

**ВОПРОСЫ ПЕРЕХОДА НА ЕВРОПЕЙСКИЕ НОРМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

(г. Минск, СФ БНТУ — 30.11.2010)

УДК 624.15

***ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ
ГРУНТОВ С СООТВЕТСТВИЕМ С ТКП EN 1997.
ОТЛИЧИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛИТНЫХ
ФУНДАМЕНТОВ***

НИКИТЕНКО М.И., ИГНАТОВ С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Расчет оснований фундаментов в соответствии с ТКП EN отличается от СНБ по причине разного подхода к решению задачи об определении несущей способности грунта.

**1. Предпосылки и методика расчета оснований
плитных фундаментов по ТКП EN**

Eurocode основывается на работах Прандтля, Терцаги, Мейергофа, Бюисмана, Дебера, Везичи. Общий подход всех этих исследователей сходен. Фундамент бесконечной длины с шириной b передает среднее давление q_0 на однородный грунт с объемным весом γ . Грунт непосредственно под фундаментом образует клин, который продавлиывает грунт. Движение этого клина распирает грунт в стороны и сдвигает его в две стороны, в каждой из них имеется две части: зона радиального сдвига, непосредственно примыкающая к

Равнодействующая пассивного давления земли P_p может быть разделена на три составляющие: 1) P_{py} от веса зоны сдвига АВЕС; 2) P_{pc} от сцепления с в грунте; 3) P_{pq} от пригрузки q .

Эти компоненты пассивного давления рассчитываются отдельно, затем суммируются для получения общей несущей способности:

$$Q_0 = 2 \left(P_{py} + P_{pc} + P_{pq} \right) \cos(\psi - \varphi) \cdot b \cdot c \cdot \tan \psi ;$$

$$q_0 = \frac{2P_{py}}{b} \cos(\psi - \varphi) + \left[\frac{P_{pc} \cos(\psi - \varphi)}{b} + c \cdot \tan \psi \right] + \frac{2P_{pq}}{b} \cos(\psi - \varphi) .$$

Каждая из компонент представляет собой функцию угла внутреннего трения и геометрии зоны разрушения, характеризуемой значениями параметров b и ψ .

К. Терцаги определяет несущую способность при условии, что подошва фундамента шероховатая, вследствие чего горизонтальное смещение грунта по плоскости контакта исключается, и грунт ведет себя так, как будто он является частью фундамента. Поэтому вертикальная нагрузка передается клином на расположенный ниже грунт, и угол ψ может быть принят равным φ . Зона сдвига принимается простирающейся вверх до уровня подошвы фундамента таким образом, что единственный эффект от пригрузки заключается в создании давления q на зоны сдвига [1, 2].

Первый член общей формулы, определенный весом грунта, изменяется прямо пропорционально ширине фундамента. В грунтах без внутреннего трения (водонасыщенный глинистый грунт) ширина фундамента не оказывает влияния на несущую способность. Сцепление влияет только на второй член. При нулевом угле внутреннего трения этот член становится основным в несущей способности [1].

В ТКП ЕН приведены две расчетные зависимости для определения несущей способности плитного фундамента [6]:

Условия без дренирования

$$R / A' = (\pi + 2) \cdot c_u b_c s_c i_c + q ,$$

где безразмерные коэффициенты для:

— наклона подошвы фундамента: $b_c = 1 - 2\alpha / (\pi + 2) ;$

— формы фундамента:

— прямоугольной $s_c = 1 + 0,2 \cdot \sqrt{B'/L'}$;

— квадратной или круглой $s_c = 1,2$;

— наклона нагрузки с горизонтальной составляющей H :

$$i_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}} \right) \text{ для } H \leq A'c_u;$$

c_u — прочность грунта при недренированном сдвиге, которая определяется по формуле:

$$c_u = c \frac{\cos \varphi}{1 - 1/3 \sin \varphi} + \sigma_0 \frac{\sin \varphi}{1 - 1/3 \sin \varphi},$$

где $\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_{z,zp} + 2\sigma_{x,zp})$;

$$\sigma_{z,zp} = \sum \gamma_{zp} \cdot z;$$

$$\sigma_{x,zp} = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_{x,zp}.$$

Коэффициент Пуассона ν , принимается равным:

0,30 — для супесей;

0,35 — для суглинков;

0,42 — для глин.

