

Оптимизация песчаной подушки

УДК 624.15

Глухов В.С.

Канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: nis@novotech.ru

Хрянина О.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: olgahryanina@mail.ru

Глухова С.В.

Магистр кафедры «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: s.gluhowa@yandex.ru

Пугина А.П.

Магистр кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: anaspugina@mail.ru

Статья получена: 30.11.2019. Рассмотрена: 08.12.2019. Одобрена: 30.12.2019. Опубликовано онлайн: 31.12.2019. ©РИОР

Аннотация

Известно, что значения напряжений и распределение последних по глубине в значительной мере зависят от размеров подошвы фундамента и особенно ширины. В статье с целью выбора оптимальной ширины подошвы фундамента и толщины песчаной подушки исследуется влияние ширины подошвы на характер распределения вертикальных напряжений в грунтовом основании на примере фундаментов под металлические трубы. Учитывалось наличие в пределах площадки строительства слабых водонасыщенных глинистых грунтов. Предложены

варианты устройства из традиционных призматических свай и фундаментов мелкого заложения на песчаной подушке. Проведено технико-экономическое сравнение вариантов. Проанализированы преимущества и недостатки каждого из вариантов. Используя методологию поверочных расчетов при проектировании песчаных подушек произведена оптимизация принятого варианта фундаментов.

Ключевые слова: решение Буссинеска, напряжения, грунтовая толща, фундамент, металлическая труба, песчаная подушка, нагрузки, изгибающие моменты.

OPTIMIZING THE SAND CUSHION

Vyacheslav Glukhov

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Geotechnics and Road Construction, Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: nis@novotech.ru

Olga Hryanina

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Geotechnics and Road Construction", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: olgahryanina@mail.ru

Svetlana Glukhova

Master's Degree Student, Department "Geotechnics and road construction", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: s.gluhowa@yandex.ru

Anastasiya Pugina

Master's Degree Student, Department "Building Constructions", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: anaspugina@mail.ru

Manuscript received: 30.11.2019. **Revised:** 08.12.2019. **Accepted:** 30.12.2019. **Published online:** 31.12.2019. ©RIOR

Abstract. It is known that the stress values and the distribution of the latter in depth depend to a large extent on the size of the Foundation sole and especially the width. In this article, in order to select the optimal width of the Foundation sole and the thickness of the sand cushion, the influence of the sole width on the distribution of vertical stresses in the ground base is studied on the example of foundations for metal pipes. The presence of weak water-saturated clay soils within the construction site was taken into account. Variants of the device from traditional prismatic piles and foundations of small laying on a sandy pillow are offered, a technical and economic comparison of options was carried out. The advantages and disadvantages of each option are analyzed. Using the methodology of verification calculations in the design of sandbags, the optimization of the accepted version of the foundations was made.

Keywords: the solution to Boussinesq, stress, soil strata, foundation, metal pipe, sand bags, loads, bending moments.

Особенностью проектирования фундаментов под металлические трубы считается необходимость обеспечения надежности фундаментов при действии на последние значительных горизонтальных нагрузок и изгибающих моментов. При устройстве на предприятии «Апатит» в г. Балаково металлической выхлопной трубы высотой 95,0 м и диаметром ствола 6,0 м имели место весьма значительные горизонтальные нагрузки и изгибающие моменты. Усилия, действующие в уровне верхнего обреза фундамента, представлены на схеме (рис. 1) и в таблице. Разработка и исследование условий взаимодействия фундаментов со сложным характером нагружения с грунтовым основанием традиционно считаются весьма актуальной задачей [1–5].

Научная новизна настоящей работы заключается в создании условий использования решений Буссинеска о распределении напряжений в грунтовой толще. Согласно указанного решения значения напряжений и распределение последних по глубине в значительной мере зависят от размеров подошвы фундамента и особенно ширины. Используя данное положение, авторы исследуют влияние ширины подошвы на характер распределения вертикальных напряжений в грунтовом основании с целью выбора оптимальной ширины подошвы фундамента и толщины песчаной подушки.

