

УДК 624.131

**РЕАКТИВНОЕ КОНТАКТНОЕ  
ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА НА ПЛОСКУЮ ПОДОШВУ  
ЖЕСТКОГО ФУНДАМЕНТА**

**Будыльская Е.А.**

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия*

Предложена методология расчетного определения формы уплотненного ядра грунта в виде пирамидального тангенсоида под квадратной подошвой фундамента и седлообразной эпюры реактивного контактного давления грунта на плоскую подошву жесткого фундамента.

The methodology of the calculated shape determination of the pressed ground core was proposed in the form of pyramidal tangensoid under the square foundation base and the saddle-shaped epure of the reactive square ground pressure on the flat hard foundation base.

Согласно экспериментальным и теоретическим исследованиям [4], эпюры контактного реактивного давления грунта на плоскую подошву жесткого фундамента под нагрузкой имеют нелинейный седлообразный вид.

Актуальность решения задачи заключается в том, что необходимо иметь расчетную эпюру достоверных контактных реактивных давлений грунта на подошву фундамента, пригодную для объективного расчета рациональных конструкций фундаментных плит. Методика расчетного исследования базируется на положениях разработанной новой модели теории нелинейного деформирования пре-

дельно напряженного грунта [1], [2], и на результатах экспериментального исследования сжимаемости однородного супесчанистого основания штампа (фундамента) в натуральных полевых условиях, взятым по литературным данным [3].

Супесь авторами испытывалась в шурфе, на отметке глубины заложения фундамента, квадратным жестким железобетонным штампом площадью  $A = 0,5 \text{ м}^2$  ( $\sigma = 707 \text{ мм}$ ). Нагружение штампа производилось ступенями по 25 кН с выдержкой до условной стабилизации осадки. Испытание доведено до стабилизации деформации сдвига на последней предельной ступени нагрузки при давлении  $p = 450 \text{ кПа}$ . Внешняя предельная нагрузка на штамп при  $S = 75 \text{ мм}$ .

$$N = pA. \quad (1)$$

В соответствие с положениями применяемой модели теории нелинейного деформирования предельно напряженного грунта используются пять открытых состояний предельных равновесий дисперсных грунтов при сдвиге по микроплощадкам в контактах между их элементарными частицами, характеризующиеся соответственно пятью углами внутренней связности и трения грунта:

$$\theta_1 = \varphi; \quad (2)$$

$$\theta_2 = 22,5^\circ + \varphi / 2; \quad (3)$$

$$\theta_3 = 45^\circ; \quad (4)$$

$$\theta_4 = 67,5^\circ - \varphi / 2; \quad (5)$$

$$\theta_5 = 90^\circ - \varphi \quad (6)$$

и коэффициентами внутренней связности и трения грунта  $tg^n \theta_i$ , значения которых приведены в табл. 1, где  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта;  $n$  – показатель степени в зависимости от вида дисперсного грунта.

По значениям углов внутренней связности и трения  $\theta_i$ , рассчитываются геометрические параметры и на рис. 1, а графически выстраивается форма уплотненного ядра в пределах зон напряженно-деформированного состояния грунта в виде пирамидального тангенсоида.

Под подошвой фундамента под влиянием «контурного эффекта сжатия грунта» концентрично формируются оболочки внутренних элементарных четырехгранных пирамидальных тангенсоидов обжатого грунта с образующими боковых поверхностей 1–11...5–10, по которым соответственно действуют предельные напряжения от  $\sigma_1 = \tau_1 = 19,4$  кПа до  $\sigma_5 = \tau_5 = 236$  кПа, показанные в табл. 2.

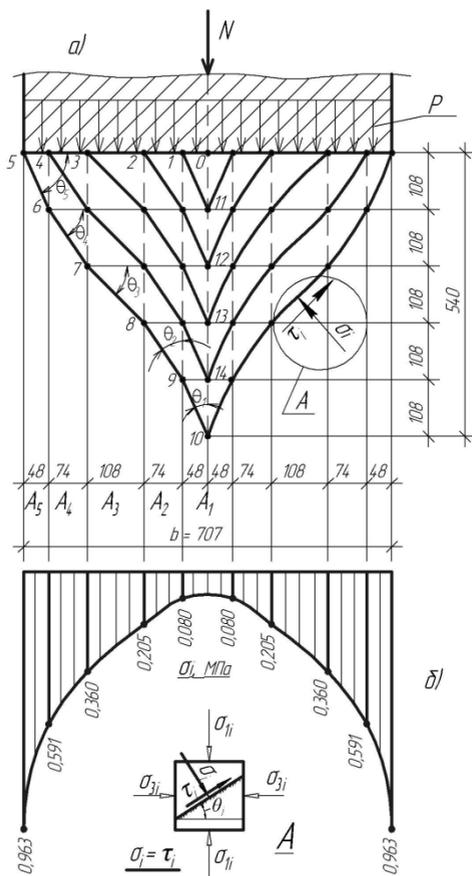


Рис. 1. Расчетная форма уплотненного ядра в виде пирамидального тангенсоида под квадратной подошвой фундамента в супесчаном основании (а) и эпюра реактивного контактного давления грунта на плоскую подошву жесткого фундамента

Таблица 1

## Углы и коэффициенты внутренней связности и трения грунта

№ СРР *	Углы внутренней связности и трения грунта		Коэффициенты внутренней связности и трения грунта $tg^{1,1} \theta_i$	Суммарные значения коэффициентов $\Sigma tg^{1,1} \theta_i$	Средние значения суммарных коэффициентов $tg^{1,1} \theta_i$
	$\theta_i$	$\theta_i$ , град.			
1	2	3	4	5	6
1	$\theta_1$	24,0	0,517	0,517	0,258
2	$\theta_2$	34,5	0,833	1,350	0,934
3	$\theta_3$	45,0	1,00	2,350	1,850
4	$\theta_4$	55,5	1,511	3,867	3,108
5	$\theta_5$	66,0	2,435	6,296	5,082
* Состояние предельного равновесия					

Таблица 2

## Попредельно равновесные напряжения

№ СРР *	Пластически-фрикционные, кПа					
	объемные		сдвиговые		суммарные	
	$\Delta \sigma_i^\gamma$	$\sigma_i^\gamma$	$\Delta \sigma_i^c$	$\sigma_i^c$	$\Delta \sigma_i^{\gamma,c}$	$\sigma_i^{\gamma,c}$
1	10,51	10,51	8,87	8,87	19,38	19,38
2	16,93	27,41	14,30	23,17	31,23	50,61
3	20,33	47,77	17,16	40,33	37,49	88,10
4	30,70	78,47	25,93	66,26	56,63	144,73
5	49,50	127,97	41,79	108,05	91,29	236,02
* Состояние предельного равновесия						

Расчетная предельная несущая способность грунта основания уплотненного ядра в виде пирамидального тангенсоида

$$F_d = \tau_5 A_{\sigma.n.}, \quad (7)$$

где  $\tau_5$  – предельное касательное напряжение, кПа;  $A_{\sigma.n.}$  – площадь боковой поверхности пирамидального тангенсоида, м<sup>2</sup>.

Исходя из условия

$$F_d = N, \quad (8)$$

сделан вывод о том, что равномерно распределенное давление фундамента на грунт от внешней нагрузки уравнивается контактным реактивным давлением грунта на его подошву, изменяющемуся по седлообразному виду экспериментальной эпюры. Данный вывод подтвержден следующим методологическим расчетом.

По данным в табл. 1 рассчитываются средние значения коэффициентов внутренней связности и трения грунта  $\overline{tg}^n \theta_i$  при  $n = 1,1$ :

$$\overline{tg}^{1,1} \theta_{0-1} = 0,5(tg^{1,1} \theta_0 + tg_{1,1} \theta_1) / 2; \quad (9)$$

.....

$$\overline{tg}^{1,1} \theta_{4-5} = 0,5(tg^{1,1} \theta_4 + tg_{1,1} \theta_5) / 2. \quad (13)$$

Таблица 3

Ординаты напряжений седлообразной эпюры

№ СПР *	Площади элементарных площадок подошвы		Произведение значений площади и коэффициента $S_i, \text{м}^2$	Ординаты напряжений эпюры $\sigma_i, \text{МПа}$
	$A_i$	$A_i, \text{м}^2$		
1	$A_{0-1}$	0,0098	0,0025	0,080
2	$A_{1-2}$	0,0512	0,0478	0,205
3	$A_{2-3}$	0,1534	0,2837	0,360
4	$A_{3-4}$	0,1590	0,4991	0,591
5	$A_{4-5}$	0,1267	0,6438	0,963

\* Состояние предельного равновесия

Определяются приведенные в табл. 3, значения элементарных площадок подошвы штампа по зонам контактных давлений  $A_i$ :

$$A_{0-1} = A_0, \quad (14)$$

$$A_{1-2} = A_1 - A_0, \quad (15)$$

$$\dots\dots\dots \dots\dots\dots$$

$$A_{4-5} = A - A_3. \quad (18)$$

Произведение значения элементарных площадок подошвы штампа по зонам контактного давления на средние значения коэффициентов внутренней связности и трения грунта  $S_i$ , (табл. 3):

$$S_1 = A_{0-1} \overline{tg}^{-1,1} \theta_{0-1}; \quad (19)$$

.....

$$S_5 = A_{4-5} \overline{tg}^{-1,1} \theta_{4-5}. \quad (23)$$

Суммарное значение произведений:

$$\Sigma S_i = S_1 + \dots + S_5. \quad (24)$$

Распределение контактных реактивных давлений грунта по элементарным площадкам подошвы штампа

$$F_d = \tau_5 A_{\sigma,n}; \quad (25)$$

Средние значения контактных реактивных давлений грунта по этим площадкам подошвы штампа

$$\Sigma S_i = S_1 + \dots + S_5. \quad (26)$$

Значения расчетных ординат контактных реактивных давлений грунта на границах этих площадок подошвы штампа  $\sigma_i$ , (табл. 3):

$$\sigma_5 = \overline{\sigma}_5 \Sigma tg^{1,1} \theta_{1-5} / \overline{tg}^{-1,1} \theta_{4-5}; \quad (27)$$

$$\sigma_4 = \overline{\sigma}_5 \Sigma tg^{1,1} \overline{\omega}_{1-4} / \overline{tg}^{-1,1} \theta_{4-5}; \quad (28)$$

$$\sigma_3 = \sigma_4 - 2(\sigma_4 - \overline{\sigma}_4); \quad (29)$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 - 2(\sigma_3 - \overline{\sigma}_3); \quad (30)$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 - 2(\sigma_2 - \overline{\sigma}_2). \quad (31)$$

Расчетная седлообразная эпюра распределения контактных реактивных напряжений грунта по подошве фундамента графически изображается на рис. 1, б. Суммарная эпюра ординат равномерно распределенных контактных давлений подошвы фундамента от внешних нагрузок  $P$  и ординат неравномерно распределенных контактных реактивных напряжений грунта по подошве фундамента  $\sigma_i$  графически построена на рис. 2.

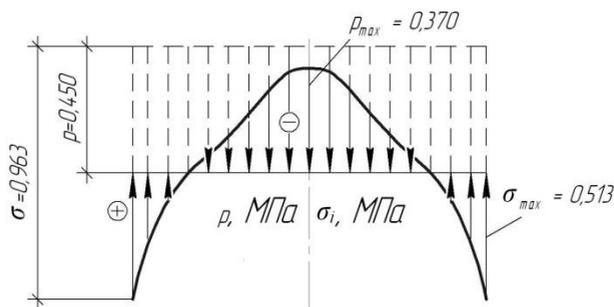


Рис. 2. Эпюры ординат неуравновешенных контактных давлений по подошве фундамента от влияния нагрузки  $P$  и контактных реактивных напряжений грунта  $\sigma_i$  под подошвой фундамента

В центральном ядре площади подошвы фундамента получают неравномерно-распределенные ординаты неуравновешенных контактных давлений по подошве от внешней нагрузки с наибольшим значением  $p_{max} = 0,370$  МПа, которые уравниваются контактными реактивными напряжениями грунта по контурным полосам площади подошвы, за пределами центрального ядра, с максимальным значением ординаты  $\sigma_{max} = 0,513$  МПа. Такой характер эпюр показывает, что на контурных свесах фундаментных плит концентрируются значительные нагрузки, которые необходимо правильно рассчитывать для объективной оценки их работы.

Таким образом, разработана методология расчета ординат седлообразных эпюр достоверных контактных реактивных давлений грунта на плоскую подошву фундамента, предназначенных для расчета экономичных и надежных фундаментных плит, рациональных конструкций.

По результатам экспериментально-теоретических исследований сделаны следующие **выводы**:

1. На основании опытных и расчетных исследований разработана методология определения ординат нелинейных эпюр контактных реактивных напряжений грунта под плоской подошвой жесткого фундамента с использованием положений законченной теории нелинейного упругого и пластического деформирования предельно напряженных дисперсных грунтов в основаниях фундаментов.

2. Методологический расчет, основанный на положениях указанной теории, обладает высокой степенью объективности, сравнимой с экспериментальной.

3. Впервые получена возможность рассчитывать прочность плоских жестких фундаментных плит по фактическому контактному реактивному напряжению грунтов под их подошвой; проектировать экономичные, надежные фундаменты рациональных конструкций.

## **Литература**

1. Борозенец, Л.М. Модель теории нелинейного упругого и пластического деформирования дисперсных грунтов в основаниях фундаментов : материалы Всероссийской науч.-техн. конф. «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении» / Л.М. Борозенец. – Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2012. – С. 102–109.

2. Будыльская, Е.А. Исследование влияния уплотненного ядра на распределение контактного давления грунта по подошве нагружаемого фундамента / Е.А. Будыльская // Студенческие дни науки. – Тольятти : ТГУ, 2012. – С. 39–41.

3. Клейн, Г.К. Основания и фундаменты / Г.К. Клейн, Н.М. Дорошкевич, П.П. Смиринкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1967. – 264 с. : ил.

4. Тетиор, А.Н. Проектирование и сооружение экономичных фундаментов / А.Н. Тетиор – Киев : Будівельник, 1975. – 203 с. : ил.