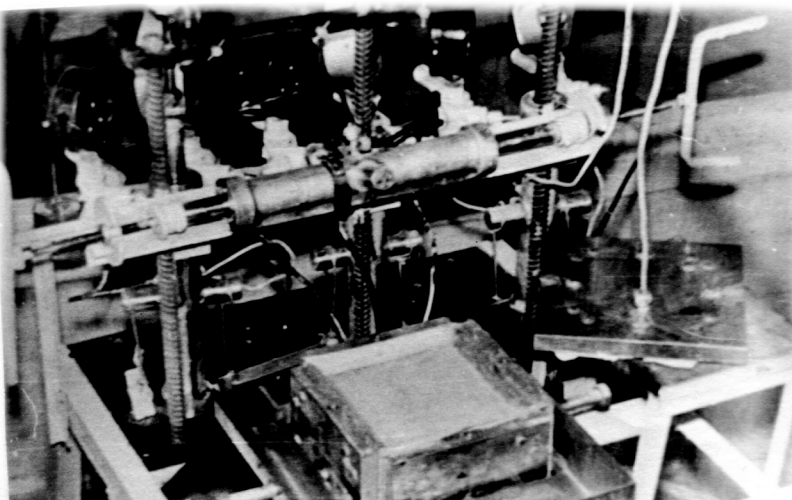


Рисунок 3. Прибор трехосного сжатия /ПТС/ с независимым регулированием величин главных напряжений

даментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) (рисунок 3). [2]

Полученные в экспериментах значения деформаций образцов грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях были использованы для оценки деформационной анизотропии грунтов. При анализе полученных результатов оказалось возможным оценить степень деформационной анизотропии грунтов показателем анизотропии $\tilde{\nu} = E_z/E_x = s_z/s_x = \epsilon_z/\epsilon_x$, где E_z и E_x – модули деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях, s_z и s_x , ϵ_z и ϵ_x – абсолютные и относительные деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно, а для грунтов, испытанных в приборе трехосного сжатия эта оценка была проведена по отношению s_x/s_y (по взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям y и x). Показатели анизотропии $\tilde{\nu}$ исследованных видов грунта изменились от 0,5 до 2,1, что практически ощутимо.

Модули деформации E_z и E_x можно определять известными методами в соответствии с СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [3] по результатам компрессионных испытаний стандартных образцов грунта, вырезанных из монолита или непосредственно в месте отбора проб грунта по вертикальному и горизонтальному направлениям. Значения ϵ_x и ϵ_z можно определить также испытаниями образцов в стабилометре. Значения коэффициента Пуассона ν_x в расчетах н.д.с. 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.

Значения модуля сдвига G_{xz} , в связи с малым влиянием его на результаты напряженно-деформированного состояния (н.д.с.) анизотропной полуплоскости (слоя), представленной грунтами с нечетко выраженной слоистостью текстуры, рекомендуется вычислять по зависимости:

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

где $E_{cp} = \frac{E_z + E_x}{2}$; $\nu_{cp} = \frac{\nu_{yx} + \nu_{xz}}{2}$

Напряженно деформированное состояние трансверсально-изотропной полуплоскости (слоя) рекомендуется уста-

навливать по результатам расчетов, выполненных методом конечных элементов по любым существующим в настоящее время программам, по которым можно получить картину н.д.с. грунтовых оснований (COSMOS, COSMOS/M, ANSYS, PLAXIS и др.) при известных значениях модулей деформации грунтовой среды E_z и E_x ; коэффициентах Пуассона ν_{yx} и ν_{xz} в предположении $\nu_{yx} = \nu_{xz}$, где первый параметр характеризует боковое расширение грунта в плоскости изотропии (в горизонтальной плоскости xy), а второй – расширение в вертикальном направлении от нормальных горизонтальных напряжений; модуле сдвига G_{xz} в вертикальной плоскости деформирования; величина $\nu_{xz} = \nu_{xz} (E_z / E_x)$. При сравнении полученных результатов расчета н.д.с. однородно-анизотропных и изотропных оснований в виде слоев различной мощности и полуплоскости оказалось возможным простым способом учесть деформационную анизотропию грунтов основания при помощи коэффициентов влияния анизотропии грунта. Эти коэффициенты показывают, какую долю от напряжения в изотропной среде составляют соответствующие напряжения в анизотропной. Значения коэффициентов вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} K_\alpha &= \sigma_{za} / \sigma_z \\ K'_\alpha &= \sigma_{xa} / \sigma_x \end{aligned} \quad (2)$$

где K_α и K'_α – поправочные коэффициенты влияния анизотропии грунта; σ_{za} и σ_{xa} – вертикальные и горизонтальные напряжения для анизотропной среды;

σ_z и σ_x – то же, для изотропной.

