

РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО  
ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА  
АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Таблица 1 - Экономический расчет для различных технологий строительства

Наименование технологии	Стоимость за кв.м
Возведение дома из соломенных блоков (свайный фундамент)	13 466 рублей
Возведение дома из соломенных блоков (ленточный фундамент)	14 670 рублей
Возведение дома из блоков «ГеоКар» (ленточный фундамент)	17 305 рублей
Возведение дома по 3D технологии (свайный фундамент)	18 680 рублей
Возведение дома по 3D технологии (ленточный фундамент)	19 880 рублей
Каркасно-щитовое домостроение (свайный фундамент)	22 455 рублей
Каркасно-щитовое домостроение (ленточный фундамент)	23 656 рублей
Возведение деревянного дома (клееный брус, свайный фундамент)	26 112 рублей
Возведение деревянного дома (клееный брус, ленточный фундамент)	27 314 рублей

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экономический расчет показал, что применение альтернативных технологий возведения индивидуальных жилых домов позволяет сократить расходы на строительство, при этом конструкции отвечают экологическим и теплотехническим требованиям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Администрации Алтайского края от 19.02.2013 №77 «Об утверждении краевой программы «Развитие предприятий промышленности строительных материалов и индустриального домостроения в Алтайском крае до 2020 года»

2. Статья «Для решения жилищной проблемы надо развивать жилищное строительство» 2 апреля 2010 г. <http://www.bpn.ru/publications/38223>.

3. Статья «В Алтайском крае индивидуальное жилищное строительство продолжает расти» 15 ноября 2011 г. <http://www.doc22.ru/information/2009-01-13-08-16-47/2612-2011-11-15-01-29-42>.

4. Статья «Теория и практика строительства жилых энерго-эффективных соломенных домов» <http://c-a-m.narod.ru/wpc/geocar.html>.

**Бесклубова С.А.** – аспирант, E-mail: [besklubova.svetl@mail.ru](mailto:besklubova.svetl@mail.ru), **Осипова М.А.** – к.э.н., доцент, Алтайский государственный технический университет.

УДК 624.131

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ ПОДОШВЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ФУНДАМЕНТА, ЗАВИСЯЩИХ ОТ УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ГРУНТА

В.В. Бессонов, И.В. Карелина

*В статье даются рекомендации по использованию методики расчёта оснований прямоугольных фундаментов по I и II группам предельных состояний, разработанной на основе решений теории предельного равновесия грунтов (ТПРГ) и экспериментальных данных.*

*Ключевые слова: грунт, прямоугольный фундамент, квадратный фундамент, коэффициенты формы, несущая способность (прочность) грунтовых оснований, теория предельного равновесия грунтов, осадка, песчаный грунт, глинистый грунт.*

В настоящее время грунтовые основания рассчитываются по двум группам предельных состояний.

Расчёт по первой группе предельных состояний, в том числе, подразумевает определение прочности или несущей способности

глинистых и песчаных грунтовых оснований прямоугольных фундаментов. Прочность оснований прямоугольных или квадратных фундаментов оценивается по величине вертикальной составляющей  $p_u$  предельного давления согласно СП 22.13330.2011 «СНиП

2.02.01-83\* Актуализированная редакция. Основания зданий и сооружений» [1]. При этом предельное давление на грунтовое основание определяется статическим методом теории предельного равновесия грунтов. На рисунке 1 показано очертание областей предельного напряженного состояния грунта в основании прямоугольного фундамента при действии на него предельного давления в случае весомого основания.

Среднее предельное давление на основание  $p_u$  прямоугольных фундаментов в соответствии с [1] определяется по формуле

$$p_u = \gamma_1 b N_\gamma \xi_\gamma + q N_q \xi_q + c_1 N_c \xi_c, \quad (1)$$

где  $\gamma_1$  – расчётное значение удельного веса грунтов,  $\text{кН/м}^3$ , находящихся ниже подошвы фундамента;

$q = \gamma_1' d_1$  – величина пригрузки,

при этом  $\gamma_1'$  – расчётное значение удельного веса грунтов,  $\text{кН/м}^3$ , находящихся выше подошвы фундамента;

$d_1$  – глубина заложения фундамента, м;

$N_\gamma, N_q, N_c$  – коэффициенты несущей способности основания ленточного фундамента, м, зависящие от расчётного угла внутреннего трения грунта  $\varphi_{расч.}$ ;  $c_1$  – расчётное значение удельного сцепления грунта,  $\text{кПа}$ ;

$\xi_\gamma, \xi_q, \xi_c$  – коэффициенты формы подошвы фундамента.

