

УДК 624.15

Л. А. Бартоломей, А. А. Тарасенко, Я. А. Пронозин, Р. В. Мельников**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ-ОБОЛОЧЕК С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ НАГРУЖЕНИИ**

Рассматриваются вопросы численного моделирования осесимметричных фундаментов-оболочек на грунтовом основании при внецентренном нагружении. Представлено сопоставление с работой плоского круглого и кольцевого фундаментов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фундамент-оболочка, осадка, модуль деформации, Plaxis, эксцентриситет, кольцевой фундамент.

Issues of numerical simulation of axisymmetrical shell foundation on ground base under eccentric load are considered. Comparison with performance of plane round foundation and ring one is presented.

К е у w o r d s: shell-foundation, settlement, modulus of deformation, Plaxis, eccentricity, ring foundation.

В основном для сооружений башенного типа (дымовые трубы, водонапорные, силосные башни, и т. д.) и круглых в плане зданий и сооружений применяют фундаменты мелкого заложения в виде сплошной монолитной плиты либо кольцевые фундаменты, а также данные фундаменты совместно со сваями. Возможной альтернативой фундамента для данных сооружений является осесимметричный фундамент-оболочка. Такой фундамент обеспечивает полное вовлечение массива грунта под всей площадью сооружения (как плитный) и при этом имеет существенно меньшую материалоемкость и стоимость.

Использование различных форм и конструкций фундаментов-оболочек в качестве альтернативы традиционным видам фундаментов для сооружений башенного типа оправдало свое применение как экономичное и надежное решение [1, 2, 3].

Для расчета осесимметричного фундамента-оболочки, являющегося пологим, выпуклым вверх, равномерно и периметрально загруженным, в работе [4] было предложено дифференциальное уравнение (1). В основу уравнения положена техническая теория В. З. Власова [5], где оболочка является сферической, при этом основание моделируется одним коэффициентом постели (модель Винклера), растягивающие напряжения воспринимаются только армирующим элементом:

$$D\nabla^2\nabla^2w + kw = \frac{N_r}{R}, \quad (1)$$

где D — цилиндрическая жесткость оболочки; w — нормальное перемещение оболочки; k — коэффициент постели; ∇^2 — дифференциальный оператор второго порядка; R — радиус оболочки; N_r — радиальное усилие в оболочке.

Однако при расчете фундаментов сооружений башенного типа необходимо учитывать момент, передаваемый сооружением на фундамент от ветрового давления. Таким образом, необходимо рассчитывать фундамент на внецентренное действие нагрузки.

При учете внецентренного неравномерного периметрального нагружения уравнение (1) будет значительно усложнено, а его решение будет слишком громоздким. Поэтому для решения задачи о работе осесимметричного фундамента-оболочки на грунтовом основании в случае внецентренного нагружения и сравнения его с аналогичной работой плоского площадного и кольцевого фундаментов было применено численное моделирование методом конечных элементов с использованием программы Plaxis 3D 2011.

Для расчета выбрано осесимметричное башенное сооружение II уровня ответственности. На фундамент передается нагрузка от сооружения 15 МН и момент 34,5 МН·м. Эксцентриситет нагрузки составляет $e = M/N = 34,5 \text{ МН} \cdot \text{м} / 15 \text{ МН} = 2,3 \text{ м}$.

В соответствии с п. 5.6.26 [6] давление на грунт, равно как и само взаимодействие фундамента с основанием, должно определяться с учетом жесткости надфундаментных конструкций. В целях обеспечения данного условия в расчетную модель введен элемент, имитирующий жесткость надфундаментной конструкции и внецентренно загружающий фундамент.

В качестве фундамента под сооружение рассмотрено три варианта:

1. Плоский круглый в плане фундамент (рис. 1, а).
2. Кольцевой фундамент (рис. 1, б), обеспечивающий условие $P_{\max} \leq 1,5R$ (п. 5.6.26 [6]), с трапецевидной формой эпюры давлений и соотношением краевых давлений $P_{\min}/P_{\max} \geq 0,25$ (п. 5.6.27 [6]).

3. Фундамент-оболочка (рис. 1, в).

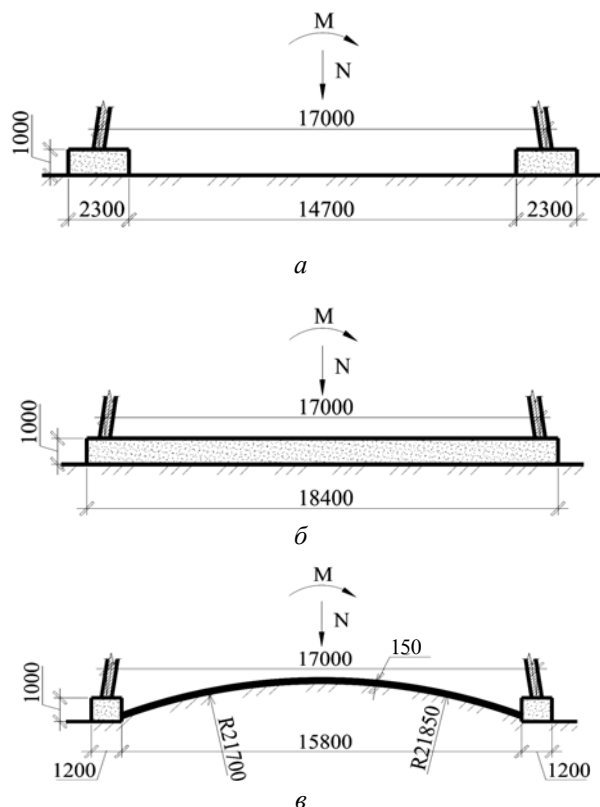


Рис. 1. Разрезы исследуемых фундаментов

Значения физико-механических характеристик грунтов представлены в табл. 1. Уровень грунтовых вод находится на глубине 3,0 м.

Таблица 1

Значения физико-механических характеристик грунтов

Вид грунта	Суглинок	Суглинок	Супесь	Песок	Суглинок
Глубина, м	0...10	10...20	20...30	30...40	40...50
$W, \%$	27	30	22	17	20
$I_p, \%$	12	12	5	—	9
$I_1, \text{д. ед.}$	0,75	0,92	1	—	0,07
$\gamma, \text{кН/м}^3$	18,8	19,0	20,5	21,1	18,2
$\gamma_s, \text{кН/м}^3$	26,9	27,0	26,7	26,5	26,8
$e, \text{д. ед.}$	0,82	0,85	0,59	0,47	0,76
$S_r, \text{д. ед.}$	0,89	0,96	1,0	0,96	0,7
$\varphi, \text{град.}$	16	9	18	36	23
$c, \text{кПа}$	16	9	10	5	24
$E, \text{МПа}$	8,3	5	7,5	46	18

В результате проведенного расчета получены изополя вертикальных деформаций основания, их сечения плоскостью, проходящей через точку приложения нагрузки, представлены на рис. 2, 3. Установлено, что область массива грунта, вовлеченная в работу фундаментом-оболочкой, меньше, чем для плоского круглого штампа, и близка к аналогичной области для кольцевого фундамента. Изополя вертикальных перемещений под фундаментом-оболочкой не имеют локальных участков, как для кольцевого фундамента, а имеет место распределение и выравнивание перемещений оболочечной частью.

