ВЛИЯНИЕ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТА

THE INFLUENCE OF LATERAL PRESSURE ON THE DEFORMATION
CHARACTERISTICS OF THE SOIL

¹Жамбакина З.М., ²Куатбаева Т.К., ³Акишев У.К., ⁴Сарсенбаев Н.Б., ⁵Ауесбек С.Т.
¹Zhambakina Z.M., ²Kuatbayeva T.K., ³Akishev U.K., ⁴Sarsenbayev N.B., ⁵Auyesbek S.T.

¹ Кандидат технических наук, асс.профессор кафедры «Строительство и строительные материалы» Университет К. Сатбаева, Алматы, Казахстан

² Доктор технических наук, проф. кафедры «Строительство и строительные материалы» Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³Докторант PhD Казахско-Российский Международный университет, Актобе, Казахстан

⁴Доктор PhD Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

⁵Магистр технических наук Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

¹Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Construction and Building Materials, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² Doctor of Technical Sciences, prof. Department "Construction and Building Materials" Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³ PhD student Kazakh-Russian International University, Aktobe, Kazakhstan

⁴Doctor PhD M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

⁵Master of Technical Sciences, M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований коэффициента бокового давления в условиях компрессии и деформационных характеристик E и ν (модуль общей деформации и коэффициент Пуассона). По существующим методикам расчета осадок оснований, коэффициент Пуассона рекомендуется принимать постоянным в зависимости от вида грунта. Неточность такого подхода иллюстрируется проведенными авторами исследованиями по определению коэффициента бокового давления, который зависит от физических свойств (плотности, влажности, гранулометрического состава и др.) и начального напряженного состояния грунта. Показано влияние способа определения коэффициента бокового давления и соответственно коэффициента Пуассона при расчете деформационных свойств грунтов и границы применения обобщенного закона Гука. В реальных условиях, распределение напряжений от внешней нагрузки и сжатие по центральной оси близко к условиям компрессии, но общий процесс деформирования основания обусловлен как боковыми так и вертикальными деформациями, которые характеризуются коэффициентом поперечного расширения ν .

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the lateral pressure coefficient under compression and deformation characteristics E and ν (modulus of total deformation and Poisson's ratio). According to the existing methods for calculating the settlement of foundations, it is recommended to take Poisson's ratio constant depending on the type of soil. The inaccuracy of this approach is illustrated by the studies carried out by the authors to determine the lateral pressure coefficient, which depends on the physical properties (density, moisture, particle size distribution, etc.) and the initial stress state of the soil. The influence of the method for determining the lateral pressure coefficient and, accordingly, Poisson's ratio in calculating the deformation properties of soils and the limits of application of the generalized Hooke's law is shown. In real conditions, the distribution of stresses from an external load and compression along the central axis is close to the compression conditions, but the general process of deformation of the base is caused by both lateral and vertical deformations, which are characterized by the coefficient of transverse expansion ν .

Ключевые слова. Боковое давление, боковое расширение, осадка, модуль деформации, коэффициенты бокового давления и расширения.

Keywords: Lateral pressure, lateral expansion, settlement, deformation modulus, lateral pressure and expansion coefficients.

Собственное напряженное состояние, обусловленное процессом формирования плотных песчаных грунтов или структурной прочностью лессовых грунтов, является определяющим фактором прочностных свойств грунтов и определяют их деформируемость. [1]. По результатам компрессионных испытаний [2,3] часто определяют деформационные характеристики E и ν (модуль общей деформации и коэффициент бокового расширения), определяемый из выражения:

$$\nu = \xi / (1 + \xi) \quad (1)$$

Существующими нормами проектирования рекомендуется применять коэффициент ν постоянным в зависимости от вида грунта. Неверность такого подхода иллюстрируется проведенными авторами результатами по определению коэффициента бокового давления. Во-первых, величина ξ существенно зависит от физических свойств и начального напряженного состояния, сформированного под действием внешних силовых воздействий (уплотненные песчаные грунты) или внутренних (структурные лессовые грунты). Величина ξ меняется в зависимости от интенсивности уплотняющего давления, что соответственно отражается и на коэффициенте бокового расширения ν . [5] Компрессионный модуль деформации рекомендуется определять [6,7]:

$$E = E_0 \beta \quad (2),$$

$$\text{где } E_0 = \sigma_1 / \epsilon_1 \quad (3)$$

β - коэффициент, зависящий от ν , также принимается постоянным. Из соотношений Генки[4] в условиях невозможности бокового расширения:

$\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0; \epsilon_1 \neq 0, \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0$, компрессионный модуль деформации:

$$E = \sigma_1 / \epsilon_1 \cdot (1 - 2\nu) (1 + \nu) / (1 - \nu) \quad (4)$$

При определении величины E без учета бокового давления σ_2 , модуль деформации завышен. Например, для рыхлого песка при $\sigma_1 = 0,1$ МПа, $\nu = 0,342$, модуль E составляет 2,86 МПа, при определении по условию (4) с учетом σ_2 он составляет 1,84 МПа.

