

УДК 624.131.53

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЖИМАЕМОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА В СЛАБЫХ ГРУНТАХ.

*Марченко М.В., Войтенко И.В., Мосичева И.И., Рабочая Т.В.
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

*Марченко А.М.
ООО «Стройресурс», г. Одесса, Украина.*

Практика показывает, что подавляющее большинство аварийных ситуаций зданий и сооружений связано с грунтовыми основаниями. Это обусловлено многообразием принимаемых расчетных схем, базовых предположений и допущений при моделировании работы оснований, природной изменчивостью деформативных показателей грунтов, а также известной условностью методов их определения.

Определенную роль в этом играет коэффициент Пуассона ν . В расчетах осадки коэффициент β для всех типов и состояний грунтов принимается постоянным, хотя по своей сущности он зависит от коэффициента Пуассона и должен быть переменным, т.е. учитывать инженерно-геологические условия и НДС грунта.

В связи с этим, одной из частных, но не решённых пока проблем нелинейной механики грунтов является неопределенность экспериментальной количественной оценки коэффициента поперечного расширения вследствие его многофакторной зависимости.

В теории деформирования твердых тел коэффициент Пуассона, характеризующий отношение приведенных величин поперечного расширения (сужения) и продольного укорочения (удлинения), является одной из механических констант материалов. На его величину не влияют ни параметры деформирования, ни условия экспериментального определения, а сам он отражает изменение формы при постоянстве объема материала.

В механике грунтов такое физическое толкование коэффициента бокового расширения корректируется по нескольким причинам. Во-первых, грунты – это дискретные массивы и в абсолютном большинстве своём не являются изотропными материалами. Во-вторых, при всех известных допущениях к грунтам как линейно деформируемым телам следует относиться с известной долей сомнения. К тому же, локальное нагружение природных оснований вызывает сжатие грунта, сопровождающееся как его боковым расширением, так и сопротивлением окружающего массива. Поэтому коэффициент поперечного расширения в механике грунтов рассматривают как достаточно условную величину.

В компрессионных испытаниях с учётом жесткости кольца и равенства боковых деформаций нулю, величину коэффициента поперечного расширения определяют из выражения:

$$p_x = p_y = \frac{\nu_0}{1 + \nu_0} p_z = \xi_0 p_z, \quad (1)$$

где p_x , p_y и p_z – соответственно горизонтальные и вертикальная компоненты всестороннего давления;

ξ_0 – коэффициент бокового давления;

ν_0 – коэффициент расширения при отсутствии физической возможности последнего.

Значение бокового давления p_x при соответствующем вертикальном давлении p_z может быть измерено [1]. Однако, боковая подвижка или поперечное расширение, которое имеет место при нагружении реальных грунтовых оснований (но невозможно при компрессионных испытаниях), приводит к изменению значений как ξ_0 , так и ν_0 . Поэтому, с учётом зависимости между коэффициентом бокового давления и углом внутреннего трения, предложенную М. Жаки $\xi_0 = 1 - \sin\varphi$, получены значения ξ_a и ν_a . Этими величинами и пользуются в расчетах, базирующихся на грунтовых моделях с возможностью незначительного бокового расширения [2].

Думается, ничего общего с физической интерпретацией сопротивления нагрузке грунта как пластического материала в таком подходе нет. И действительно, экстраполировать одноосное сжатие несоизмеримо малого образца грунта в компрессионном приборе с его сопротивлением внешней нагрузке в локальной области взаимодействием с окружающим массивом не выдерживает никакой критики.

Вследствие большой пористости и значительных структурных деформаций на величину коэффициента Пуассона влияют многие факторы, а он не характеризует однозначно сжимаемость грунта или его способность изменять объем и форму при действии внешних сил.

Величину коэффициента бокового расширения в полевых условиях предлагается оценивать по физической корреляции данных экспериментальных исследований показателей сжимаемости.

В основу методики положена модель работы грунтового основания (рис. 1, а).

При этом горизонтальные слои по глубине несущего столба деформируются и уплотняются равномерно, а степень сжатия каждого слоя соответствует разности осадок глубинных марок по оси штампа.