Коэффициенты несущей способности можно рассчитать по формулам в зависимости от угла внутреннего трения грунта  $\varphi_{расч.}$  как в случае плоской деформации

$$\begin{aligned} N_\gamma &= 1,66 \cdot \text{tg} \varphi_{расч.} \cdot e^{4,66 \cdot \text{tg}^{1,09} \varphi_{расч.}}, \\ N_q &= \frac{1 + \sin \varphi_{расч.}}{1 - \sin \varphi_{расч.}} e^{\pi \text{tg} \varphi_{расч.}}, \\ N_c &= (N_q - 1) c \text{tg} \varphi_{расч.}. \end{aligned} \quad (2)$$

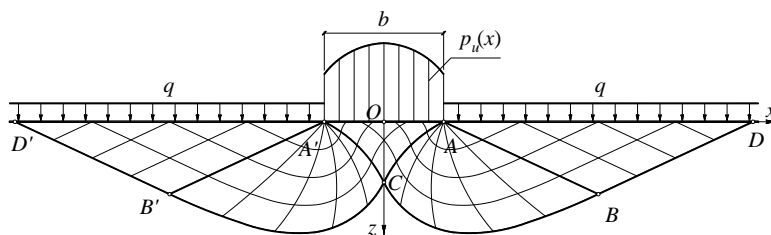


Рисунок 1 - Области предельного напряженного состояния грунта в основании прямоугольного (ленточного) или квадратного фундаментов ( $q$  – боковая пригрузка)

Коэффициенты формы  $\xi_\gamma, \xi_q, \xi_c$  предлагается определять по следующим зависимостям [2...4]

$$\xi_\gamma = 1 + \frac{a_\gamma}{\eta}; \quad \xi_q = 1 + \frac{a_q}{\eta}; \quad \xi_c = 1 + \frac{a_c}{\eta}, \quad (3)$$

где

$$\eta = \frac{l}{b}$$

( $l$  и  $b$  – соответственно длина и ширина фундамента, м).

При этом вспомогательные коэффициенты

$$a_\gamma = \frac{N_{\gammaк}}{N_\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} - 1; \quad a_q = \frac{N_{qк}}{N_q} - 1; \quad a_c = \frac{N_{ск}}{N_c} - 1, \quad (4)$$

где  $N_{\gammaк}, N_{qк}, N_{ск}$  – коэффициенты несущей способности из уточненного решения осесимметричной задачи вне концепции полной пластичности, зависящие от расчётного угла внутреннего трения грунта  $\varphi_{расч.}$  [2].

Данные коэффициенты могут быть также определены по аппроксимационным формулам

$$\begin{aligned} a_\gamma &= 1,68 \text{tg} \varphi_{расч.} \cdot e^{0,09 \text{tg} \varphi_{расч.}} - 0,6; \\ a_q &= \text{tg}^{0,07} \varphi_{расч.} \cdot e^{0,74 \sin \varphi_{расч.}} - 0,8; \\ a_c &= 0,8685 \varphi_{расч.} + 0,1767. \end{aligned} \quad (5)$$

В таблице 1 даны значения коэффициентов формы подошвы прямоугольного фундамента  $\xi_\gamma, \xi_q, \xi_c$  в зависимости от соотношения сторон фундамента и угла внутреннего трения (см. (3)). При других значениях угла внутреннего трения коэффициенты формы можно определить по (3) с учётом (5). При соотношении сторон фундамента  $\eta > 5$

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ ПОДОШВЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ФУНДАМЕНТА, ЗАВИСЯЩИХ ОТ УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ГРУНТА**

фундамент рассматривается как ленточный и коэффициенты  $\xi_\gamma$ ,  $\xi_q$ ,  $\xi_c$  принимаются равными единице.

Пример расчёта. Требуется определить коэффициенты формы  $\xi_\gamma$ ,  $\xi_q$ ,  $\xi_c$  подошвы фундамента размером 1x4 м ( $\eta = 4$ ). Основание фундамента представлено грунтом с расчётным углом внутреннего трения  $\varphi_l = 22^\circ$ .

