

**ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ
ВОЗВЕДЕНИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ БАШЕН И ДЫМОВЫХ ТРУБ**

**ЗАСТОСУВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПРИ ЗВЕДЕННІ
ТЕЛЕВІЗІЙНИХ БАШТ ТА ДИМОВИХ ТРУБ**

**APPLICATION OF CIRCULAR FOUNDATIONS FOR TELEVISION
TOWERS AND SMOKE PIPES**

**Плахотный Г.Н., к.т.н., доц., Чернева Е.С., к.т.н., доц.,
Кушак С.И., с.н.с. (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, Одесса), Andrzej Wojnar, к.т.н.
(Жешувский технологический университет, Жешув, Польша)**

**Плахотний Г.Н., к.т.н., доц., Чернева О.С., к.т.н., доц., Кушак С.І.,
с.н.с. (Одеська державна академія будівництва та архітектури,
Одеса), Andrzej Wojnar, к.т.н. (Жешувський технологічний
університет, Жешув, Польща)**

**Plahotny G.N., PhD, Associate Professor, Chernieva O.S., PhD,
Associate Professor, Kushak S.I., Senior Researcher (The Odesa State
Academy of Civil Engineering and Architecture), Andrzej Wojnar, PhD
(Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland)**

***Аннотация.** Приведены результаты наблюдения за осадками фундаментов телебашен и дымовых труб. Доказана эффективность использования кольцевого фундамента в сравнении с круглым со сплошной фундаментной плитой.*

***Анотація.** Наведені результати спостережень за осадками фундаментів телевеж та димових труб. Ефективне застосування кільцевих фундаментів при зведенні споруд баштового типу в складних інженерно-геологічних умовах вказало на проблему вивчення спільної роботи цих конструкцій з ґрунтами основ. Спробу вирішення цієї проблеми виконали автори цієї статті, використовуючи результати натурних, проектних, розрахункових практичних досліджень.*

***Summary.** The results of observations of the deposits of TV tower and chimney foundations are presented. The effective use of annular foundations in the erection of tower-type structures in complex engineering-geological conditions indicated the problem of studying the joint work of these structures with soil soils. An attempt to solve this problem was made by the authors of this article, using the results of full-scale, design, calculated practical studies. Purpose: to study the peculiarities of development of soil deformations of the foundations of annular and annular pile foundations during the construction and operation of tower type structures.*

Objectives: 1. Determination of the size and shape of annular foundations on the character of the development of deformations of the soil of the bases by means of an experiment.

2. To experimentally detect the development of sediments and the depth of the deformation zone in the bases of annular foundations during the construction and operation of tower-type structures.

3. To confirm the possibility of construction and operation of structures on annular foundations on multilayered ground foundations in the presence of layers of weak water-saturated soils.

The effect of pressure from the external load on the sole of the foundations and their area is determined by the depth of the compressed soil thickness. It has been experimentally proved that with increasing of the area of the foundations the depth of the deformation zone increases in the bases composed of multilayered soils, which are underlain by water-saturated peat or high-porous silt loam. The influence of the settling value of the following parameters, which can be expressed by dependence, is established:

$$S = f(P_{cp}, H_a, E_a, \nu)$$

The value of the cross-ratio is influenced by the area of the foundation. Its maximum value is observed in foundations with small width. As the area of the foundation increases, the value of ν decreases, and for the base plates of the large area approaches zero. When comparing the joint work with the base of the circular foundations with circular equal area, it is experimentally determined that the coefficient of lateral expansion, which depends on the depth of the compressed deformation zone, at the same pressure in the circular foundations is greater than in the annular ones.

Ключевые слова: кольцевой фундамент, осадка, грунты, ростверк.

Ключові слова: кільцевий фундамент, осадка, ґрунти, ростверк.

Keywords: circular foundation, settlement, soil, grillage.

Постановка проблемы. Эффективное применение кольцевых фундаментов при возведении сооружений башенного типа в сложных инженерно-геологических условиях указало на проблему изучения совместной работы этих конструкций с грунтами оснований. Попытку решения этой проблемы выполнили авторы этой статьи, используя результаты натурных, проектных, расчетных практических исследований.