В целом сжатие грунта происходит под контуром загруженного фундамента (в пределах «несущего столба») и сопровождается уплотнением, а также выпором грунта в стороны.

Сжатие (осадка) грунтового основания является результатом развития двух взаимозависимых и взаимообусловленных процессов. На начальной стадии деформирования происходит практически свободное одноосное уплотнение грунта и далее, по мере достижения некоего предельного значения плотности, – поперечное расширение несущего столба за счет изменения только формы уплотненного объема грунта.

Таким образом, полное сжатие горизонтального слоя грунта обуславливается составляющими уплотнения и изменением формы.

$$S = S_n + S_v, \quad (2)$$

где S_n – часть осадки, вызываемая уменьшением объема пор грунта;

S_v – часть осадки, обусловленная поперечным расширением или только изменением формы.

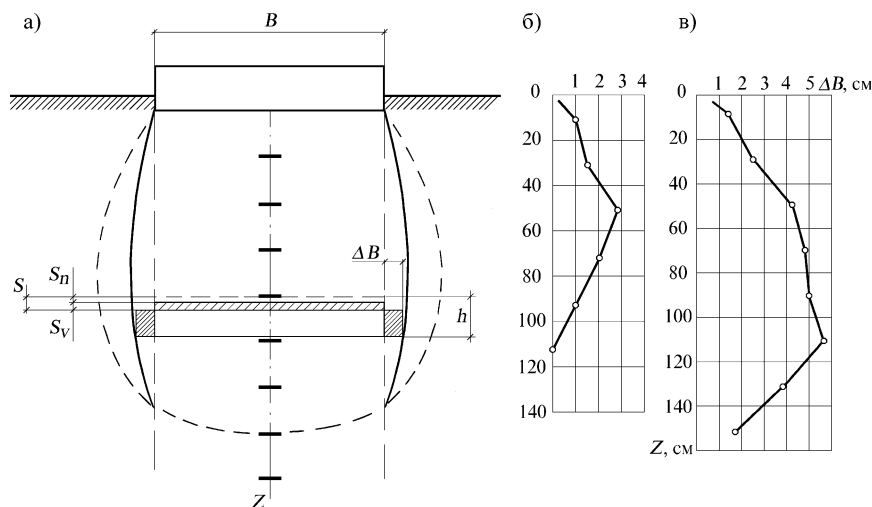


Рис. 1. Схема деформирования «несущего столба»:
 а - расчетные линейные величины поперечного расширения;
 б, в - по результатам опытов Раевского И.Е. и Тугаенко Ю.Ф.

Количественно оценить эти деформации можно при наличии экспериментальных величин вертикальных послойных перемещений и распределения плотности сухого грунта по глубине в природном состоянии и после уплотнения давлением фундамента.

Часть сжатия, которая явилась следствием бокового расширения, т.е. только изменения объема находим по разности перемещения глубинных марок из выражения (1).

Сжатие рассматриваемого слоя грунта за счет его уплотнения определяем по изменению плотности сухого грунта.

$$S_n = h (1 - \rho_a / \rho_a^y) \quad ()$$

где ρ_a – природная, а ρ_a^y плотность сухого грунта после уплотнения фундаментом.

$$S_v = S - S_n \quad ()$$

Поперечные деформации являются результатом изменения формы предельно уплотненного объема рассматриваемого слоя грунта, а осадка фундамента происходит за счет его выпора за пределы несущего столба, что, в свою очередь, приводит к уплотнению окружающего массива грунта.

Величину расширения несущего столба ΔB можно оценить исходя из равенства объемов вертикального сжатия и бокового расширения рассматриваемого слоя

$$S_v A = \Delta B (h - S) u, \quad ()$$

где $A = B^2$ – площадь поперечного сечения несущего столба.

u – средний периметр (длина) окружающей «несущий столб» фигуры, образующей объем расширения, в первом приближении, для квадратного фундамента можно принять $u = 4B$.