Условия с дренированием

$$R/A = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0,2\gamma B'N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma,$$

где проектные значения безразмерных коэффициентов для:

а) несущей способности:

$$N_q = e^{\pi \gamma \varphi} \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi'/2);$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi';$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi';$$

б) наклонной подошвы фундамента:

$$b_c = b_q - (1 - b_q)/(N_c \operatorname{tg} \varphi')$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi')^2$$

в) формы фундамента:

$$s_q = 1 + (B'/L') \cdot \sin \varphi' \text{ — для прямоугольной формы;}$$

$$s_q = 1 = \sin \varphi' \text{ — для квадратной или круглой формы;}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') \sin \varphi' \text{ — для прямоугольной формы;}$$

$$s_\gamma = 0,7 \text{ — для квадратной или круглой формы;}$$

$$s_c = (s_q N_q - 1)/(N_q - 1) \text{ — для прямоугольной, квадратной}$$

или круглой формы;

з) наклона нагрузки за счет горизонтальной составляющей H :

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c \operatorname{tg} \varphi');$$

$$i_q = \left[-H / (V + A' c' \operatorname{ctg} \varphi') \right]^m;$$

$$i_\gamma = \left[-H / (V + A' c' \operatorname{ctg} \varphi') \right]^{m+1},$$

где $m = m_B = \left[+ (B'/L') \right] \left[+ (B'/L') \right]$, если H действует вдоль B' ;
 $m = m_L = \left[+ (L'/B') \right] \left[+ (L'/B') \right]$, если H действует вдоль L' .

Основные обозначения применяемые в расчетных формулах

$A' = B'L'$ — проектная эффективная площадь фундамента;

b — проектные значения коэффициентов для наклона подошвы фундамента с нижними индексами c , q и γ ;

B — ширина фундамента;

B' — эффективная ширина фундамента;

e — эксцентриситет равнодействующей воздействия с нижними индексами B и L ;

L — длина фундамента;

L' — эффективная длина фундамента;

m — показатель степени в формулах для коэффициентов наклона i ;

N — коэффициенты с нижними индексами для c , q и γ ;

q — пригрузка или давление на уровне подошвы фундамента;

q' — расчетное эффективное давление от чрезмерной нагрузки на уровне основания фундамента;

s — коэффициенты формы подошвы фундамента с нижними индексами для c , q и γ ;

V — вертикальная нагрузка;

α — наклон подошвы фундамента к горизонтали;

γ' — проектный эффективный удельный вес грунта ниже подошвы фундамента.

Недостатком методики определения несущей способности по ТКП EN является то, что в расчетной формуле учтено наличие больших эксцентриситетов и возможности отрыва подошвы от грунта основания (рис. 2).

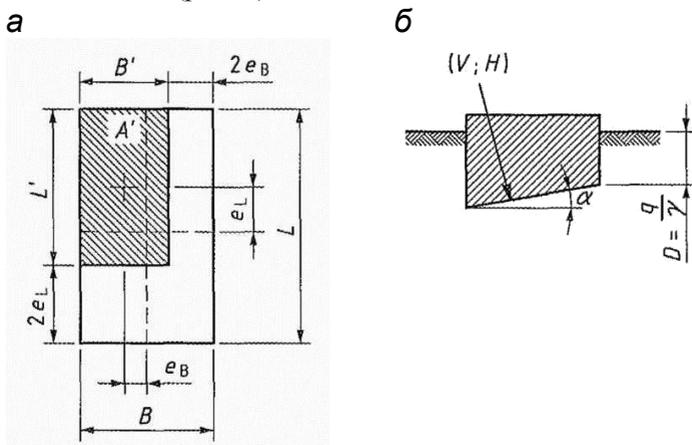


Рис. 2. Условные обозначения величин, применяемых при определении несущей способности грунта в соответствии с ТКП EN:

а — план подошвы фундамента, *б* — разрез

2. Предпосылки и методика расчета оснований плитных фундаментов по национальным нормам

Методика определения расчетного сопротивления оснований по требованиям СНБ 5.01.01-99 базируется на допущениях [3]:

- при малом объеме зон пластических деформаций используется распределение напряжений по теории линейно-деформируемого полупространства;

- факт заглубления фундамента учитывается приложением давления, равного

$$\sigma_{zg} = \gamma \cdot (d + z),$$

где d — глубина заложения подошвы фундамента;

z — допустимая глубина развития зон пластических деформаций.

— распределение напряжений от собственного веса грунта принимается по геостатическому закону, т.е. $\sigma_{zg} = \sigma_{xg} = \gamma \cdot d$

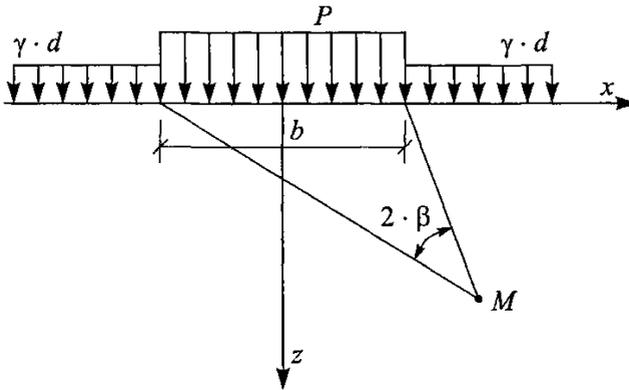


Рис. 3. Расчетная схема определения расчетного сопротивления оснований по национальным нормам

Главные напряжения в любой точке основания с учетом напряжений от собственного веса грунта вычисляются по формулам:

$$\sigma_1 = \frac{P - \gamma \cdot d}{\pi} \cdot (2\beta + \sin 2\beta) + \gamma \cdot (d + z);$$

$$\sigma_2 = \frac{P - \gamma \cdot d}{\pi} \cdot (2\beta - \sin 2\beta) + \gamma \cdot (d + z).$$

Для получения уравнения линий, описывающих области предельного равновесия, необходимо полученные значения напряжений подставить в условие предельного равновесия:

$$\frac{1}{\cos \varphi} \cdot \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = c$$

Совместное решение уравнений относительно глубины развития зон пластических деформаций дает выражение

$$z = \frac{P - \gamma \cdot d}{\pi} \left(\frac{\sin 2\beta}{\sin \varphi} - 2\beta \right) - d - \frac{c}{\lambda} \operatorname{ctg} \varphi.$$

При принятой глубине развития зон пластических деформаций давление P определяется [3]

$$p = \frac{\pi \cdot \gamma}{\text{ctg}\varphi + \varphi + \frac{\pi}{2}} \left(z_{\text{max}} + d + \frac{c}{\gamma} \text{ctg}\varphi \right) + \gamma \cdot d .$$

Преобразовав, получим

$$p = M_{\gamma} b \cdot \gamma + M_q \cdot \gamma \cdot d + M_c \cdot c .$$

Давление P увеличенное в $\gamma_1 \cdot \gamma_2 / k$ принято называть расчетным сопротивлением основания:

$$R = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{k} \left[M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma_{II} + M_c \cdot c_{II} \right] .$$

Введение этих коэффициентов приводит к увеличению R почти в 2 раза. При изменении допустимой глубины развития зон пластических деформаций в случае гибких фундаментов пропорционально изменятся только коэффициент M_{γ} , а коэффициенты M_q и M_c остаются постоянными. Следовательно, изменение R может быть достигнуто только значительным увеличением коэффициента M_{γ} . Поэтому следует говорить об условиях определения не R , а коэффициента M_{γ} , который фактически вычислен при допустимой глубине развития зон пластических деформаций $z_{\text{max}} = 0,25$ м [3].