Коэффициенты формы определяются по (3) с учётом (5). Предварительно необходимо определить вспомогательные коэффициенты  $a_\gamma$ ,  $a_q$ ,  $a_c$  по (5)

$$a_\gamma = 1,68 \cdot \operatorname{tg} 22^\circ \cdot e^{0,09 \operatorname{tg} 22^\circ} - 0,6 = 0,104;$$

$$a_q = \operatorname{tg}^{0,07} 22^\circ e^{0,74 \sin 22^\circ} - 0,8 = 0,438;$$

$$a_c = 0,8685 \cdot 0,384 + 0,1767 = 0,510.$$

Далее по формулам (3) определяют коэффициенты формы подошвы фундамента

$$\xi_\gamma = 1 + \frac{0,104}{4} = 1,026;$$

$$\xi_q = 1 + \frac{0,438}{4} = 1,11; \quad \xi_c = 1 + \frac{0,172}{4} = 1,128.$$

При расчётах по второй группе предельных состояний рекомендуется использовать величину предельного давления на основания прямоугольных фундаментов при определении осадки за пределами линейной зависимости осадки основания от нагрузки, согласно рекомендациям [1].

Таблица 1

<i>Фрасч.</i>	$\eta$	$\xi_\gamma$	$\xi_q$	$\xi_c$
5°	1	0,580	1,089	1,247
	2	0,790	1,045	1,124
	3	0,860	1,030	1,082
	4	0,895	1,022	1,062
	5	0,916	1,018	1,049
10°	1	0,686	1,200	1,335
	2	0,843	1,100	1,168
	3	0,895	1,067	1,112
	4	0,922	1,050	1,084
	5	0,937	1,040	1,067
15°	1	0,833	1,305	1,408
	2	0,917	1,153	1,204
	3	0,944	1,102	1,136
	4	0,958	1,076	1,102
	5	0,967	1,061	1,082
20°	1	1,011	1,407	1,483
	2	1,006	1,204	1,242
	3	1,004	1,136	1,161
	4	1,003	1,102	1,121
	5	1,002	1,081	1,097
25°	1	1,190	1,497	1,549
	2	1,095	1,249	1,275
	3	1,063	1,166	1,183
	4	1,048	1,124	1,137
	5	1,038	1,099	1,110
30°	1	1,432	1,595	1,629
	2	1,216	1,298	1,315
	3	1,144	1,198	1,210
	4	1,108	1,149	1,157
	5	1,086	1,119	1,126
35°	1	1,665	1,679	1,700
	2	1,333	1,340	1,350
	3	1,222	1,226	1,233
	4	1,166	1,170	1,175
	5	1,133	1,136	1,140
40°	1	1,938	1,779	1,792
	2	1,469	1,390	1,396
	3	1,313	1,260	1,264
	4	1,235	1,195	1,198
	5	1,188	1,156	1,158

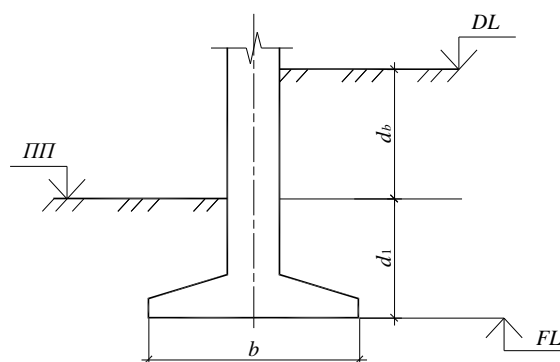


Рисунок 2 - Схема одиночного прямоугольного (в плане) фундамента с подвальными помещениями ( $d_b$  – глубина подвала - расстояние от уровня планировки до пола подвала, м)

В данной работе предлагается новая методика определения осадки основания  $s_p$  прямоугольных фундаментов и расчётного сопротивления  $R$  с применением полученных выше коэффициентов формы подошвы прямоугольных фундаментов  $\xi_\gamma, \xi_q, \xi_c$ . Следует заметить, что в настоящее время при определении расчётного сопротивления  $R$  форма подошвы фундамента не учитывается.