Откуда

$$\Delta B = 0,25 B S_v / (h - S). \quad ()$$

На рис. 1, б, в приведены графики изменения расчетных линейных величин поперечного расширения несущего столба по глубине для фундаментов площадью 0,5 (б) и 1,0 м² (в) при давлении по подошве соответственно 0,3 и 0,35 МПа на водонасыщенных лессах.

На основании полученных экспериментальных данных в работе выполнены вероятностные оценки значений коэффициента Пуассона тремя методиками, логически базирующимися на следующих допущениях и подходах:

1. Нормативно-детерминистический метод.

По экспериментальным величинам вертикальных (продольных) деформаций с учетом «Рекомендаций...» о допущении равномерного по высоте расширения несущего столба нами получено средневзвешенное постоянное значение коэффициента Пуассона для водонасыщенных лессов близкое к величине $\nu \cong 0,30$ [5].

2. Модельно-детерминистический подход.

Если принять предпосылку, что сопротивление внешней нагрузке несущего столба основания ассоциируется с одноосным сжатием стесненным окружающим массивом грунта, то коэффициент Пуассона можно

определить как отношение максимального значения относительных поперечных деформаций к осредненной относительной продольной деформации:

$$\varepsilon_x = \frac{2\Delta B_{\max}}{B},$$

$$\varepsilon_z = \frac{S}{H_a},$$

где ΔB_{\max} – максимальная величина поперечного расширения несущего столба;

S – осадка штампа;

H_a – глубина сжатого несущего столба.

В итоге величина коэффициента Пуассона, определенного с принятой предпосылкой, близка к значению $\nu \cong 0,40$.

3. Расчётно-экспериментальный путь.

Известно, что в механике твёрдых тел физический смысл коэффициента поперечного расширения ν трактуется как отношение относительных поперечных линейных деформаций ε_x (для изотропных материалов и пространственных задач $\varepsilon_x = \varepsilon_y$) к относительным продольным линейным деформациям ε_z и определяется из выражения

$$\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}. \quad ()$$

По материалам экспериментальных исследований, выполненных в работах [8, 9], послойно определены и просчитаны относительные поперечные деформации, выражение для которых с учетом (2) принимает вид

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0,5 S_\nu (h - S). \quad ()$$

На рис. 2, а приведены изменения значений относительных поперечных деформаций по глубине основания штампов.

Величины послойных относительных продольных деформаций по глубине несущего столба вычислены по данным перемещений глубинных марок из выражения

$$\varepsilon_z = \frac{S}{h}, \quad ()$$

изменение которых по глубине несущего столба показано на рис. 2, б.

По значениям соответствующих величин ε_x и ε_z (рис. 2, а, б) можно определить коэффициент Пуассона, послойное изменение которого по глубине несущего столба приведено на рис. 2, в.

Отношения найденных величин и дают значения коэффициента

Пуассона, послонные изменения которых приведены на рис. 2, в.

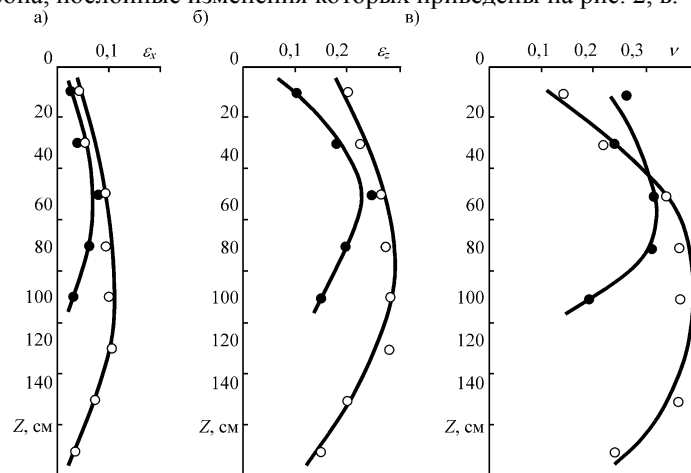


Рис. 2. Изменение значений относительных поперечных ϵ_x (а), относительных продольных ϵ_z (б) деформаций и коэффициента поперечного расширения ν (в) по глубине нагружаемого штампом водонасыщенного лессового основания из опытов И.Е. Раевского [8] (точки – штамп площадью $0,5 \text{ м}^2$, давление по подошве $0,3 \text{ МПа}$) и Ю.Ф. Тугаенко [9] (кружочки – штамп площадью $1,0 \text{ м}^2$, давление по подошве $0,35 \text{ МПа}$).

