

КРУГЛЫЕ И КОЛЬЦЕВЫЕ ФУНДАМЕНТЫ ПОД СООРУЖЕНИЯ БАШЕННОГО ТИПА

Кушак С.И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса).

Наводяться основні результати досліджень круглого та кільцевих штампів, кільцевого фундаменту димової труби. Надано рекомендації щодо застосування кільцевих фундаментів в умовах Пересипи м. Одеси під споруди баштового типу.

За последние десятилетия идет интенсивная застройка района Пересыпи под резервуары нефтепродуктов и силосы зерновых элеваторов, дымовых труб. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия исследуемого участка согласно [1] характеризуются следующим напластованием: насыпной слой, мощностью 0,5 – 2,0 м.; инженерно-геологические элементы (ИГЭ): 4а – песок мелкий, глинистый с обломками ракушечника, мощностью – 5,2 м.; 4 – песок пылеватый сильно глинистый, слюдястый с тертой ракушкой, мощностью – 3,7 м.; 5 – супесь слаболистая с прослойками песка и запахом сероводорода, мощностью – 3,2 м.; общая мощность ИГЭ-4а, 4, 5 – 11 – 12 м. модуль деформации 7,0 – 15,0 МПа, с 11,0 м. до 20,0 м. залегает ил супесчаный и суглинистый с прослойками песка, модуль деформации 2,5 – 5,0 МПа; $\rho_d = 1,5 - 1,35 \text{ г/см}^3$, с 20,0 м. до 40,0 м. залегает глина заиленная и супесь пластичная с примесью гальки и ракушки с модулем деформации $E = 5 - 7 \text{ МПа}$; $\rho_d = 1,43 - 1,21 \text{ г/см}^3$, с 40 метров залегает глина меотическая темно-серая, твердая с модулем деформации $I_L < 0$, $\rho_d = 1,44 \text{ г/см}^3$, $E = 15 \text{ МПа}$. Уровень подземных вод гидравлически связан с уровнем воды в Черном море, с возможным колебанием $\pm 0,5 \text{ м}$.

Анализ физико-механических показателей грунтов, характерного инженерно-геологического разреза района Пересыпи показывает, что грунты основания:

- до глубины 10 – 12 м. мало- и среднесжимаемые;
- с 11 м. до 40 м. сильно- и среднесжимаемые;
- с глубины 40 м. – малосжимаемые.

В приведенных выше инженерно-геологических условиях в качестве оснований фундаментов можно использовать грунты до глубины 11 – 12 м. и начиная с глубины 35 – 40 м. от поверхности рельефа.

В качестве примера рассмотрим устройство фундамента под дымовую трубу $h = 120 \text{ м}$. (котельной) ТЭЦ-2. Согласно проекта фундамент дымовой трубы принят на буронабивных сваях $\varnothing 600 \text{ мм}$., длиной 19,0 м., с допускаемой нагрузкой на сваю – 1500 кН. По результатам статических испытаний при нагрузке 600 кН свая «сорвалась» т.е. без увеличения нагрузок осадка (перемещение) непрерывно увеличивалась, что не обеспечило ее несущую способность.

Используя имеющийся опыт (ОИСИ) ОГАСА предложен (в данных грунтовых условиях) под дымовую трубу фундамент на естественном основании в виде кольца наружным диаметром $d_H = 20 \text{ м}$., внутренним диаметром $d_B = 8,0 \text{ м}$., шириной кольца $b_\phi = 6,0 \text{ м}$., соотношением внутреннего радиуса к наружному

$$n = \frac{R_1}{R_2} = \frac{4}{10} = 0,4.$$

Результаты исследований за деформациями оснований фундаментов (на протяжении более 20 лет эксплуатации дымовой трубы) показали следующее:

- расчетная осадка по методике [3] составила 14,1 см., по методу слоя конечной толщины [5] – 6,1 см.;
- средняя замеренная осадка дымовой трубы составила – 16,4 см.;
- минимальная замеренная осадка составила – 15,4 см.;
- максимальная замеренная осадка составила – 17,4 см.; что меньше предельно-допустимой величины по ДБН [3] – 30,0 см.;
- отклонение от вертикали 51 см. (за счет трещины на высоте 47,5 м.);
- крен дымовой трубы за счет разности осадок составил – 31 см. и $i = 21/12000 = 0,0018$, что меньше

предельно-допустимой величины $i_{\text{п}} = \frac{1}{2 \cdot 120} = 0,0042$ (предельное отклонение от вертикали 50,4 см. согласно [3]);

– крен дымовой трубы за счет разности осадок и искривления ствола дымовой трубы (на высоте 47,5 м. образовалась трещина из-за перерыва бетонирования) – $i = 51/12000 = 0,00425$, что практически равно предельно-допустимой величине – 0,0042 согласно [3], при максимальном отклонении верха трубы 51,0 см.

Характерный инженерно-геологический разрез по площадке расположения дымовой трубы, геометрические параметры фундамента, результаты послойных перемещений грунтов основания и осадок (средней, максимальной и минимальной) с 1978 г. по 2000 г. представлены на рис. 1 а, б, в, г, д.

Анализ материалов по дымовой трубе показывает, что проектное решение кольцевого фундамента в инженерно-геологических условиях Пересыпи обеспечивает безопасную эксплуатацию объекта котельной в целом.

Следует обратить внимание, что деформации в основании кольцевого фундамента при давлении по подошве фундамента до 90 – 100 кПа развиваются под лентой кольца, без взаимного влияния, при последующем повышении давления в основании фундамента (с глубины 4,0 – 5,0 м. от подошвы) образовалась общая зона деформации, как под круглым фундаментом.

Из работы [2] следует, что при использовании в качестве основания модель линейно-деформируемого

полупространства осадки круглого ($n = 0$) и кольцевых $\left(0 \leq n \leq 0,6, \text{ где } n = \frac{R_1}{R_2} \right)$ фундаментам, при одинаковой общей нагрузке ($P = const$) и прочих равных условиях получаются одного порядка.

Осадка кольцевого фундамента определяется по формуле (8) работы [2]

$$w_n = S' = \frac{P (1 - \nu^2)}{E \cdot R_2} w(n)$$

где P – внешняя осесимметричная на кольцевой фундамент, кН;

E и ν – средние значения модуля деформации (МПа) и коэффициента Пуассона грунтов основания;

R_2 – наружный радиус кольцевого фундамента;

$n = R_1/R_2$, R_1 – внутренний радиус кольцевого фундамента.

Значения коэффициента перемещения (осадки) кольцевого фундамента $w(n)$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

n	0	0,2	0,4	0,6	0,7*	0,8	0,9	0,95
$w(n)$	0,5	0,50	0,51	0,52	0,54*	0,57	0,60	0,65

Такое же положение имеет место при действии пары сил с моментом $M = p \cdot e$, где e – эксцентриситет.

Крен кольцевого фундамента (φ) при $0 \leq n \leq 0,6$ рекомендуется определять по формуле (9) работы [2]

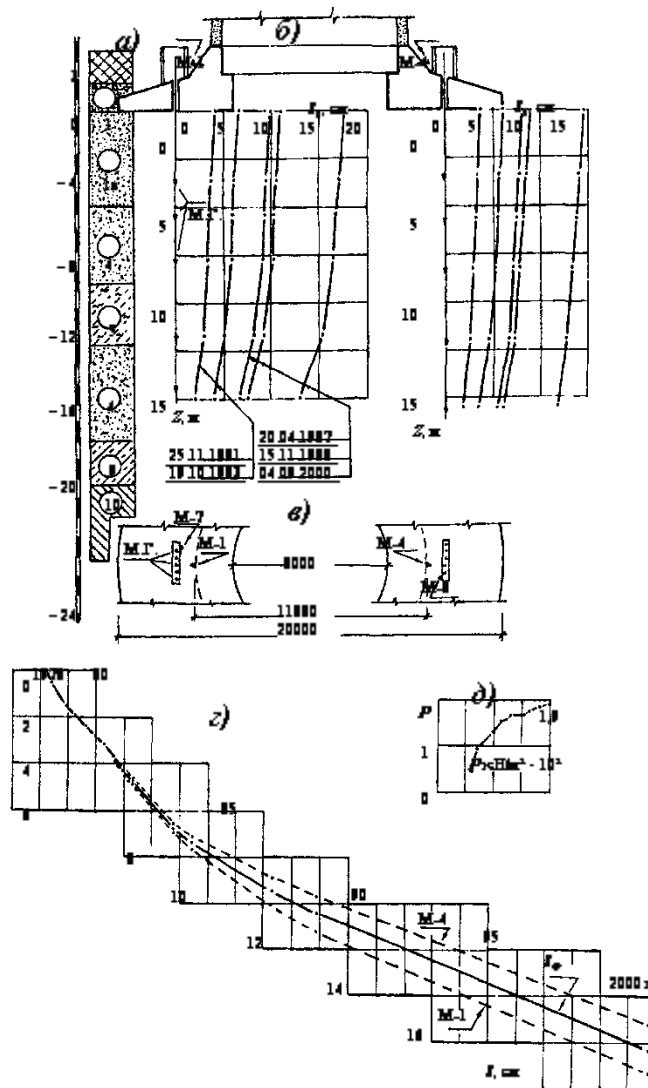


Рис. 1. Схема расположения глубинных марок и эпюры послойных перемещений; а) геологическое строение основания; б) поперечное сечение фундамента. Схема расположения глубинных марок. Эпюры послойных перемещений; в) фрагмент плана фундамента со схемой размещения глубинных (М.Г.) и ственных (М) марок; г) график нарастания осадок фундамента: средней, минимальной и максимальной во времени; д) график роста давлений в период строительства.

$$\varphi = \frac{3(1-\nu^2)M}{4 \cdot E R_2^3}$$

Согласно исследований [4, 5] рекомендуется определять осадки для кольцевых фундаментов с использованием модели полупространства на слое конечной толщины от действия по его верхней поверхности равномерно распределенной по его площади нагрузки P по формуле (6)

$$S_{\kappa} = \frac{2 R_2^2 p (1-\nu^2)}{E} K'_{\text{сп}(m, n)}$$

где R_2, p, n, E, ν те же, что и в формуле (8) работы [2]

$$K'_{\text{сп}(m, n)} = \frac{2 K_{\text{сп}(m, n)}}{\pi (1-n^2)}$$

Значения $K_{\text{сп}(m, n)}$ приведены в таблице 1 и $K'_{\text{сп}(m, n)}$ в таблице 2 работы [5].

Следует отметить, что решение по методу упругого полупространства на слое конечной толщины [5], как и в [2] при одной и той же нагрузке P осадка основания круглого и кольцевых фундаментов остается почти неизменной при соотношении радиусов $0 \leq n \leq 0,6$.

В работе [5] указано, что это важное положение моделей линейно-деформируемого полупространства [2] и линейно-деформируемого полупространства на слое конечной толщины [5] требует экспериментальной проверки.

С целью обоснования теоретических решений работ [4, 5] в лессовых грунтах (см. табл. 2) выполнены исследования [6] совместной работы круглого и кольцевых опытных фундаментов (штампов), одинаковой

площади подошвы $A = 10000 \div 10010 \text{ см}^2$, при давлениях по подошве: **круглого** при давлениях 126; 166; 206; 266 кПа, со стабилизированной последней ступени 15,6 см.; **кольцевого** с $R_1/R_2 = 0,4$ при давлениях – 145; 165; 266; 303 кПа, со стабилизированной осадкой при давлении 266 кПа – 8,80 см.; **кольцевого** с $R_1/R_2 = 0,55$ при давлениях – 126; 166; 206; 266; 303 кПа, со стабилизированной осадкой при давлении 266 кПа – 4,40 см.; **кольцевого** с $R_1/R_2 = 0,66$ при давлениях – 126; 166; 206; 266; 303 кПа, со стабилизированной осадкой при давлении 266 кПа – 4,21 см.

В табл. 2 приведены показатели грунтов основания опытных фундаментов, в табл. 3 приведены геометрические параметры фундаментов. На рисунке 2 приведены результаты исследований круглого и кольцевых фундаментов (штампов). Из приведенных результатов полевых исследований деформаций оснований круглого и кольцевых фундаментов при одной и той же нагрузке равномерно-распределенной по одной и той же площади подошвы следует:

– в лессовых водонасыщенных грунтах линейная зависимость осадки S от давления (P) имеет место в основании фундаментов при давлении по подошве фундаментов (штампов):

– с $n = 0,0 - 0,4 - P = 126 \text{ кПа}$;

– $n = 0,55 - 0,66 - P = 166 \text{ кПа}$;

– при больших от указанных выше давлениях имеется нелинейная зависимость осадки от давления.

Таблица 2

Наименование показателей свойств грунтов	№ слоя			
	I	II	III	IV
Плотность частиц грунта, г/см^3	2,68	2,67	2,68	2,68
Плотность грунта, г/см^3	1,75	1,64	1,76	1,69
Плотность сухого грунта, г/см^3	1,51	1,34	1,49	1,45
Коэффициент пористости	0,78	0,92	0,80	0,85
Модуль деформации грунта, МПа				
а) природной влажности	10,0 4,8	7,9	8,9	7,0
б) водонасыщенного	23	4,3	5,4	3,7
Угол внутреннего трения, град	0,017	22	22	18
Удельное сцепление, МПа		0,027	0,027	0,026