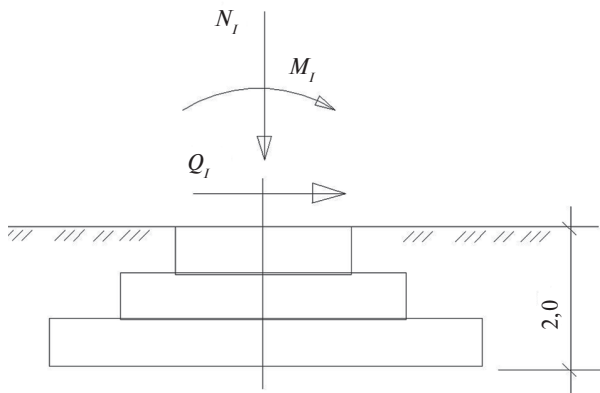


Рис. 1. Схема нагрузок в уровне верха фундамента

Таблица

Вид нагрузки	Нормативные	Расчетные
N , кН	5400,0	5900,0
M , кНм	16 000,0	19 000,0
Q , кН	500,0	620,0

При выборе варианта фундаментов учитывалось наличие в пределах площадки строительства довольно слабых водонасыщенных глинистых грунтов со следующими основными характеристиками.

С поверхности залегает слой почвенно-растительного и техногенного грунта толщиной до 1,5 м, который не может быть использован в качестве основания фундаментов. Указанный слой подстилается относительно однородным суглинком мощностью до 15,0 м.

Показатель текучести суглинков изменяется в диапазоне $I_L = 0,4 \div 0,55$, объемная масса грунта $\gamma_{II} = 17,5$ кН/м³, угол внутреннего трения $\varphi = 14^\circ$, удельное сцепление $c = 15,0$ кПа, модуль деформации $E = 6,0$ МПа.

При выборе варианта фундаментов исходили из результатов изучения мирового опыта по данному вопросу. В результате авторы полагают, что наиболее приемлемым в данных грунтовых условиях, с учетом характера и диапазона нагрузок, можно считать вариант из традиционных призматических свай. Однако площадка строительства располагается внутри действующего предприятия и погружение свай забивкой недопустимо. Применение технологии вдавливания нерационально из-за малого количества свай — порядка 60 шт. При таком объеме свайного поля перебазировка сваедавливательной установки в г. Балаково весьма затратна в целом. Сметная стоимость такого варианта оценивалась в 6500,0 тыс. руб.

Авторами предложен вариант фундаментов мелкого заложения на песчаной подушке. Технология устройства указанного фундамента не требует специального оборудования, кроме землеройной стандартной строительной техники.

При проектировании песчаных подушек следует обращать внимание на методологию поверочных расчетов. Главная задача заключается в определении толщины подушки. Толщина назначается из следующих соображений:

- толщина подушки должна быть не менее половины ширины подошвы фундамента;
- должно выполняться условие проверки подстилающего слоя;
- расчетная осадка не должна превышать предельных деформаций основания фундамента.

С целью уменьшения толщины подушки, исходя из первого условия, фундамент выпол-

нен из кольцевой и лепестковых частей. Наружный диаметр кольца $d_n = 12,0$ м, а внутренний $d_b = 6,0$ м. Следовательно, ширина подошвы кольца — 3,0 м.

Лепестковые части фундамента также имеют ширину $b_d = 3,0$ м. Поэтому минимально допустимая толщина подушки по первому условию $h_n \geq 1,5$ м (рис. 2).

В настоящем случае, оптимизируя принятый вариант фундаментов, исходили из удовлетворения условия проверки подстилающего слоя при $h_n = 1/2b$, где b — наименьшая ширина сечения кольца b_k или лепестка b_d . Указанное достигнуто путем подбора суммарной площади подошвы круглой части фундамента и лепестковой (рис. 2). В результате расчетов лепестки приняты длиной $l = 5,0$ м и шириной $b = 3,0$ м с общей площадью подошвы $A_{л.с} = 90,0$ м². Ширина кольцевой части фундамента $b_k = 3,0$ м. Площадь центральной кольцевой подошвы составляет порядка $A_n = 90,0$ м². Общая площадь опирания фундаментов на песчаную подушку $A = 180,0$ м². С учетом глубины заложения подошвы $h = 2,5$ м общий вес фундамента и грунта на обрезях $Q_{ф.гр} = 6250$ кН. С учетом нагрузок от трубы и веса фундамента среднее давление под подошвой составляет около 100,0 кПа.

Особенностью рассматриваемого сооружения является передача на фундамент значительного изгибающего момента. Суммарный изгибающий момент относительно оси симметрии площади подошвы составляет $M_o = 17\,000,0$ кНм. В соответствии со схемой нагрузок (см. рис. 1) по известной формуле определены крайевые

давления на грунтовое основание, которые составили $P_{max} = 208,5$ кПа; $P_{min} = 6,1$ кПа.

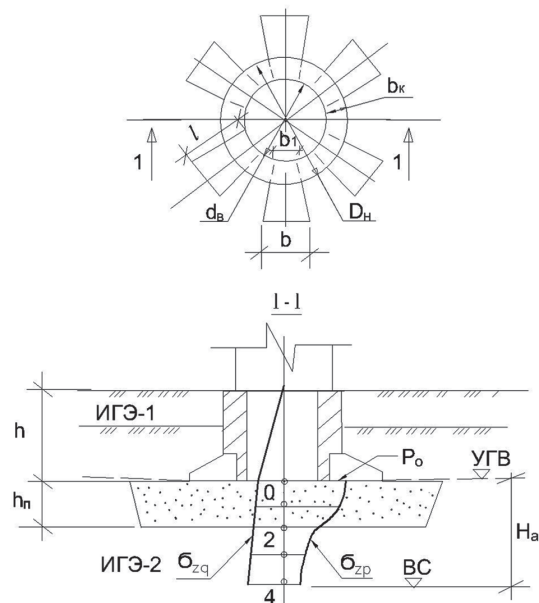


Рис. 2. Расчетная схема осадки фундамента

С учетом указанных расчетов запроектирован фундамент со следующими объемами. Расход бетона — 155,0 м³. Объем земляных работ — 1720,0 м³ и песка — 830,0 м³. Общая сметная стоимость устройства фундамента — 3900,0 тыс. руб., что в 1,65 раза меньше, чем вариант фундаментов по проекту с применением буровых свай.

Устройство фундаментов и монтаж трубы завершены в марте 2018 г. Геодезические наблюдения за объектом позволяют сделать вывод о надежности принятого варианта фундаментов.

Литература

1. Абелев М.Ю. Новое в устройстве искусственных уплотненных оснований зданий и сооружений на слабых грунтах [Текст] / М.Ю. Абелев, Р.Р. Бахронов, В.Г. Козьмодемьянский // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 9. — С. 76–81.
2. Архипов Д.Н. Изучение распределения вертикальных напряжений и деформаций в основании сборного ленточного фундамента из балочных элементов [Текст] / Д.Н. Архипов, С.И. Евтушенко // Строительство и архитектура. — 2014. — № 1. — С. 17–20. — DOI: <https://doi.org/10.12737/3384> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Сенковски Е. Проектирование укрепляющих гравийно-песчаных подушек [Текст] / Е. Сенковски // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2004. — № 5. — С. 127–130.
4. Бабешко Е.С. Обзор методов устройства искусственных оснований [Текст] / Е.С. Бабешко, М.С. Захарова // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов (по материалам X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов. — 2017. — С. 77–79.
5. Ещенко О.Ю. Основание цилиндрического резервуара. Патент на изобретение RUS 2437988 18.05.2010 [Текст] / О.Ю. Ещенко, Д.В. Волик.

References

1. Abelev M.Yu., Bahronov R.R., Koz'modem'yanskij V.G. Novoe v ustrojstve iskusstvennyh uplotnennyh osnovanij zdaniy i sooruzhenij na slabyh gruntah [New in the device of artificial compacted foundations of buildings and structures on soft soils]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2015, I. 9, pp. 76–81.
2. Arhipov D.N., Evtushenko S.I. Izuchenie raspredeleniya vertikal'nyh napryazhenij i deformacij v osnovanii sbornogo lentochnogo fundamenta iz balochnyh elementov [Studying the distribution of vertical stresses and strains at the base of a precast strip foundation of beam elements]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Construction and Architecture]. 2014, I. 1, pp. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.12737/3384> (accessed 30 January 2020).
3. Ezhi Senkovski. Proektirovanie ukreplyayushchih gravijno-peschanyh podushek [Design of reinforcing gravel and sand cushions]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction]. 2004, I. 5 (545), pp. 127–130.
4. Babeshko E.S., Zaharova M.S. Obzor metodov ustrojstva iskusstvennyh osnovanij [A survey of methods for constructing artificial foundations]. *Geologiya v razvivayushchemsya mire: sbornik nauchnyh trudov (po materialam X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchennyh)* [Geology in the developing world: a collection of scientific papers (based on the materials of the X International Scientific and Practical Conference of students, graduate students and young scientists)]. 2017, pp. 77–79.
5. Eshchenko O.Yu., Volik D.V. Osnovanie cilindricheskogo rezervuara. Patent na izobretenie RUS 2437988 18.05.2010 [The base of the cylindrical tank. Patent for invention RUS 2437988 05/18/2010].