Выводы

1. Методика экспериментального определения коэффициента поперечного расширения в лабораторных и полевых условиях требует дальнейшей проработки.

2. Коэффициент Пуассона зависит от площади, давления по подошве, глубины заложения и соотношения сторон штампа.

3. На величину коэффициента определенного в лабораторных условиях влияет тип и состояние грунта, его физические и механические показатели, вид испытаний (одноосное, компрессионное или трехосное сжатие, а при полевых испытаниях – стадии нагружения основания).

Вместе с тем, имеющаяся баз экспериментальных исследований показателей сжимаемости грунтовых оснований при их нагружении позволяет констатировать, что коэффициент Пуассона не является постоянным для данного типа грунта, а зависит от его показателей и напряженно-деформированного состояния. Коэффициент бокового расширения изменяется по высоте несущего столба, на него влияет глубина заложения, пло-

шадь, давление по подошве и др. параметры фундамента.

Следует отметить, что подавляющее большинство определений коэффициента Пуассона выполнено с песчаными грунтами. Экспериментальных исследований с глинистыми грунтами значительно меньше, а аналогичные полевые исследования из-за их трудоёмкости практически не проводилось. Не разработана и не принята нормативная методика и, соответственно, ГОСТ на определение коэффициента бокового расширения в лабораторных и полевых условиях [2].

Литература

1. Лазебник Г.Е., Смирнов А.А., Симаков В.И., Экспериментальное определение коэффициента ξ бокового давления и коэффициента μ Пуассона несвязных грунтов //Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1967. – № 4. – С. 17-20.
2. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел – М.: Стройиздат, 1977. – 256 с.
3. Медков В.И. К расчету естественных оснований по деформациям //Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1960. – № 1. – С. 11-14.
4. Балюра М.В., Окулова М.Н. Коэффициент бокового расширения грунта по данным исследования перемещений под жестким штампом //Проектирование и строительство инженерных сооружений на макропористых лессовых грунтах /Матер. науч.-техн. совещ. – Алма-Ата, 1972. – С. 27-33.
5. Марченко М.В. Імовірнісне трактування коефіцієнта Пуассона по експериментальним дослідженням показників стисливості //Вісник Одеського національного морського університету /Зб. наук. праць. Вип. 10 – Одеса: ОНМУ, 2003. – С. 232-237.
6. Марченко М.В. Многофакторность количественной оценки коэффициента бокового расширения водонасыщенных лёссовых грунтов./ Зб. наук. праць. „Галузеве машинобудування. Будівництво”. – Вип. 12 – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2003. – С. 130-135.
7. Гольдштейн М.Н., Кушнер С.Г. Инженерный метод расчета осадок фундаментов при давлениях, превышающих нормативное //Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1970. – № 5. – С. 13-17.
8. Раевский И.Е. Влияние размеров штампов на характер просадки лессовых грунтов //Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1962. – № 5. – С. 14-18.
9. Тугаенко Ю.Ф. Экспериментальные исследования совместной работы оснований и фундаментов в лессовых грунтах I типа //Известия вузов. Стр-во и архитектура. – 1966. – № 2. – С. 22-31.
10. Рекомендации по методам определения коэффициентов бокового

давления и поперечного расширения глинистых грунтов: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. – М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1978. – 30 с.

11. Школа А.В., Марченко А.М. Метод Монте-Карло как вероятностный аппарат в теории предельного напряжённого состояния анизотропного по сопротивлению сдвигу грунтового основания // Будівельні конструкції. Механіка ґрунтів та фундаментобудування./ Зб. наук. праць. Вип.. 53. – Київ: НДІБК, 2000. – С. 275-278.