

УДК 624.15

**РАСЧЕТ ОСАДКИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ
ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ УПРУГИХ
И ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ**

Тугаенко Ю.Ф., Ткалич А.П., Заврак Н.В.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина*

На основе результатов натурных исследований выполнена оценка нормативного метода расчета деформаций основания. Предложен метод расчета с учетом упругих и остаточных деформаций, приведен его алгоритм.

On the basis of research results the estimation of the normative method for calculation of deformation is fulfilled. The method of calculation of the elastic and permanent deformations is its algorithm.

Н.М. Герсевановым выделено в процессе формирования грунтов в основаниях фундаментов три фазы – уплотнения, образования сдвигов и разрушения [1]. Им обоснована возможность применения теории упругости для первой фазы развития деформаций. Его последующие идеи и разработки легли в основу норм, где расчет оснований выполнялся не по допускаемым давлениям, а по предельным осадкам. С 1955г. в Советском Союзе расчет оснований выполняется по деформациям.

В действующем нормативном документе, при определении деформаций основания, в расчетной формуле все параметры носят

условный характер. Их значения приняты при допущении упругих свойств грунтовой среды.

– Напряжения от дополнительной нагрузки определены для упругого, изотропного, линейно-деформируемого полупространства. Эпюра напряжений не зависит от свойств, состояния грунтов и их многослойности.

– Глубина сжимаемой толщи определяется по соотношению напряжений без учета деформативных свойств грунтов.

– Модуль деформации – величина условная. Его значение определяется по соотношению приращения давления к соответствующему приращению осадки в заданном интервале нагрузок в пределах I фазы НДС грунтов основания, без учета параметров их деформирования: уплотнения, поперечного расширения, структурной прочности.

До настоящего времени нет нормативного метода расчета осадки за пределами линейного участка зависимости $s = f(p)$.

В предлагаемом расчете используются характеристики грунта основания, полученные по методике, позволяющей определять упругие и остаточные деформации грунта:

– Модуль упругости (E_y) [2].

– Модуль уплотнения (E_n), при оценке части остаточных деформаций, вызванных снижением пористости. Определяется по соотношению плотностей скелета грунта в природном и уплотненном состоянии. Его значение не зависит от площади фундамента [3; 4].

– Поперечное расширение сжимаемого объема от внешней нагрузки, возникающее в процессе его уплотнения [4;5].

– Граница сжимаемой толщи принимается на глубине, где напряжение (σ_z) уравнивается величиной структурной прочности (p_{str}) природного грунта [6].

Результатами полевых исследований, по изучению процессов деформирования грунтов в основаниях опытных фундаментов и фундаментов зданий и сооружений, подтверждено наличие фаз при напряженно-деформируемом состоянии грунтов под влиянием внешней нагрузки. Фактические процессы их развития в высокопористых грунтах отличаются от представлений, высказанных Н.М. Герсевановым по имевшимся в то время результатам испытаний [1].

Измерения послонных перемещений и определение плотности скелета природного грунта и после его уплотнения, позволили определить критерии процессов деформирования грунтов в пределах каждой фазы НДС.

I фаза (рис. 1, а) – наблюдается при $p \leq p_{str}$. Это фаза преимущественно упругих деформаций, при которых упругое сжатие не сопровождается разрушением структурных связей на контакте между минеральными частицами. После снятия нагрузки упругие деформации исчезают.

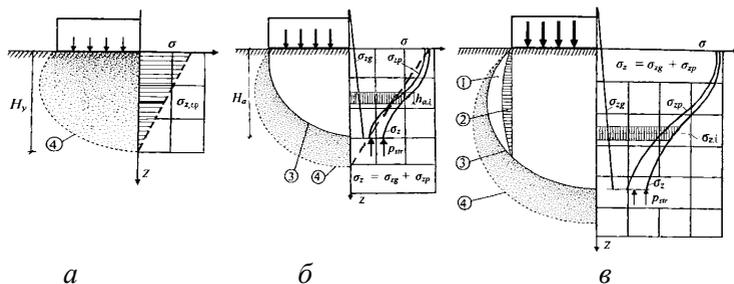


Рис. 1. Схемы развития деформаций в основании фундаментов: 1 – зона остаточных деформаций от поперечного расширения грунта; 2 – эпюра зоны поперечных деформаций; 3 – граница зоны уплотнения от вертикальных напряжений; 4 – граница зоны упругих деформаций