Данная методика определения расчетного сопротивления разработана для ленточных центрально нагруженных гибких фундаментов, расположенных на поверхности грунта, то есть при отсутствии подвалов и не учитывает [3]:

- внецентренное приложение нагрузки и жесткость фундаментов;
- форму подошвы фундаментов (квадрат, круг, кольцо, прямоугольник, прерывистые и с угловыми вырезами);
- совместное воздействие горизонтальных и вертикальных нагрузок (подпорные стены, стены подвалов, каркасные здания и т. д.);
- взаимное влияние фундаментов в местах пересечения стен, в местах устройства осадочных швов и при наличии вблизи фундаментов складированных материалов.

3. Пример расчета оснований плитных фундаментов по национальным нормам и ТКП EN

Нами был выполнен расчет по определению расчетного сопротивления грунта основания под одиночным, прямоугольным в плане, фундаментом с размерами 1,8×2,4 м, расположенным в подвале и без подвала, согласно требованиям СНБ, а несущей способности грунта — по ТКП EN. Вертикальная нормативная нагрузка на уровне обреза фундамента — 1200 кН.

Грунтовые условия представлены песчаным грунтом средней плотности средней крупности со следующими нормативными характеристиками: $\gamma = 19,5 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 30^\circ$; и глинистым грунтом, с показателем текучести $I_L = 0,1$, угол внутреннего трения $\varphi = 20^\circ$; $\gamma = 20,0 \text{ кН/м}^3$, $c = 25 \text{ кПа}$. Выше подошвы фундамента залегает насыпной грунт, удельным весом $\gamma = 17,5 \text{ кН/м}^3$. Жесткость здания $L/H = 2,75$. Суммарная толщина пола — 200 мм.

Расчетные схемы приведены в таблице 1. Определение несущей способности грунтов в соответствии с требованиями национальных норм [4, 5] представлено в таблице 2, а по ТКП EN [6] в таблицах 3 и 4.

Полученные результаты свидетельствуют, что при расчете оснований по ТКП EN несущая способность глинистых грунтов оснований меньше расчетных сопротивлений грунта, получаемых по национальным нормам, а песчаных превышает значения, полученные по национальным нормам в 2,9...3,5 раза.

Необходимо отметить, что расчет по ТКП EN включает наличие больших эксцентриситетов, отрыв подошвы фундамента от грунта, не учитывает заглубление фундамента в песчаном грунте, а также наличие подвала. Можно отметить, что в приведенных расчетах несущая способность определена для достаточно прочных грунтов, в будущем необходимо выполнить расчет для глинистых грунтов текучей консистенции и рыхлых песчаных грунтов.

Таблица 1 — Расчетные схемы

| Вариант | Грунт в основании | |
|---|---|---|
| | песчаный | глинистый |
| Бесподвальный | <p style="text-align: center;">Ф1</p> <p style="text-align: center;">Песок средней средней плотности: $\varphi = 30^\circ$; $\gamma = 19,5 \text{ кН/м}^3$</p> | <p style="text-align: center;">Ф2</p> <p style="text-align: center;">Суглинок: $IL = 0,1$; $\varphi = 20^\circ$ $\gamma = 20,0 \text{ кН/м}^3$; $c = 25 \text{ кПа}$</p> |
| С подвалом шириной 18 м. Расчет производится под среднюю колонну | <p style="text-align: center;">Ф3</p> <p style="text-align: center;">Песок средней средней плотности: $\varphi = 30^\circ$; $\gamma = 19,5 \text{ кН/м}^3$</p> | <p style="text-align: center;">Ф4</p> <p style="text-align: center;">Суглинок: $IL = 0,1$; $\varphi = 20^\circ$ $\gamma = 20,0 \text{ кН/м}^3$; $c = 25 \text{ кПа}$</p> |