Многочисленные исследования подтверждают, что коэффициенты бокового давления ξ и поперечного расширения ν не являются постоянными величинами даже для одного вида грунта, а зависят от целого ряда показателей грунта [8]. Пример представлен в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты бокового давления ξ и поперечного расширения ν грунта

Наименование грунтов	Показатель поперечного расширения ν	Коэффициент бокового давления ξ
Песчаные грунты естественной влажности	0,25-0,35	0,3-0,45
Песчаные грунты водонасыщенные	0,35-0,40	0,45-0,55
Супеси	0,30-0,45	0,45-0,80
Суглинки	0,38-0,50	0,6-1,0
Глинистые грунты полутвердые, твердые	0,20-0,40	0,25-0,60

Компрессионный модуль деформации E широко используется в расчетах осадок оснований, например, в методе послойного суммирования. Расчет осадки методом элементарного послойного суммирования производится из выражения:

$$S = \beta \sum \sigma_i h_i / E_i \quad (5),$$

$$\text{где } \beta = 1 - 2\nu^2 / (1 - \nu).$$

Указанное выражение (5) получено из обобщенного закона Гука [2]:

$$\epsilon_z = 1/E [\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y)] \quad (6)$$

Исходя из условия, что в основании реализуется условие компрессионного сжатия, получаем выражение: $\sigma_x = \sigma_y = \xi \sigma_z$, (7) и вводя известную зависимость ξ и ν ,

$$\xi = \nu / (1 - \nu) \quad (8)$$

Связь между относительной деформацией ϵ_z и коэффициентом бокового расширения ν , будет иметь вид:

$$\varepsilon_z = \sigma_z / E (1 - 2\nu^2 / (1 - \nu)) \quad (9)$$

При $\varepsilon_z = \Delta h_i / h_i$ получаем выражение (5).

Анализ результатов коэффициента β показывает, что в зависимости от коэффициента поперечного расширения ν он меняется от 0 до 1 (при $\nu = 0,5$, $\beta = 0$, при $\nu = 0$, $\beta = 1$), а обычно принимается равным 0,8. Тем самым суммарная осадка S_{Σ} в выражении (5) за счет неточности коэффициента β уменьшается. Однако использование коэффициента близко к компрессии β в выражении (5) для расчета суммарной осадки основания неправомерно, так как условие компрессионного сжатия в основании под фундаментом не реализуется. Использование известной формулы (5) для определения осадки обосновано тем, что при расчете осадок рассматривается распределение напряжений от внешней нагрузки по центральной оси фундамента и сжатие грунта по центральной оси близко к компрессии, но не определяет в целом общий процесс деформирования основания, так как развитие осадок обусловлено и боковыми деформациями, которые характеризуются коэффициентом поперечного расширения ν . При увеличении ν должна повышаться и доля боковых деформаций в суммарной осадке основания и тем самым увеличивать общую суммарную осадку. Указанные рассуждения подтверждаются результатами многочисленных полевых штамповых испытаний [9].

Из вышеизложенного следует, что использование обобщенного закона Гука (6) в условиях компрессионного сжатия $\sigma_x = \sigma_y = \xi \sigma_z$ (7) и $\varepsilon_z = \sigma_z / E (1 - 2\nu^2 / (1 - \nu))$ (9) правомерно только к оценке сжимаемости грунта при компрессионных испытаниях для корректировки модуля деформации. Из выражения (9) следует, что модуль деформации E :

$$E = (\sigma_z / \varepsilon_z) \beta \quad (10)$$

Такой подход обосновывается тем, что невозможность бокового расширения в условиях компрессионного сжатия приводит к увеличению модуля деформации и его следует корректировать через коэффициент ν в случае возможности бокового расширения. При этом становится справедливым условие, что с увеличением коэффициента бокового расширения ν в условиях компрессии будет уменьшаться приращение осадки. Таким образом, при расчете осадок методом послойного суммирования выражение (5) будет иметь вид:

$$S = \sum \sigma_i h_i / E_i \quad (11)$$

А коэффициент β используется в выражении (10) для корректировки модуля деформации при компрессионных испытаниях.

Список использованной литературы

1. Duncan J.M., Wright S.G., Brandon T.L. Soil Strength and Slope Stability: 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, p. 317 (2014).
2. ASTM D4186: D4186M - 12. Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Saturated Cohesive Soils Using Controlled-Strain Loading. (2012).
3. ASTM D2435: D2435M - 11. Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. (2011).
4. Brinkgreve R.B.J. Selection of soil models and parameters for geo technical engineering application American Society of Civil Engineers, V. 128, p. 69–98 (2005).
5. Zhambakina Z., Kozyukova N. Determination of the durability parameters of sand soils under compression. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Volume 3, Number 441, p.133 – 141 (2020)
6. Механика грунтов. Ч. 1.: Основы геотехники в строительстве: учебник / под ред. Б. И. Далматова. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. – 204 с
7. Ухов, С. Б.: Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский и др. – М.: Изд-во АСВ, 2005.
8. Сорокин В.Н. Влияние коэффициента Пуассона и коэффициента бокового давления грунта на процесс излучения упругих волн. Омский научный вестник №2 (27) 2004. С.98-99.
9. Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Новичков Г.А. Интерпретация результатов полевых испытаний с целью определения деформационных характеристик грунтов. Журнал «Инженерные изыскания», № 5-6. С. 86-97.2014.