Осадку основания  $s_p$  при давлении под подошвой фундамента  $p$ , превышающем расчётное сопротивление грунта основания  $R$ , допускается определять по формуле [1, 5]

$$s_p = s_R \left[ 1 + \frac{(p_u - R)(p - R)}{(R - \sigma_{zg,0})(p_u - p)} \right], \quad (6)$$

где  $s_R$  – осадка основания при давлении  $p=R$ ;  $p_u$  – несущая способность (прочность) глинистого или песчаного грунта, определяемая по формуле (1) с учётом (3), кПа;

$\sigma_{zg,0}$  – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента, кПа

Расчётное сопротивление грунта основания прямоугольных (квадратных) в плане фундаментов (рисунок 2) определим по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \left[ M_\gamma k_z b \gamma_{II} \xi_\gamma + M_q d_1 \gamma'_{II} \xi_q + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} \xi_q + M_c c_{II} \xi_c \right], \quad (7)$$

где  $\gamma_{c1}, \gamma_{c2}$  – коэффициенты условий работы, принимаемые по таблице 3 [1];

$k = 1$ , если прочностные характеристики грунта определены непосредственно в испытаниях,  $k = 1,1$ , если они приняты по таблицам;

$d_1$  – глубина заложения фундаментов от уровня планировки для без подвальных со-

оружений или приведенная глубина заложения от уровня пола подвала при его наличии определяемая по формуле (8), м [1];

$d_b$  – глубина подвала от уровня планировки, м;

$\gamma_{II}$  – расчётное значение удельного веса грунта несущего слоя основания, кН/м<sup>3</sup>;

$\gamma'_{II}$  – расчётное значение осредненного удельного веса грунтов, залегающих выше подошвы фундаментов, кН/м<sup>3</sup>;

$k_z$  – коэффициент, принимаемый равным: при  $b < 10$  м -  $k_z = 1$ , при  $b \geq 10$  м -  $k_z = z_0/b + 0,2$  (здесь  $z_0 = 8$  м);

$M_\gamma, M_q, M_c$  – коэффициенты, определяемые по формулам

$$M_\gamma = \frac{0,25\pi}{\text{ctg}\varphi_{II} - \pi/2 + \varphi_{II}};$$

$$M_q = \frac{\pi}{\text{ctg}\varphi_{II} - \pi/2 + \varphi_{II}} + 1;$$

$$M_c = \frac{\pi \cdot \text{ctg}\varphi_{II}}{\text{ctg}\varphi_{II} - \pi/2 + \varphi_{II}},$$

$c_{II}, \varphi_{II}$  – расчётные значения характеристик прочности грунта несущего слоя – удельное сцепление и угол внутреннего трения.

Пример расчёта. Требуется определить осадку основания  $s_p$  при давлении  $p$ , превышающем расчётное сопротивление грунта основания  $R$  под подошвой прямоугольного фундамента размером  $1 \times 4$  м ( $\eta = 4, b = 1$  м) без подвального помещения. Глубина заложения подошвы фундамента  $d_1 = 1$  м. Коэффициент  $k_z = 1$ . Коэффициенты условия работы  $\gamma_{c1}, \gamma_{c2}$  примем равными единице.

При этом основание представлено грунтом со следующими характеристиками:

$\gamma'_n = 20$  кН/м<sup>3</sup> ( $\gamma'_{II} = 20$  кН/м<sup>3</sup>,  $\gamma'_I = 18,2$  кН/м<sup>3</sup>);

$\gamma_n = 19,2$  кН/м<sup>3</sup> ( $\gamma_{II} = 19,2$  кН/м<sup>3</sup>,  $\gamma_I = 17,5$  кН/м<sup>3</sup>);

модуль деформации  $E = 8000$  кПа;  $\varphi_n = 20^\circ$ ,

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ  
ПОДОШВЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ФУНДАМЕНТА, ЗАВИСЯЩИХ ОТ УГЛА ВНУТРЕННЕГО  
ТРЕНИЯ ГРУНТА

$c_n = 5$  кПа ( $\varphi_{II} = 20^\circ$ ,  $c_{II} = 5$  кПа;  $\varphi_I = 17,4^\circ$ ,  $c_I = 3,3$  кПа). В данном случае характеристики с индексом «n» являются нормативными.

Определим расчётное сопротивление грунта. Для этого предварительно рассчитываются коэффициенты формы подошвы фундамента согласно (3) или по таблице 1, которые предлагается использовать и при расчётах по второй группе предельных состояний. Таким образом, при угле внутреннего трения  $\varphi_{II} = 20^\circ$  и  $\eta = 4$  коэффициенты  $\xi_\gamma = 1,003$ ;  $\xi_q = 1,102$ ;  $\xi_c = 1,121$ .

