

Ю.Ф. Тугаенко, д.т.н., профессор
А.П. Ткалич, к.т.н., доцент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТА В ПЕРЕДЕЛАХ ЕЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ

На основании натурных исследований приведены принципы определения осадок при давлении по подошве фундаментов превышающих предельные значения их линейных зависимостей.

Ключевые слова: осадка, зона деформации, структурная прочность, боковое давление, модуль уплотнения.

Ю.Ф. Тугаенко, д.т.н., профессор
А.П. Ткалич, к.т.н., доцент

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ ОСІДАННЯ ФУНДАМЕНТУ В МЕЖАХ ЇЇ НЕЛІНІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИСКУ

На основі натурних досліджень наведено принципи визначення осідань при тиску по підшві фундамента, який перевищує граничне значення їх лінійних залежностей.

Ключові слова: осідання, зона деформації, структурна міцність, боковий тиск, модуль ущільнення.

J. Ph. Tugayenko, Doctor of Science, Professor
A.P. Tkalic, PhD, Ass. professor

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

PRINCIPLES OF FOUNDATION SETTLING DETERMINATION WITHIN THE LIMITS OF ITS NONLINEAR DEPENDENCE ON PRESSURE

On the basis of model researches principles of setting determination resulted at pressure on the foundations sole exceeding the maximum values of their linear dependences are introduced.

Keywords: setting, deformation area, structural durability, lateral pressure, compaction module.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Методы расчета осадок фундаментов разработаны с использованием теории упругости и пластичности, объединенных теоретической механикой грунтов. Они ограничены нагрузкой, при которой наблюдается линейная зависимость осадки от давления. Нормативными методами не предусмотрена оценка деформаций за пределами линейной зависимости.

В слабых, высокопористых грунтах давления по подошве проектируемых фундаментов в большинстве случаев превышают структурную прочность. Деформации нарастают в пределах нелинейной зависимости осадки от давления. При этом модуль деформации, согласно стандарта, определяется в пределах линейного участка зависимости.

Измеренные осадки фундаментов в 1,5...3 раза превышают расчетные.

В статье приведены методы расчета осадок при давлениях, вызывающих нелинейное их нарастание. В Одесском регионе к таким грунтам относятся водонасыщенные лессовые супеси и суглинки.

Обзор последних источников исследований и публикаций, в которых начато решение этой проблемы. С начала 60-х годов прошлого столетия до настоящего времени выполнено большое количество исследований нарастания деформаций в основаниях опытных фундаментов и фундаментов зданий и сооружений. Большой вклад в изучение НДС грунтов внесен Голубковым В.Н. и его учениками, Григорьян А.А., Егоровым К.Е., Коноваловым П.А., Швецом В.Б. и многими другими учеными.

По полученным результатам измеренная глубина зоны деформации в 1,5...3 раза меньше, а осадка в 2...2,5 раза больше расчетных значений [3, 4]. Наибольшие расхождения наблюдаются в слабых высокопористых грунтах [5].

Результаты исследований позволили Н.А. Цытовичу утверждать, что граница сжимаемой толщи находится на глубине, где напряжения от приложенной нагрузки равны структурной прочности грунта [2]. Структурная прочность оказывает влияние на поперечные деформации, нарастание которых начинается при боковом давлении, превышающем структурную прочность окружающего грунта [5].

Экспериментально установленные параметры, оказывающие влияние на деформирование грунтов, в основаниях фундаментов при давлениях, вызывающих нелинейное нарастание осадки, использованы в данной работе.

Выделение нерешенных ранее задач общей проблемы, которым посвящена статья. В действующих нормах рассмотрены методы определения осадок фундаментов для однородной линейно-деформируемой среды. Эти методы, разработанные с применением теории упругости, следует применять при условии, если давления по подошве проектируемых фундаментов не превышают предельного значения для линейного участка зависимости осадки от нагрузки (значения структурной прочности).

При больших давлениях в грунтах нарастают деформации уплотнения и поперечного расширения. В этом случае процессы деформирования грунтов следует оценивать двумя показателями: модулем уплотнения E_n и коэффициентом поперечного расширения ν .

Экспериментально установлено, что при прочих равных условиях величина модуля уплотнения практически не зависит от площади фундамента, а ν – уменьшается с ее увеличением и для фундаментных плит большой площади приближается к нулю [6, 7].

Статья посвящена рассмотрению принципов расчета осадок в нелинейной части деформирования грунтов по показателям физического изменения их состояния.

Цель статьи заключается в изложении принципов оценки деформаций, в пределах давлений, вызывающих нелинейное нарастание остаточных деформаций. Материалы статьи обоснованы результатами натурных исследований.

Изложение основного материала исследований. Под влиянием внешней вертикальной нагрузки в основаниях зданий и сооружений наблюдаются упругие и остаточные деформации, следствием которых является осадка. В результате экспериментальных исследований в грунтах выделены три фазы НДС (рис. 1).

Процессы деформирования грунтов в пределах каждой фазы отличаются от предложенных в 1930 г. Н.М. Герсевановым по результатам испытаний низкопористых грунтов штампами малой площади, без измерений параметров процесса их деформирования [1].

Каждая фаза на графиках зависимости осадки от нагрузки отражает следующие процессы.

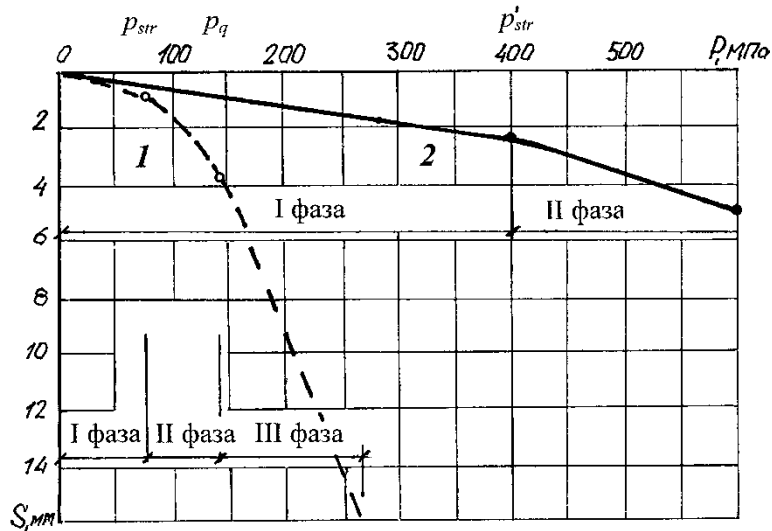


Рисунок 1 – Графики зависимости осадки от давления для высокопористых(1) и низкопористых (2) грунтов [5]

В пределах I фазы наблюдаются упругие и остаточные деформации смятия неровностей на контакте подошвы штампа и поверхности основания, подготовленного для его установки. Остаточные деформации смятия придают кривизну зависимости осадки от нагрузки. Первая фаза заканчивается при давлении, равном величине структурной прочности природного грунта (p_{str}). После снятия нагрузки упругие деформации исчезают, а остаточные сохраняются. Остаточные деформации смятия экспериментально зафиксированы дополнительными грунтовыми марками, установленными на глубине 5 – 10 см ниже подошвы опытных фундаментов. Схема НДС грунтов основания приведена на рис. 2.а.

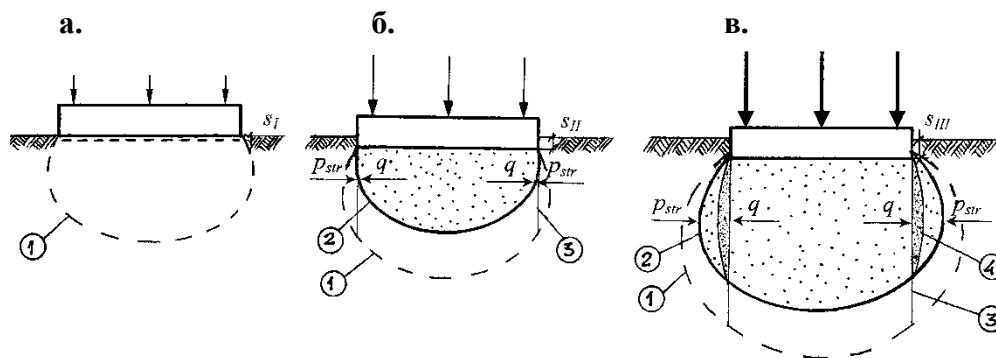


Рисунок 2 – Развитие деформаций в основании опытного фундамента по фазам:
 1. Граница зоны упругих деформаций. 2. Граница зоны остаточных деформаций
 3. Боковая поверхность сжимаемого объема грунта. 4. Выпор сжимаемого объема