Анализ известных исследований. В настоящее время наблюдением за осадкой основания и исследованиями в области кольцевых фундаментов занимаются, в основном, в России и Белоруссии. Так, результаты наблюдений за осадками оснований Курской ТЭЦ-1, Брестской ТЭЦ и Пинской ТЭЦ представлены в работе Хасеневич Л.С. [1], методика расчета и результаты экспериментальных исследований освещены в работах Мангушева Р.А.[2] и Худякова А.В.[3].

Цель работы: исследование особенности развития деформаций грунтов оснований кольцевых и кольцевых свайных фундаментов при возведении и эксплуатации сооружений башенного типа.

Задачи: 1. Определение опытным путем влияния размеров и формы кольцевых фундаментов на характер развития деформаций грунтов оснований.

2. Экспериментально выявить развитие осадок и глубину зоны деформации в основаниях кольцевых фундаментов при возведении и эксплуатации сооружений башенного типа.

3. Подтвердить возможность возведения и эксплуатации сооружений на кольцевых фундаментах на многослойных грунтах оснований при наличии слоев слабых водонасыщенных грунтов.

При проектировании фундаментов, в 1951 году был разработан метод расчета оснований по деформациям. По мере накопления опытных данных возникло много факторов несоответствия, принятых в расчетных схемах и в способах полевых определений деформированных свойств грунтов. Влияние давления от внешней нагрузки на подошву фундаментов и их площадь определяют по величине глубины сжимаемой толщи грунта. Экспериментальным путем доказано [4], что с увеличением площади фундаментов увеличивается глубина зоны деформации в основаниях, сложенных многослойными грунтами, которые подстилаются водонасыщенными торфами или высокопористыми илистыми суглинками.

Установлено влияние на величину осадки следующих параметров, которое можно выразить зависимостью:

$$S=f(P_{cp}, H_a, E_a, \nu) \quad (1)$$

где S - величина осадки;

P_{cp} – среднее давление в пределах глубины зоны деформации

$$P_{cp}=0.5 \cdot (P-P_{sts}) \quad (2)$$

P – давление на подошве фундамента;

P_{sts} – значение структурной прочности на нижней границе зоны деформации;

H_a – глубина зоны деформации. Нижняя граница зоны деформации принимается на глубине, где сумма напряжений от всех видов нагрузок равна структурной прочности;

E_a – модуль уплотнения сжимаемости грунта;

ν – коэффициент поперечного расширения. Его среднее значение определяется по отношению части общей осадки, вызванной боковым расширением к двойному значению общей осадки [5].

На значение коэффициента поперечного расширения оказывает влияние площадь фундамента. Его максимальное значение наблюдается в фундаментах с небольшой шириной. С увеличением площади

фундаментов значение величины ν снижается, а для фундаментных плит большой площади приближается к нулю.

При сравнении совместной работы с основанием кольцевых фундаментов с круглыми одинаковой площади опытным путем определено, что коэффициент поперечного расширения, от которого зависит глубина сжимаемой зоны деформации, при одинаковом давлении в круглых фундаментах больше, чем в кольцевых [4].

Практика строительства сооружений башенного типа показывает на эффективность применения кольцевых фундаментов. В свое время, инженер В.Г. Шухов применял такие фундаменты при проектировании радиобашен, маяков и др.

Еще в 1958г. в Москве проводили конкурс проекта телевизионной башни. Проект, разработанный Н.В. Никитиным, предусматривал устройство телебашни $H=533\text{м}$ из предварительно-напряженного железобетона на кольцевом десятиграннике.

Инженерно-геологические условия площадки строительства представлены сложным напластованием грунтов. Верхний растительный слой мощностью до 2.0м, ниже которого залегают моренные плотные суглинки с галькой и валунами. Это отложения ледникового периода, образовавшиеся несколько тысяч лет тому назад и сильно уплотнены ледником, который в то время достигал километровой толщи. Под слоем моренных суглинков расположены более древние мелкие водонасыщенные пески, супеси, глины. Этот слой менее надежный и плотный. Прочные скальные грунты известняковых пород залегают на глубине около 40 м от дневной поверхности.