В глинистых грунтах наблюдаются два вида упругих деформаций: – мгновенные, исчезающие сразу после снятия нагрузки и упруго-вязкие, длительность которых составляет от нескольких часов до 3...4 суток, в зависимости от давления, размеров фундамента, состава и состояния грунтов. В пределах этой фазы наблюдаются остаточные деформации являющиеся следствием отсутствия сплошности примыкания подошвы опытных фундаментов к поверхности основания, которая повышается в процессе смятия неровностей при увеличении нагрузки. Наличием остаточных деформаций смятия можно объяснить незначительную криволинейность зависимости $s = f(p)$ в пределах I фазы НДС, а упругую осадку фундамента можно определить по формуле:

$$s_y = \sigma_{z,sp} H_{a,y} / E_y, \quad (1)$$

где $\sigma_{z,cp} = 0,5p$; p – давление под подошвой фундамента; $H_{a,y}$ – глубина зоны упругих деформации, по результатам полевых исследований ее при $p = p_{str}$ следует принимать равным $\rho_d = 1,6z/\text{см}^3 - 0,8\sqrt{A}$... $\rho_d = 1,4z/\text{см}^3 - 1,2\sqrt{A}$; E_y – модуль упругости, определяется по результатам испытаний штампами, в полевых условиях.

II фаза (рис.1.б) – фаза остаточных и упругих деформаций. Уплотнение грунта наступает при давлении превышающим структурную прочность. Оно является следствием разрушения структурных связей между минеральными частицами и сопровождается повышением плотности скелета грунта. Деформации уплотнения наблюдаются в пределах сжимаемого объема ограниченного подошвой фундамента, нижней границей зоны остаточных деформаций и вертикальной поверхностью по периметру фундамента. Нижняя граница зоны деформации находится на глубине, где сумма напряжений от дополнительной нагрузки и собственного веса грунта равна структурной прочности. В пределах этой фазы поперечные деформации отсутствуют. Их возникновению препятствует структурная прочность грунта, окружающего сжимаемый объем. Границей этой зоны является давление по подошве фундамента p_q при котором боковое давление q уравнивается структурной прочностью. Его значение можно определить по зависимости:

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

где: ξ – коэффициент бокового давления, значение которого зависит от вида грунта [7]. Расчет осадки грунта в основании фундамента производится при выполнении условия $p_{str} \leq p \leq p_q$ по формуле:

$$s = \sum \sigma_{zi} h_{a,i} / E_n + \sigma_{z,cp} H_{a,y} / E_y; \quad (3)$$

где: σ_{zi} – напряжения в грунте основания; $h_{a,i}$ – толщина i -го элементарного слоя грунта основания; E_n – модуль уплотнения (определяется по результатам лабораторных или полевых исследований, отражает сжимаемость грунта, вызванную снижением пористости). Его значение определяется по зависимости:

$$E_n = p / \varepsilon_n, \quad (4)$$

где p – давление под подошвой фундамента; ε_n – коэффициент относительного уплотнения, определяется изменением плотности скелета грунта:

$$\varepsilon_n = 1 - \rho_d / \rho_{d,com}. \quad (5)$$

Здесь ρ_d и $\rho_{d,com}$ – среднее значение плотности скелета грунта природного и уплотненного давлением от внешней нагрузки в пределах глубины зоны деформации.

III фаза (рис. 1, в) – фаза уплотнения и поперечного расширения. Возникает при боковом давлении, превышающем структурную прочность окружающего грунта. Осадка фундамента, вызванная остаточными деформациями является суммой двух составляющих: уплотнением (s_n) и поперечным расширением (s_v). На величину поперечного расширения оказывают влияние давление, структурная прочность грунта и размер фундамента. С увеличением площади подошвы значение коэффициента поперечного расширения уменьшается и для фундаментных плит площадью больше 400 м² приближается к нулю (рис. 2).