Упругие деформации наблюдаются в каждой фазе НДС основания. При давлениях по подошве фундаментов меньших структурной прочности в грунтах оснований возникают преимущественно упругие деформации. Во второй и третьей фазах упругие деформации возникают в пределах и за пределами зоны уплотнения. В пределах зоны уплотнения упругие деформации больше чем в природном грунте. Повышением значений упругих деформаций в пределах уплотненной зоны можно пренебречь из-за их незначительной величины [5]. Значение упругой осадки можно определить по одной из зависимостей

$$s_y = \varepsilon_y \cdot H_{a,y}; \quad s_y = \sigma_{cp} \cdot H_{a,y} / E_y, \quad (1)$$

где ε_y – относительное значение упругой деформации. По результатам выполненных исследований для глинистых грунтов ее величина колеблется в пределах 0,003...0,005 [5].

$H_{a,y} = H_a$ – глубина зоны общих деформаций, в пределах которой наблюдается упругое сжатие. При давлениях $p \leq p_{str}$, — $H_{a,y}$ в интервале давлений 0,2...0,3 МПа следует принимать равным $(0,8...1,2) \sqrt{A}$. При давлении по подошве фундамента большем p_{str} — $H_{a,y}$ следует принимать на 20% больше глубины зоны остаточных деформаций.

E_y – модуль упругости. Его значение следует определять по результатам испытаний штампами, в полевых условиях, при давлениях в пределах линейной зависимости осадки от давления согласно действующего стандарту.

В пределах II фазы – фазы уплотнения, внутри упруго-напряженной зоны при давлениях в интервале $p_{str} \dots p_q$, возникает зона остаточных деформаций, где p_q определяется по зависимости (2).

Остаточные деформации в пределах этой фазы нарастают под площадью подошвы фундамента. Поперечному расширению препятствует структурная прочность грунта, окружающего сжимаемый объем. При этом принято допущение, что структурная прочность в вертикальном и горизонтальном направлениях имеет равные значения. На рис. 2.б. представлена схема НДС II фазы.

От нагрузки, передаваемой фундаментом в пределах зоны деформации, можно выделить два вида напряжений: вертикальное σ_z и горизонтальные σ_x и σ_y , возникающие от бокового давления. Предельное значение давления по подошве фундамента, при котором боковое давление уравнивается структурной прочностью окружающего грунта, определяется по зависимости

$$p_q = p_{str} / \xi \quad (2)$$

где ξ – коэффициент бокового давления; p_q – давление по подошве фундамента, при котором $q = p_{str}$.

При значении $q < p_{str}$ поперечные деформации не наблюдаются, т.е. в основании фундамента нарастают остаточные деформации уплотнения под контуром его подошвы.

Нижняя граница зоны деформации зависит от значения p_{str} и находится на глубине, где вертикальные напряжения от природного давления и дополнительной нагрузки ($\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zg}$) равны структурной прочности. Схема деформирования приведена на рис. 2.б.

Величина осадки при давлениях по подошве проектируемых фундаментов в пределах второй фазы состоит из упругой составляющей и осадки в результате уплотнения, при отсутствии поперечного расширения. Ее значение следует определять по одной из зависимостей

$$s = s_y + \varepsilon_n \cdot H_{a,o}; \quad s = s_y + \sigma_{z,cp} \cdot H_{a,o} / E_n, \quad (3)$$

где ε_n и E_n – коэффициент относительного уплотнения и модуль уплотнения, их значения определяются по результатам лабораторных или полевых исследований.

$H_{a,o}$ – глубина остаточных деформаций.

III фаза характеризуется нарастанием вертикальных деформаций в результате уплотнения под площадью подошвы фундамента и поперечными деформациями формоизменения – расширения уплотняемого объема в стороны [5], так называемые пластические деформации. Схема деформирования приведена на рис. 2.в.

Следствием поперечных деформаций является расширение сжимаемого объема за пределы вертикальной поверхности по периметру фундамента. Величина выпора обозначается – λ .

Предельное значение давления P_q по подошве фундамента, определяется по зависимости (2). Под влиянием поперечного расширения, вызванного боковым давлением, происходит уплотнение природного грунта вокруг сжимаемого объема. Поперечное расширение вдоль вертикальной оси происходит неравномерно. Его значение оценивается средним значением коэффициента относительной деформации ε_v [5] и коэффициентом поперечного расширения ν . На значение коэффициента поперечного расширения оказывает влияние размер фундамента.