Далее определяются коэффициенты  $M_\gamma$ ,  $M_q$ ,  $M_c$

$$M_\gamma = \frac{0,25\pi}{\operatorname{ctg}\varphi_{II} - \pi/2 + \varphi_{II}} = \frac{0,785}{2,75 - 1,57 + 0,349} = 0,51$$

$$M_q = \frac{\pi}{\operatorname{ctg}\varphi_{II} - \pi/2 + \varphi_{II}} + 1 = \frac{3,142}{2,75 - 1,57 + 0,349} + 1 = 3,06$$

$$M_c = \frac{\pi \cdot \operatorname{ctg}\varphi_{II}}{\operatorname{ctg}\varphi_{II} - \pi/2 + \varphi_{II}} = \frac{3,142 \cdot 2,75}{2,75 - 1,57 + 0,349} = 5,65$$

Тогда,

$$R = 0,51 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 19,2 \cdot 1,003 + 3,06 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 1,102 + 5,65 \cdot 5 \cdot 1,121 = 109 \text{ кПа.}$$

Далее определяется несущая способность или вторая критическая нагрузка на грунтовое основание  $p_u$  по (1). Для этого считаем

$$1) N_\gamma = 1,940, N_q = 4,960, N_c = 12,640 \text{ (см. (2));}$$

$$2) q = 18,2 \cdot 1 = 18,2 \text{ кН/м;}$$

$$3) a_\gamma = 1,68 \cdot \operatorname{tg} 17,4^\circ \cdot e^{0,09 \operatorname{tg} 17,4^\circ} - 0,6 = -0,058;$$

$$a_q = \operatorname{tg}^{0,07} 17,4^\circ \cdot e^{0,74 \sin 17,4^\circ} - 0,8 = 0,350;$$

$$a_c = 0,8685 \cdot 0,304 + 0,1767 = 0,440$$

Затем по формулам (3) определяем коэффициенты формы подошвы фундамента

$$\xi_\gamma = 1 - \frac{0,058}{4} = 0,986; \xi_q = 1 + \frac{0,350}{4} = 1,088;$$

$$\xi_c = 1 + \frac{0,440}{4} = 1,110.$$

Тогда,

$$p_u = 17,5 \cdot 1 \cdot 1,940 \cdot 0,986 + 18,2 \cdot 4,960 \cdot 1,088 + 3,3 \cdot 12,640 \cdot 1,110 = 178 \text{ кПа.}$$

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента определяется следующим образом

$$\sigma_{zg,0} = \gamma_{II}' d_1 = 20 \cdot 1 = 20 \text{ кПа.}$$

Давление, превышающее расчётное сопротивление, примем  $p = 150$  кПа. Осадка основания  $s_R$  при давлении  $p = R = 109$  кПа определяется методом послойного суммирования. Таким образом,  $s_R = 0,012$  м.

Теперь осадка основания  $s_p$  при давлении под подошвой фундамента  $p = 150$  кПа по формуле (6) составит

$$s_p = 0,012 \left[ 1 + \frac{(178 - 109)(150 - 109)}{(109 - 20)(178 - 150)} \right] = 0,026 \text{ м.}$$

**Вывод:** в данной статье предлагается методика расчёта оснований прямоугольных фундаментов по I и II группам предельных состояний, разработанная на основе решений теории предельного равновесия грунтов (ТПРГ) и экспериментальных данных, что позволяет полнее учитывать прочностные ресурсы грунтовых оснований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83\* Актуализированная редакция. Основания зданий и сооружений» – М., 2011.
2. Королев К.В., Бессонов В.В. Уточненные значения коэффициентов формы при определении несущей способности оснований прямоугольных фундаментов / Королев К.В., Бессонов В.В. // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – №4 – С. 29-30.
3. Королёв К.В., Бессонов В.В. Экспериментально-теоретическая оценка прочности грунта в основании прямоугольных фундаментов. – Барнаул: АлтГТУ, 2011. – № 1 – С. 87-92.
4. Бессонов В.В. Прочность глинистых и песчаных грунтовых оснований прямоугольных в плане фундаментов с учётом зависимости механических свойств грунта от напряжённого состояния: автореф. дисс. канд. техн. наук / Бессонов В.В. – Барнаул: АлтГТУ, 2011. – 23 с.

**Бессонов В.В.** – к.т.н., доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, E-mail: v.bessonov@ngs.ru.; **Карелина И.В.** – к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет.