

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*

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

**Annotation:** *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 полу-пространства. 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 ( $\sigma_z$ ) 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 послойных 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.

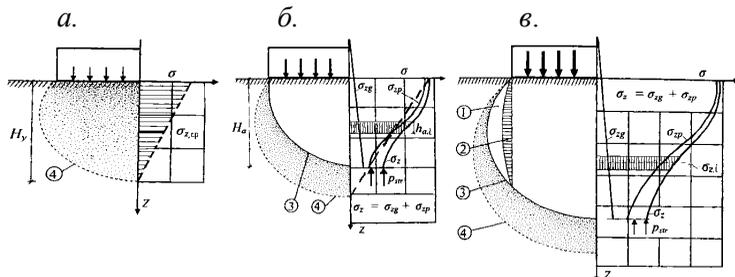


Рис. 1. Схемы развития деформаций в основании фундаментов

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 упругую осадку фундамента можно определить по формуле:

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

где:  $\sigma_{z,sp} = 0,5p$ ;  $p$  – давление под подошвой фундамента;  $H_{a,y}$  – глубина зоны упругих деформации, по результатам полевых исследований, следует принимать при  $p = p_{str}$  равным  $\rho_d = 1,6z / \text{см}^3 - 0,8\sqrt{A} \dots \rho_d = 1,4z / \text{см}^3 - 1,2\sqrt{A}$ ;  $E_y$  – 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. Граница 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:  $\xi$  – коэффициент бокового давления, его значение 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:  $\sigma_{zi}$  – 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;  $\varepsilon_n$  – коэффициент относительного уплотнения, определяется изменением плотности скелета грунта:

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

здесь:  $\rho_d$  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 м<sup>2</sup> приближается к нулю (рис.2).

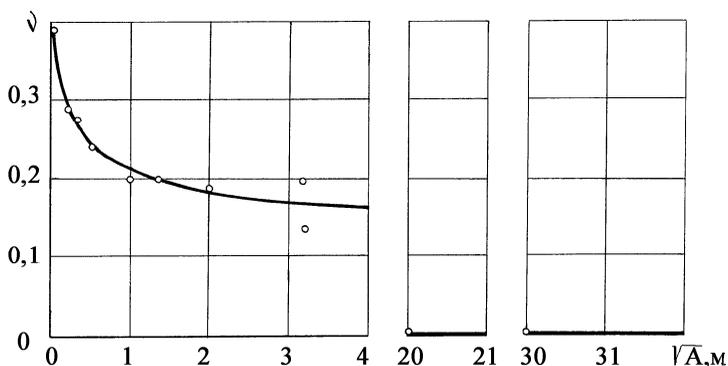


Рис.2. График зависимости коэффициента бокового расширения грунта от площади фундамента

Осадка фундамента, при условии  $p > p_q$  состоит из составляющих деформаций грунта основания: упругой  $s_y$ ; уплотнения  $s_n$ ; и поперечного расширения  $s_v$ . Расчет осадки в

основания фундамента с учетом поперечного расширения грунта производится по формуле:

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

$\nu$  – 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:

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. – Москва. 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. Полтава, випуск 4(34) Том. 1. 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.- Одеса, «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 / Ю.Ф. Тугаенко // Монография. –Астропринт – Одесса –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. Боженов // Государственное транспортное железнодорожное издательство – Москва – 1943 – часть I. – 468 с.