В разработанном проекте подошва кольцевого фундамента башни была заложена на небольшую глубину в моренных суглинках, сохранив под фундаментом большой слой плотного грунта, который в свою очередь распределяет давление от башни на нижележащие пески. Подошва предварительно-напряженного кольцевого фундамента заглублена всего на 3.5м от поверхности земли (или на 4.65м от пола первого этажа). Диаметр кольца составляет 95м, ширина кольца 8.0м. Полная площадь подошвы фундамента равна 1940м^2 . Среднее нормативное давление на грунт основания под подошвой фундамента составляет 2.74кг/см^2 (без учета ветровой нагрузки) и 3.40кг/см^2 с учетом изгибающих моментов и вертикальных нагрузок. Расчетная осадка кольцевого фундамента прогнозировалась до 94-102мм. Фактическая осадка телевизионной башни за семь лет эксплуатации составила 5.2см [6].

На Ярославском заводе дизельной аппаратуры были построены две дымовые трубы, высотой 80м. Свайный кольцевой фундамент трубы №1, с диаметром кольца 12.7м, шириной кольца 3.0м, высотой 2.7м., был установлен на 16 козловых самораскрывающихся сваях (длина сваи 2.4м). Основанием трубы служит сложное напластование грунтов,

представленое песками, мощностью 6.7м, ниже которых имеется слой заторфованного суглинка и торфа, мощностью 7.4м.

Осадка трубы №1 на свайном кольцевом фундаменте за 4 года эксплуатации составила 2.0см, а глубина зоны деформации составила 4.2м (замер выполняли с помощью глубинных марок, расположенных на глубинах 4.0м, 5.0м, 6.0м).

Дымовая труба №2 устроена на сложном круглом фундаменте, диаметром 15м. Осадка этой трубы за 4 года эксплуатации составила 4.4см.

Круглый фундамент, диаметром 15.0м, дымовой трубы Н=150м, на Новоярославском нефтеперегонном заводе был заменен на кольцевой диаметром 15.0м, шириной 3.0м и глубиной заложения – 5.0м до отметки первого этажа. Основанием подошвы кольцевого фундамента представлены суглинки тугопластичные, мощностью 6.0м, ниже которых расположен песок крупнозернистый, мощностью до 13.0м. Осадка дымовой трубы в течении двух лет эксплуатации составила 3.7м. Глубина зоны деформации в основании кольцевого фундамента составила 3.0м.

Осадки кольцевых фундаментов дымовых труб Н=250м на Стерлитамакской ТЭЦ за 4 года эксплуатации составили 4 см, а осадка кольцевого фундамента трубы Н=150м на ТЭЦ Мосенерго за 3 года эксплуатации – 1.6см.

В Одессе в 1974-1976гг. была возведена дымовая труба Н=120м с применением кольцевого свайного фундамента на 24-х козловых самораскрывающихся сваях длиной до 3м. Первоначально был запроектирован фундамент из 89 буронабивных свай длиной 28.8м, диаметром 0.6м с уширенной пятой, диаметром 1.4м.

При возведении трубы был применен кольцевой свайный фундамент на козловых сваях. Внешний диаметр кольцевого ростверка 25м., ширина кольца - 4.0м., площадь подошвы 264м². Геологическое строение участка представлено морскими четвертичным отложениями. Основание ростверка фундамента состоит из мелкого водонасыщенного песка, мощностью 5.5м. Ниже расположена супесь илистая текучей консистенции, мощностью 5.0м, илистые суглинки и глины мощностью до 8.0м. При возведении трубы давление на подошву ростверка составило 0.175МПа, средняя осадка – 8.4см, глубина зоны деформации 4.2м. За 6 лет эксплуатации осадка фундамента увеличилась до 12.2см, глубина зоны деформации достигла 5.0см (по результатам показаний глубинных марок), а крен трубы 0.003.

Проект другой дымовой трубы Н=120м для ТЭЦ-2 в Одессе также предусматривал круглый фундамент диаметром 20м из буронабивных свай длиной 19м, который был заменен на кольцевой фундамент на естественном основании с глубиной заложения подошвы – 1.6м.

Геологическое строение участка представлено морскими и лиманными отложениями четвертичного периода.

Ниже подошвы фундамента залегает песок мелкий глинистый с обломками ракушечника, мощностью 5.2м, ниже песок пылеватый сильно глинистый, мощностью 3.2м, супесь слаболистая с прослойками песка и запахом сероводорода мощностью до 8.3м. Уровень подземных вод гидравлически связан с уровнем воды в море с возможной его амплитудой ± 0.5 м. К началу строительства его отметка находилась на 0.1-0.2м ниже подошвы кольцевого фундамента.