Напряжения σ_{za} и σ_{xa} , σ_z и σ_x вычисляются для характерных точек грунтового массива, расположенных на центральной и угловой вертикалях нагруженного участка поверхности. Поправочные коэффициенты влияния анизотропии грунта можно применять для корректировки величин осадок фундаментов, рассчитанных любым из существующих в настоящее время методов. [3] Эти данные достаточны для расчета осадок фундаментов, расположенных на поверхности полуплоскости или слоев различной мощности. Для удобства практического использования коэффициентов K_α и K'_α они вычислены для средин горизонтальных слоев, назначаемых под подошвой фундамента по СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [3]

через $0,4b$ (b – ширина нагруженного участка основания, равная ширине подошвы фундамента). В случае необходимости нетрудно провести интерполяцию значений K_α и K'_α как по показателю α , так и по глубине расположения точек, в которых вычисляются значения напряжений σ_{za} и σ_{xa} . Коэффициенты, определяемые для точек угловой вертикали, необходимы для расчета осадок с учетом влияния нагрузок от соседних фундаментов. Значения горизонтальных напряжений σ_x и σ_{xa} применяются для расчета осадок более строгими методами, в которых учитывается возможность боковых деформаций грунта основания. Влияние заглубления фундамента может быть учтено введением в расчет дополнительных напряжений от равномерной нагрузки на условной поверхности основания с интенсивностью, равной природному давлению грунта $\sigma_{zг,0}$ на уровне подошвы фундамента.

Полученные расчетам результаты позволяют усовершенствовать метод послойного суммирования деформаций. 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 посредине слоев h_i , рассмотренных формулой:

$$s = \sum \varepsilon_{z,i} \cdot h_i, \quad (3)$$

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

Наиболее просто влияние анизотропии можно учесть по формуле (4) путем корректировки только напряжений $\sigma_{zp,i}$, т.е. по формуле:

$$s = \beta \sum \sigma_{zp,i,\alpha} \frac{h_i}{E_{z,i}} \quad (4)$$

При этом точность расчета осадок несколько снижается.

Толщина h_i и количество слоев n принимается в соответствии с СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

Дополнительные напряжения вычисляются по зависимостям:

$$\begin{aligned} \sigma_{zp,i,\alpha} &= \sigma_{zp,i} \cdot K_\alpha, \\ \sigma_{xp,i,\alpha} &= \sigma_{xp,i} \cdot K'_\alpha, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{zp,i,\alpha}^y &= \sigma_{zp,i}^y \cdot K_\alpha^y, \\ \sigma_{xp,i,\alpha}^y &= \sigma_{xp,i}^y \cdot K'_\alpha^y, \end{aligned}$$

где $\sigma_{zp}(\sigma'_{zp})$ и $\sigma_{xp}(\sigma'_{xp})$ дополнительные напряжения в соответствующих точках i изотропной полуплоскости определяются по имеющимся решениям для линейно-деформируемой среды;

$K_\alpha(K'_\alpha)$ и $K'_\alpha(K'_\alpha)$ – коэффициенты влияния анизотропии грунта для характерных точек центральной и угловой вертикалей. Значения $K_\alpha(K'_\alpha)$ и $K'_\alpha(K'_\alpha)$ получены путем сопоставления соответствующих напряжений, рассчитанных методом конечных элементов при $\alpha = 1$ и $\alpha \neq 1$.

В случае необходимости определения значений $K_\alpha(K'_\alpha)$ и $K'_\alpha(K'_\alpha)$ для других точек центральной и угловой вертикалей их значения находятся интерполяцией результатов.

Вывод. Установлено, что в тех случаях, когда основание имеет показатель деформационной анизотропии $\alpha < 1$, значение расчетного сопротивления грунта основания R увеличивается, что приводит к уменьшению размеров подошвы фундаментов и к получению экономического эффекта, и, наоборот, при $\alpha > 1$ требуется увеличение размеров подошвы по сравнению с установленными по СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений». Исследования показали, при применении изотропной модели для расчетов грунтовых оснований приводит к искажению действительной картины н.д.с. основания. Предлагаемый практический метод учета деформационной анизотропии может быть рекомендован для внедрения в практику проектирования и строительства фундаментов.

Литература:

1. Рыбин В. С. Проектирование фундаментов реконструируемых зданий / В. С. Рыбин. – М. : Стройиздат, 1990. – 296 с.
2. Коробова О.А. Основные результаты экспериментально-теоретических исследований деформационной анизотропии грунтов// Ползуновский альманах/ АлтГту им. И.И. Ползунова.- Барнаул, 2001.- № 1-2.- С.82
3. СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».- Актуализированная версия СНиП 2.02.01-83*; Введ. 20.05.2011.- Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2011.-157 с.