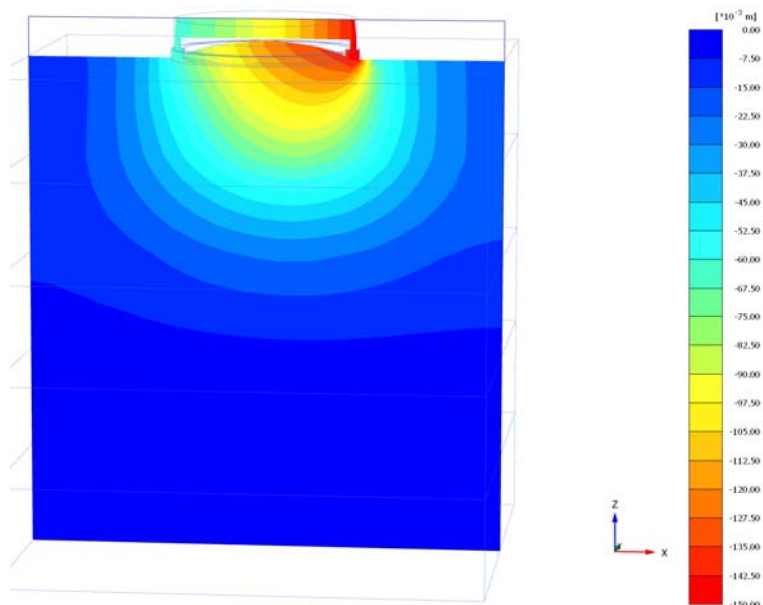


Рис. 2. Изополя вертикальных деформаций по центру фундамента-оболочки

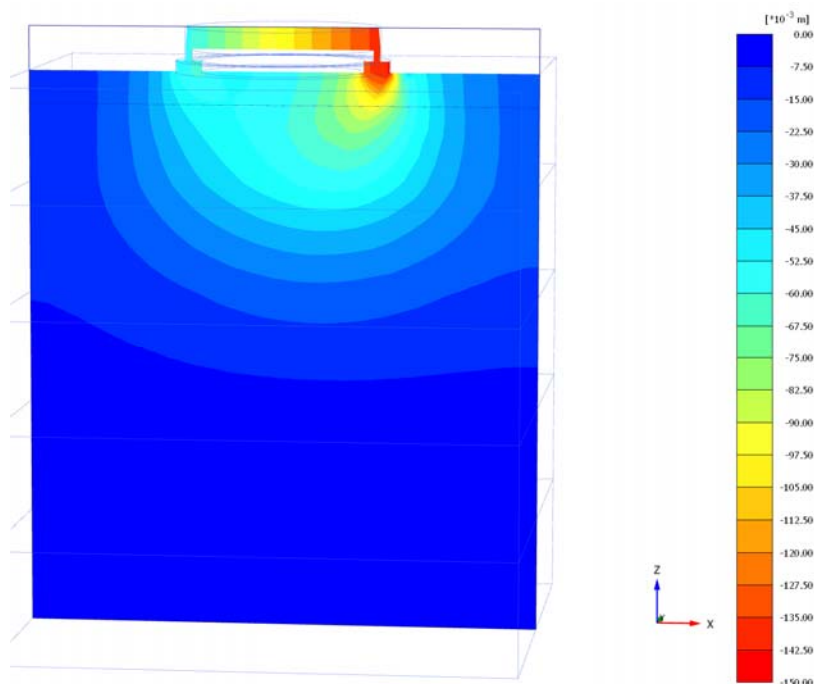


Рис. 3. Изополя вертикальных деформаций по центру кольцевого фундамента

Значения осадок, полученных в результате расчета, сведены в табл. 2. Максимальная осадка для рассматриваемых фундаментов составила 143 мм, что не превышает предельной осадки для данного вида сооружений. Максимальное значение относительной разности осадок составило 0,0049 мм, однако для сооружений данного вида это не регламентируется (прил. Д, табл. Д.1, поз. 5 [6]). Крен фундамента не зависит от его конструкции и определяется по формуле 5.24 [6]. Максимальное значение составило 0,0036, что не превышает предельного значения крена 0,005 для зданий высотой до 100 м (прил. Д, табл. Д.1, поз. 5 [6]).

Таблица 2

Значения осадок

Вид фундамента	$s^{\max}$, мм	$s^{\min}$, мм	Δs , мм	$\Delta s/L$	i
Плоский круглый	137	56	81	0,0045	0,0035
Кольцевой	142	54	88	0,0049	0,003
Фундамент-оболочка	143	60	83	0,0046	0,0036

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Численное моделирование работы осесимметричного внецентренно нагруженного фундамента-оболочки на грунтовом основании позволяет сделать вывод о применимости фундамента-оболочки, т. к. его осадки и крен практически идентичны аналогичным параметрам для плитных и кольцевых фундаментов.

2. Материалоемкость фундамента-оболочки составляет 36 % от плоского круглого фундамента и 79 % от кольцевого фундамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kurian N. P.* Modern foundations: introduction to advanced techniques // Tata McGraw-Hill Co., New Delhi, India, 1982.
2. *Ciesielski R.* Shell foundations for tower-shaped structures // Proc. Symp. Tower Shaped Steel Reinforced Concrete Structures. Bratislava, Czechoslovakia, 1966. P. 337—346.
3. *He Chongzhang.* Hollow conic shell foundation and calculation // Proc. 5th Engrg. Mech. Div., Specialty Conf. in Engrg. Mech. in Civil Engrg., ASCE, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA. 1984. P. 535—538.
4. *Мельников Р. В.* Взаимодействие осесимметричных фундаментов-оболочек с неметаллическим армированием с основанием сложенным пылевато-глинистыми грунтами : автореф. дисс... канд. техн. наук / ТюмГАСУ. Тюмень, 2011. 21 с.
5. *Власов В. З., Леонтьев Н. Н.* Балки, плиты и оболочки на упругом основании М. : Физматгиз, 1960. 490 с.
6. СНиП 2.02.01—83*. Основания зданий и сооружений. М. : Госстрой, 1983.
1. *Kurian N. P.* Modern foundations: introduction to advanced techniques // Tata McGraw-Hill Co., New Delhi, India, 1982.
2. *Ciesielski R.* Shell foundations for tower-shaped structures // Proc. Symp. Tower Shaped Steel Reinforced Concrete Structures. Bratislava, Czechoslovakia, 1966. P. 337—346.
3. *He Chongzhang.* Hollow conic shell foundation and calculation // Proc. 5th Engrg. Mech. Div., Specialty Conf. in Engrg. Mech. in Civil Engrg., ASCE, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA. 1984. P. 535—538.
4. *Mel'nikov R. V.* Vzaimodeystvie osesimmetrichnykh fundamentov-obolochek s nemetallicheskim armirovaniem s osnovaniem slozhennym pylevato-glinistymi gruntami : avtoref. diss... kand. tekhn. nauk / TyumGASU. Tyumen', 2011. 21 s.
5. *Vlasov V. Z., Leont'ev N. N.* Balki, plity i obolochki na uprugom osnovanii M. : Fizmatgiz, 1960. 490 s.
6. SNiP 2.02.01—83*. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. M. : Gosstroy, 1983.

© Бартоломей Л. А., Тарасенко А. А., Пронозин Я. А., Мельников Р. В., 2012

Поступила в редакцию
в июне 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Взаимодействие осесимметричных фундаментов-оболочек с грунтовым основанием при внецентренном нагружении / Л. А. Бартоломей, А. А. Тарасенко, Я. А. Пронозин, Р. В. Мельников // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).