Таблица 3

№ опытного фундамента	Радиус, м		Площадь, м^2		Коэффициенты	
	внутренний R_1	внешний R_2	подошвы кольца F_k	общая F_0	F_k/F_0	R_1/R_2
1	0	0,565	1,0	1,0	1,0	0
2	0,25	0,62	1,01	1,21	0,83	0,40
3	0,375	0,68	1,01	1,45	0,70	0,55
4	0,50	0,755	1,0	1,79	0,56	0,66

Анализ результатов исследований круглого и кольцевых фундаментов (штампов) в лессовых водонасыщенных грунтах [6] показывает, что:

– существующие методы определения осадок предложенные в работах [2, 4, 5] ограниченно применимы (при давлениях по подошве не более 170 кПа); и неприменимы при давлениях больше 170 кПа в лессовых водонасыщенных сильносжимаемых грунтах;

– при равной осадке на кольцевые фундаменты с $0,4 \leq n \leq 0,66$ можно увеличить давление по подошве на 30 – 40%;

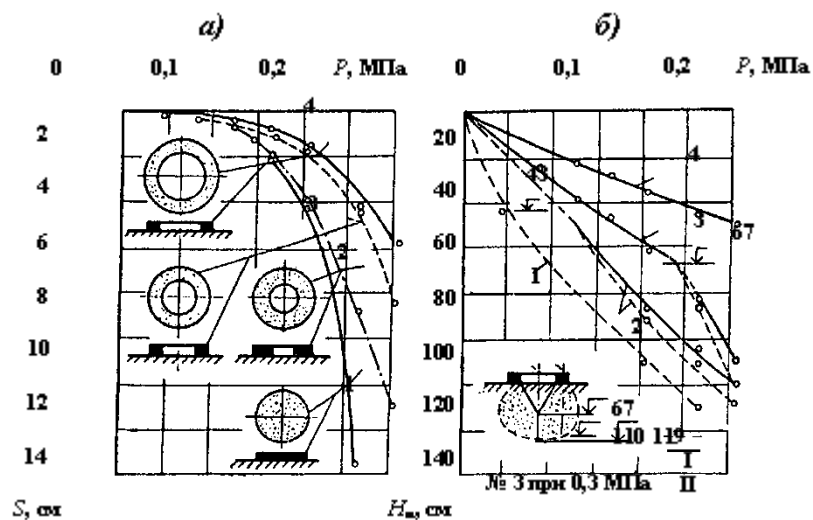


Рис. 2. Графики зависимости осадки (а) и глубины зоны деформации (б) от среднего значения расчетного давления по подошве фундаментов: 1...4 – номера опытов; глубина зоны деформации I – по центральной оси; II – по оси кольца.

– при одинаковой нагрузке и площадях подошвы, глубина зоны деформации в кольцевых фундаментах в 1,5 – 3 раза меньше чем у круглого фундамента.

Выводы

1. В грунтовых условиях района Пересыпи г. Одессы для сооружений башенного типа эффективными и экономичными являются фундаменты в виде кольца с соотношением $0,4 < R_1/R_2 < 0,66$.
2. Давление по подошве кольцевых фундаментов не должно превышать 300 кПа.
3. Расчет оснований по деформациям оснований кольцевых фундаментов выполнять с использованием модели упругого полупространства на слое конечной толщины [5] или упругого полупространства [2, 3] используя при этом откорректированный компрессионный модуль деформации, или по результатам полевых испытаний грунтов опытными фундаментами (штампами) площадью не менее 10000 см².

Summary

Basic results over of researches of round and circular stamps are brought, circular foundation of flue. Dany of recommendation on application of circular foundations in the conditions of Peresypl Odessa under buildings of a tower type.

Литература

1. Тугаенко Ю.Ф., Кушак С.И. Исследования деформаций основания кольцевого фундамента дымовой трубы. // Основания и фундаменты. – К.: Будівельник, 1984. – вып. 17. – С. 84 – 87.
2. Егоров К.Е. К вопросу расчета оснований под фундаментом с подошвой кольцевой формы. // Механика грунтов. – М.: Сборник трудов НИИ ОСП – № 34, Госстройиздат, 1958.
3. ДБН В.2.1-10-2009. Основи і фундаменти будівель та споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
4. Зиновьев А.В., Китайкина О.В. О деформации оснований под кольцевыми фундаментами сооружений башенного типа. // Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М.: Труды института (НИИ ОСП) – № 72. Стройиздат, 1980 – С. 79 – 95.
5. Зиновьев А.В. Определение деформации основания конечной толщины под кольцевым фундаментом. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М.: 1979. – № 3. – С. 23 – 25.
6. Тугаенко Ю.Ф., Кушак С.И. Деформации оснований кольцевых фундаментов. // Основания и фундаменты и механика грунтов. – М.: 1985. – № 4 – С. 22 – 23.