Диаметр кольцевого фундамента 20.0м, ширина кольца 6.0м. В процессе строительства скорость протекания осадки изменялась в зависимости от роста нагрузки. Неравномерность возрастания нагрузки отразилась на скорости протекания осадок, величина которых периодически увеличивалась и снижалась, достигнув максимума к моменту завершения строительства. Средняя осадка дымовой трубы за 10 лет эксплуатации составила 18.0см.

Выводы

1. Внедрение кольцевых свайных фундамента вместо сплошных круглых ростверков в сложных инженерно-геологических условиях позволяет передать большие нагрузки узкой лентой кольцевого фундамента.

2. Применение кольцевых свайных фундамента вместо сплошных круглых ростверков на буронабивных сваях позволяет повысить отметку заложения подошвы ростверка, снизить объем земляных работ, трудоемкость и материалоемкость фундамента, что значительно уменьшает их стоимость.

3. Наблюдение за состоянием кольцевых фундамента для сооружений башенного типа показало на особенность совместной работы их подошвы с грунтом основания.

4. При небольшой ширине кольцевого ростверка зона деформации грунта от внешней нагрузки имеет меньший объем, а значит и меньшую глубину, а деформации грунтов основания развиваются в пределах верхней части.

5. При равных значениях осадки и площади подошвы, нагрузка на кольцевой фундамент на 30-40% больше, чем на круглый со сплошной подошвой. При равном давлении по подошве глубина зоны деформации в основаниях кольцевых фундамента меньше, чем в фундаментах со сплошной подошвой.

6. На значение коэффициента поперечного расширения оказывает влияние площадь круглого фундамента. С увеличением площади

фундаментов значение ν снижается и для фундаментных плит большой площади приближается к нулю.

References

1. Khasenevich L.S. Calculation of foundations with circular (closed) in-plane shapes. Science and technique. 2017. T.16(2). S.153-159.
2. Mangushev R.A. Metodika rasheta osadki kolcevyyh svainyyh fundamentov bolsheobemnykh rezervuarov s plavajushey kryshej. Electronic journal. 2017.
3. . Hudiakov A.V., Ledenev V.V. Vlianie odnositel'nogo diametra kolcevyyh fundamentov na glubinu zony deformirovaniia osnovaniia. Trudy. Tambov: TGTU, 2003. Vyp. 14. S. 8–10.
4. Plahotny G.N. Issledovanie raboty svainogo kolcevogo fundamenta s osnovaniem. Osnovaniia i fundamentey. 1982. Vyp. 15. S. 78-80.
5. Tugaenko J.F. Koefficient Puassona v geotekhnike. Tugaenko Ю.Ф. Visnik OSACEA. Odesa: OSACEA, 2008. Vyp. 32. S.306-312.
6. Nikitin N.V., Mihalchuk A.I., Travush V.I. Issledovaniia osadok fundamenta televizionnoi bashni v Ostankino. Osnovaniia i fundamentey, 1976. Vyp.2. S. 35-40.

Список использованной литературы

1. Хасеневич Л.С. О расчете кольцевых (замкнутых) в плане фундаментов. Наука и техника, 2017. Т.16, №2. С.153-159.
2. Мангушев Р.А. Методика расчета осадки кольцевых свайных фундаментов большеобъемных резервуаров с плавающей крышей. Геотехнический мониторинг. Электронный журнал, 2017.
3. Худяков А.В. В.В. Леденев. Влияние относительного диаметра кольцевых фундаментов на глубину зоны деформирования основания. Труды ТГТУ. Тамбов: ТГТУ, 2003. Вып. 14. С. 8–10.
4. Плахотный Г.Н. Исследование работы свайного кольцевого фундамента с основанием. Основания и фундаменты. Киев, 1982. Вып. 15. С.78-80.
5. Тугаенко Ю.Ф. Коэффициент Пуассона в геотехнике. Вісник ОДАБА. Одеса: ОДАБА, 2008. Вип. 32. С.306-312.
6. Никитин Н.В., Михальчук А.И., Травуш В.И. Исследования осадок фундамента телевизионной башни в Останкино. Основания и фундаменты, 1976. Вып.2. С.35-40.