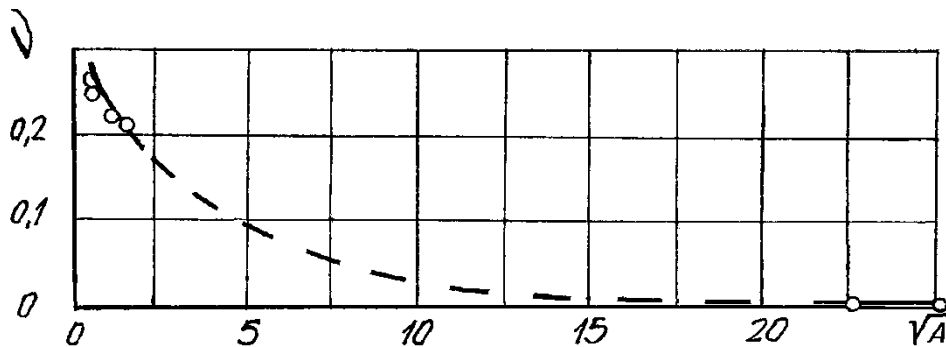


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента поперечного расширения от размеров фундаментов в высокопористых грунтах основания

С увеличением площади его подошвы значение ν снижается и для фундаментных плит большой площади приближается к нулю [6;7]. На рис. 3 приведен график зависимости коэффициента поперечного расширения от размера фундамента, построенный по результатам его определения под фундаментами площадью до 2 м² и в основаниях фундаментных плит площадью 600...700 м² [4]. Промежуточные значения показаны условно, по интерполяции.

Величину осадки с учетом поперечных деформаций следует определять по зависимости

$$\rightarrow s = s_y + s_o; \quad s = \sigma_{cp} \cdot H_{a,y} / E_y + \sigma_{z,cp} \cdot H_{a,o} / E_n \cdot (1-2\nu), \quad (4)$$

Выводы: 1. В пределах интервала давлений, соответствующих линейной зависимости осадки от нагрузки в основаниях фундаментов, возникают преимущественно упругие деформации (I фаза НДС). При больших давлениях деформации уплотнения и поперечного расширения (вторая и третья фазы НДС). 2. Определение осадки с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства ограничено давлением по подошве фундамента, равного предельному значению линейной зависимости осадки от нагрузки (значением структурной прочности p_{str}). 3. Следствием давлений, превышающих структурную прочность, является нелинейная зависимость осадки от нагрузки (II и III фазы НДС), в результате нарастания остаточных деформаций уплотнения и поперечного расширения. 4. Остаточные деформации следует определять с использованием модуля уплотнения и коэффициента поперечного расширения.

Литература

1. Герсеванов, Н.М. Опыт применения теории упругости к определению допустимых нагрузок на грунт на основе экспериментальных работ / Н.М. Герсеванов. – Собрание сочинений. Том I. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – 269 с.
2. Цытович, Н.А. Вопросы теории и практики строительства на слабых, глинистых грунтах / Н.А. Цытович // Материалы всесоюзного совещания по строительству на слабых водонасыщенных грунтах. – Таллин, 1965. – С. 5 – 17.

3. Коновалов, П.А. Экспериментальное исследование глубины сжимаемой толщи грунта /П.А. Коновалов // Основания, фундаменты и подземные сооружения: труды первой научной конференции молодых ученых. – М.: Стройиздат, 1967. –С. 137 – 142.
4. Тугаенко, Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки. Монография /Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2003. – 224 с.
5. Тугаенко, Ю.Ф. Трансформация напряженно-деформируемого состояния грунтов основания и ее учет при проектировании фундаментов: монография / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2011. – 120 с.
6. Егоров, К.Е. К расчету деформаций оснований: сборник статей / К.Е. Егоров. – М.: ФГУП «ВНИИНТПИ», 2002. – 400 с.
7. Тугаенко, Ю.Ф. Результаты измерений деформаций в грунте основания фундаментной плиты /Ю.Ф. Тугаенко; А.П.Ткалич; Ю.В.Матус; М.В.Марченко// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Випуск № 45. – Одеса: «Зовнішрекламсервіс». – 2012. – С. 259 - 267

Надійшла до редакції 11.10.2012
© Ю.Ф. Тугаенко, А.П. Ткалич