

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФУНДАМЕНТОВ

В.В. Леденев, С.А. Сафонов

Кафедра “Конструкции зданий и сооружений”, ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором Ю.В. Воробьевым

Ключевые слова и фразы: железобетонный цилиндрический фундамент; несущая способность; оптимальное конструктивное решение; прочность по материалу; фибробетон.

Аннотация: Обсуждаются результаты экспериментов с железобетонными и бетонными цилиндрическими моделями фундаментов при разных конструкциях и схемах нагружения. Получены эмпирические зависимости между предельными нагрузками и перемещениями.

Буронабивные сваи или фундаменты применяют при возведении зданий разного назначения. Разрушение материала конструкции часто происходит при значительно больших нагрузках, чем окружающего грунтового основания, т.е. имеет место неэффективное использование бетона и арматуры. Для повышения удельной несущей способности фундаментов и сближения несущей способности по грунту и материалу следует либо ослабить фундамент, например, применяя полые модели, либо повысить сопротивление грунта устройством уплотненного уширенного основания. Исследования несущей способности по грунту проводились в работах [1-5]. Полые цилиндрические конструкции буронабивных фундаментов относятся к числу эффективных [6]. Прочность их почти не исследована. Оптимальное конструктивное решение можно получить путем регулирования параметров нагружения, изменения формы сечения и конструкции фундаментов и т.п.

Проведено сравнение несущей способности следующих конструкций моделей фундаментов (рис. 1):

- 1) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с открытыми концами, устроенная в грунте без нарушения его естественного состояния;
- 2) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с днищем и открытым верхним концом, устроенная в грунте без нарушения его естественного состояния;
- 3) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с открытым нижним и закрытым верхним концом, устроенная в грунте без нарушения его естественного состояния;
- 4) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с закрытыми концами, устроенная в грунте без нарушения его естественного состояния;
- 5) полая железобетонная цилиндрическая оболочка, заполненная слабым бетоном, щебнем или уплотненным грунтом, устроенная в грунте без нарушения его естественного состояния;

6) полая железобетонная цилиндрическая оболочка, устроенная без нарушения естественного состояния грунта, с уширением основания из вытрамбованного бетона или щебня;

7) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с нагрузочной консолью;

8) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с опиранием на круглую симметричную или несимметричную железобетонную плиту;

9) полая железобетонная цилиндрическая оболочка с наклоном в сторону силы;

10) полая железобетонная цилиндрическая оболочка, вдавленная в грунт с открытым нижним концом.

Прочность фундаментов по материалу зависит от формы и величины контактных напряжений; прочности бетона и грунта; схем армирования; конструкции узла передачи нагрузки; конструктивного решения у низа оболочки; способа устройства фундамента; качества работ при их изготовлении; характера силовых воздействий; степени агрессивности среды и т.п.