Таблица 2 — Определение расчетного сопротивления грунта по национальным нормам

| Параметр | Значение параметра для фундамента | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | Ф1 | Ф2 | Ф3 | Ф4 |
| γ_1 | 1,4 | 1,25 | 1,4 | 1,25 |
| γ_2 | 1,3 | 1,05 | 1,3 | 1,05 |
| k | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| $\varphi, ^\circ$ | 30 | 20 | 30 | 20 |
| M_γ | 1,15 | 0,51 | 1,15 | 0,51 |
| M_q | 5,57 | 3,06 | 5,57 | 3,06 |
| M_c | 7,95 | 5,66 | 7,95 | 5,66 |
| k_z | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| $b, \text{ м}$ | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| $\gamma_{II}, \text{ кН/м}^3$ | 19,5 | 20,0 | 19,5 | 20,0 |
| $D_I, \text{ м}$ | 1,50 | 1,50 | 0,86 | 0,85 |
| $\gamma'_{II}, \text{ кН/м}^3$ | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| $d_b, \text{ м}$ | 0 | 0 | 2,0 | 2,0 |
| $c_{II}, \text{ кПа}$ | 0 | 25,0 | 0 | 25,0 |
| $R, \text{ кПа}$ | 339,6 | 315,2 | 516,4 | 364,2 |

Таблица 3 — Определение несущей способности грунта без возможности дренирования по ТКП EN

| Параметр | Значение параметра для фундамента | |
|-------------|-----------------------------------|-------|
| | Ф2 | Ф4 |
| c_u , кПа | 34,5 | 44,2 |
| b_c | 1,0 | 1,0 |
| s_c | 1,15 | 1,15 |
| i_c | 1,0 | 1,0 |
| q , кПа | 0,5 | 3,0 |
| R/A , кПа | 204,7 | 264,1 |

Таблица 4 — Определение сопротивлений грунта по ТКП EN при возможности дренирования

| Параметр | Значение параметра для фундамента | |
|------------------------------|-----------------------------------|--------|
| | Ф1 | Ф3 |
| c , кПа | 0 | 0 |
| Φ , ° | 30 | 30 |
| N_q , м | 18,4 | 18,4 |
| N_c , м | 30,14 | 30,14 |
| N_γ , м | 20,09 | 20,09 |
| A , ° | 0 | 0 |
| $b_c = b_q = b_\gamma$, м | 1,0 | 1,0 |
| s_c | 1,396 | 1,396 |
| s_q | 1,375 | 1,375 |
| s_γ | 0,888 | 0,888 |
| $i_c = i_q = i_\gamma$ | 1,0 | 1,0 |
| $q' = \gamma d$, кПа | 26,25 | 57,75 |
| γ , кН/м ³ | 20,0 | 20,0 |
| R/A , кПа | 985,1 | 1782,0 |

Таблица 5 — Значения несущей способности грунта по
ТКП EN и СНБ, кПа

| Фундамент | Ф1 | Ф2 | Ф3 | Ф4 |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| Грунтовые условия основания | Песок средний средней прочности | Суглинок полутвердый | Песок средний средней прочности | Суглинок полутвердый |
| По ТКП EN | 985,1 | 204,7 | 1782,0 | 264,1 |
| По СНБ | 339,6 | 315,2 | 516,4 | 364,2 |
| ТКП EN/СНБ | 2,90 | 0,65 | 3,45 | 0,73 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонардс, Д.А. Основания и фундаменты / Д.А. Леонардс; пер. с англ. проф. М.Н. Гольдштейн. — М., 1968 — 504 с.
2. Терцаги, К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств / К. Терцаги; пер. с нем. А.А. Черкасов, П.С.Рубан, П.П. Смиринкин; под. ред. Н.М. Герсеванова. — Л., НТКП СССР, 1933. — 392.
3. Пилягин, А.В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений / А.В. Пилягин. — М., Ассоциация строительных вузов, 2006 — 248 с.
4. Основания и фундаменты зданий и сооружений: СНБ 5.01.01-99
5. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007.
6. Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила: ТКП EN 1997-1-2009 (02250) Еврокод 7.