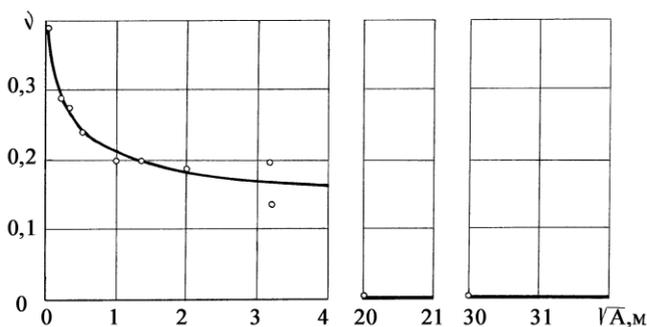


Рис.2. График зависимости коэффициента бокового расширения грунта от площади фундамента

Осадка фундамента, при условии $p > p_q$ состоит из составляющих деформаций грунта основания: упругой s_y , уплотнения s_n , поперечного расширения s_v . Расчет осадки в основания фундамента с учетом поперечного расширения грунта производится по формуле:

$$s = \sum \sigma_{zi} h_{a,i} / (1-2\nu) E_n + \sigma_{z,cp} H_{a,y} / E_y, \quad (6)$$

ν – коэффициент поперечного расширения, его среднее значение, по данным полевых исследований, можно определить по зависимости:

$$\nu = s_v / 2 s \quad (7)$$

где s – осадка фундамента; s_v - составляющая часть осадки, в результате бокового расширения $s_v = s - s_n$; s_n – составляющая часть осадки в результате уплотнения грунта.

В пределах каждой фазы могут возникать деформации характерные для других фаз. Так, например, в пределах первой фазы кроме упругих наблюдаются деформации уплотнения в плоскости подошвы фундамента, вызванные отсутствием сплошности примыкания грунта основания к поверхности подошвы. Во второй фазе остаточные деформации уплотнения сопровождаются упругими деформациями. В третьей фазе наблюдаются деформации: остаточные, поперечного расширения и упругие.

Алгоритм расчета представлен в виде блок-схемы (рис. 3), по которому составлена программа.

Принятые допущения для расчетной схемы.

1. Напряжения в грунтовой толще от дополнительной нагрузки принимаются как для упругого изотропного, линейно-деформируемого полупространства.

2. Нижняя граница сжимаемой толщи принимается на глубине, где сумма напряжений от дополнительной нагрузки и собственного веса грунта равна величине структурной прочности природного грунта.

3. Грунтовая среда принимается изотропной, в пределах которой структурная прочность одинакова в вертикальном и горизонтальном направлениях.

4. Сжимаемость грунтов оценивается двумя показателями: модулем уплотнения и коэффициентом поперечного расширения.

Выводы

1. В высокопористых грунтах по результатам экспериментальных данных установлены процессы деформирования грунтов в пределах каждой фаз НДС.

2. Все параметры, входящие в нормативную расчетную формулу по определению осадки фундамента, принятые по допущениям, не отвечающим реальным условиям деформирования:

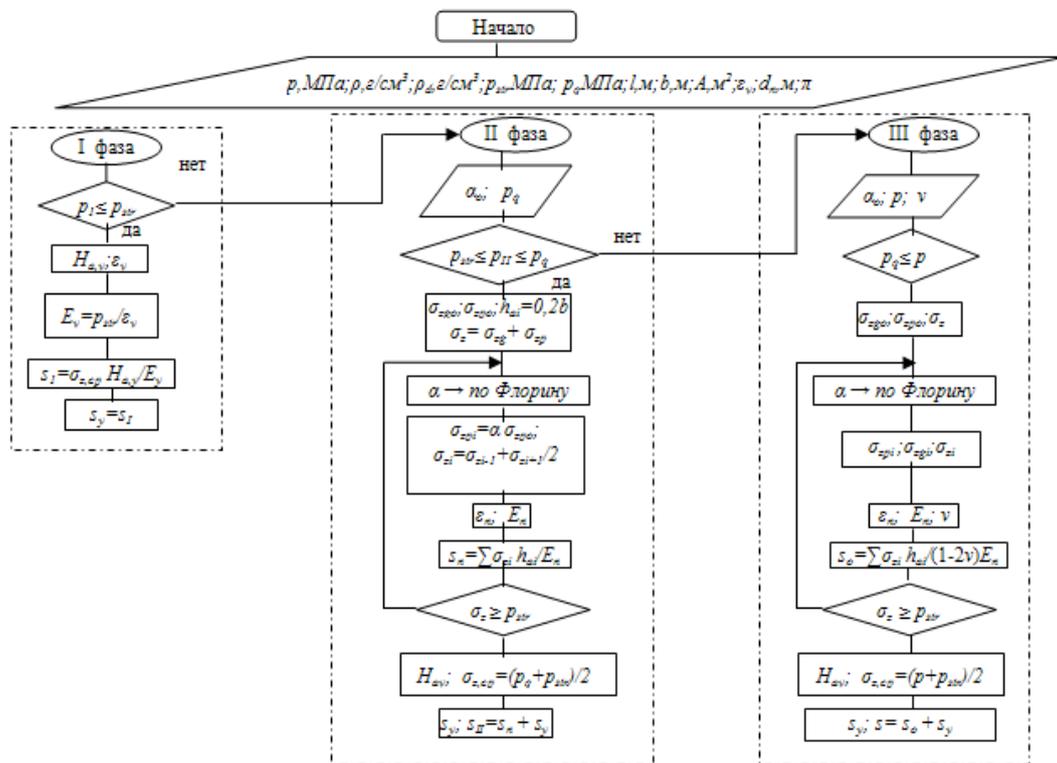


Рис.3. Блок-схема алгоритма расчета осадок грунта в основании фундаментов.
Условные обозначения: $s_o = s_n + s_v$ - осадка грунта, вызванная остаточными деформациями

2.1. Напряжения приняты для однородного изотропного, линейно-деформируемого полупространства.

2.2. Условная глубина сжимаемой толщи находится по соотношению напряжений от дополнительной нагрузки и собственного веса грунта без учета деформативных свойств грунтов.

2.3. Значение модуля деформации определяется без учета параметров деформирования грунтов.

3. Расчет деформаций основан на применении теории упругости и может применяться при давлениях в пределах линейной зависимости $s = f(p)$.

4. В предложенном методе приведены принципы оценки деформаций в пределах трех фаз НДС грунтов.

4.1. На данном этапе сохранен принцип определения напряжений, предусмотренный в нормах.

4.2. Глубина сжимаемой толщи определяется с учетом структурной прочности природного грунта.

4.3. Значение модуля деформации заменено двумя показателями: модулем уплотнения и коэффициентом поперечного расширения.

Литература

1. Герсеванов, Н.М. Опыт применения теории упругости к определению допускаемых нагрузок на грунт на основе экспериментальных работ. / Н.М. Герсеванов // – Собрание сочинений. Том I. – М. Стройвоенмориздат, 1948. – 269с.

2. Тугаенко, Ю.Ф. Принципы определения осадки фундамента в пределах ее нелинейной зависимости от давления /Ю.Ф.Тугаенко; А.П. Ткалич // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування будівництво, випуск 4(34) Том. 1. –Полтава, 2012. – С. 268–273;

3. Тугаенко, Ю.Ф. Модуль деформации в механике грунтов, методы его определения и их достоверность / Ю.Ф. Тугаенко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, випуск № 34. – Одесса, «Зовнішрекламсервіс». – 2009. – С. 538–544.

4. Ткалич, А.П. Зависимость показателей деформативных свойств грунтов от способа их определения / А.П.Ткалич // Вісник

Одеської державної академії будівництва та архітектури, випуск № 36. – Одеса, «Зовнішрекламсервіс». – 2009. – С. 400–407.

5. Тугаенко, Ю.Ф. Трансформация напряженно-деформируемого состояния грунтов основания и ее учет при проектировании фундаментов : монография / Ю.Ф. Тугаенко // Монография. – Одесса. – Астропринт. –2011 – 120 с.

6. Цытович, Н.А. Вопросы теории и практики строительства на слабых глинистых грунтах / Н.А. Цытович // Материалы всесоюзного совещания по строительству на слабых водонасыщенных грунтах: Таллинн: 1965. – С. 5–17.

7. Паталеев, А.В. Механика грунтов, основания и фундаменты / А.В. Паталеев; С.Я. Боженков. – М: Государственное транспортное железнодорожное издательство. – 1943. – Ч. I. – 468 с.