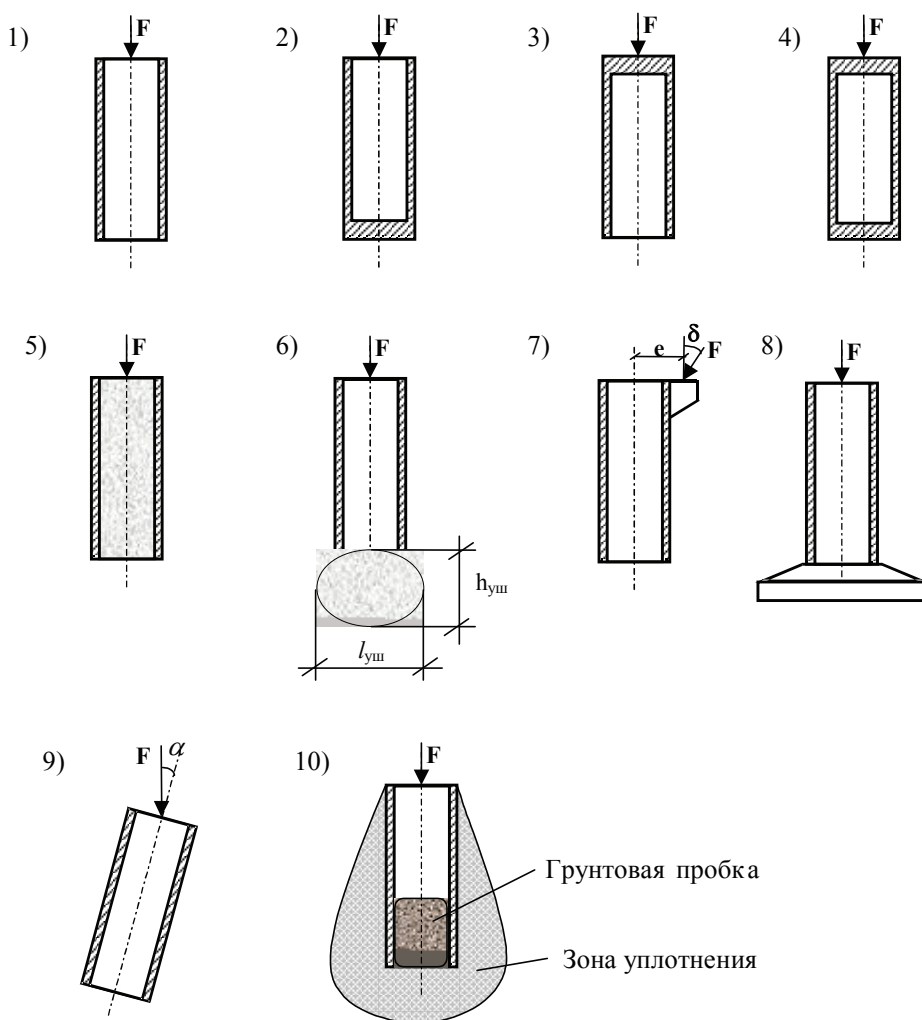


Рис. 1 Конструктивные решения полых цилиндрических фундаментов

Полые фундаменты испытывают изгиб, изгиб с кручением, давление грунта на наружную поверхность, внутреннее давление от уплотненной грунтовой пробки. Значительные концентрации напряжений возникают в местах заземления сваи в ростверке, внизу у уширения, у консолей или лежней.

Модели фундаментов изготавливали из бетона классов В-10 и В-15 диаметром $d_{ex} = 11 \dots 20$ см, высотой $h_f = 11 \dots 55$ см, относительным внутренним диаметром $d^* = d_{in}/d_{ex} = 0 \dots 0,8$ (d_{in} – внутренний диаметр). В качестве арматуры принимали проволоку класса Вр-I и В-I, стальные фибры $d = 0,6$ мм и $l = 20 \dots 30$ мм. Из проволоки изготавливали сварные сетки с ячейками 25×25 мм. Фибры тщательно перемешивали с бетоном и укладывали в опалубку с уплотнением. Процент армирования $\mu = A_s/A_b \cdot 100$ % (отношение площади арматуры в сечении к площади бетона) принимали 3%. Относительное заглубление модели $\lambda = h/d_{ex}$ (h – заглубление образца) изменяли от 1 до 4. В некоторых экспериментах основанием фундаментов являлся послойно уплотненный воздушно-сухой мелкозернистый песок ($\rho = 1,57 \dots 1,60$ г/см³) или маловлажный песок ($\rho = 1,62$ г/см³).

На полый цилиндрический фундамент, находящийся в грунте, действует сложная система реактивных напряжений (рис. 2).

Эксперименты проводили на гидравлических прессах ПСУ-125 и ИП-500. Испытана 51 модель фундаментов. Схемы нагружения соответствовали особенностям взаимодействия фундамента с грунтом при разных конструктивных решениях.

Модели испытывали на осевое и внецентренное нагружение; при ограничивающем давлении грунта на наружные поверхности оболочки; при давлении грунта изнутри; при передаче нагрузки по образующей с использованием плоского и полуцилиндрического штампов.

Поставлена серия опытов с моделями из бетона класса В-15 при $e_0 = 0$ и разных сочетаниях d_{ex} , d^* и λ . Результаты приведены в табл. 1.

В опытах с образцами из мелкозернистого бетона класса В-10 исследовали влияние вида армирования при $d^* = 0,6$; $\lambda = 2$; $d_{ex} = 11$ см (табл. 2).

Проведены опыты при разной начальной плотности основания с образцами из мелкозернистого бетона класса В-10 с различным армированием при $d^* = 0$; $d_{ex} = 11$ см; $\lambda = 2$; $e_0 = 0$ (табл. 3) и $d^* = 0 \dots 0,6$; $d_{ex} = 11$ см; $\lambda = 2$; $e_0 = 0$ (табл. 4).

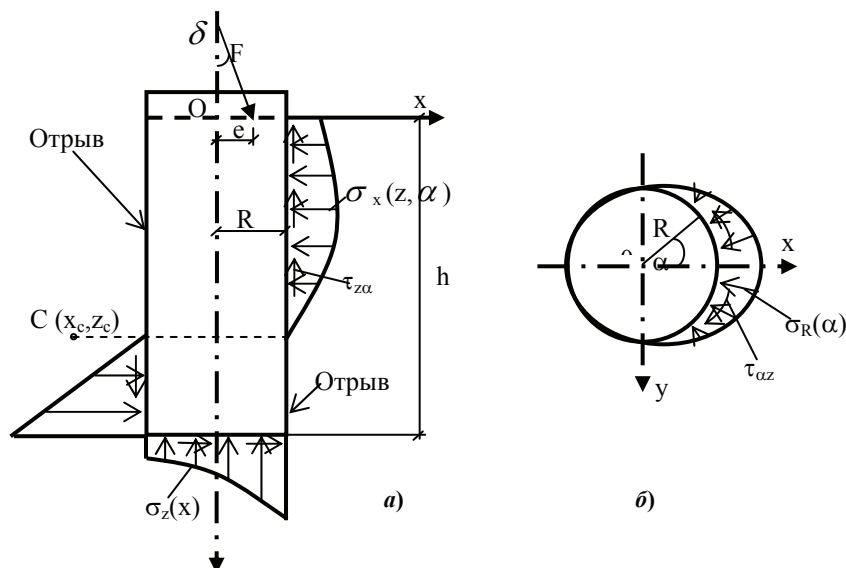


Рис. 2 Примерное очертание эпюр контактных напряжений в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскостях

Таблица 1

Влияние высоты и формы сечения на величину разрушающей нагрузки

№ п/п	d_{ex} , см	d^*	λ	F_u , кН	σ_u , МПа
1	11	0	1	78	8,21
2	11	0	2	82	8,63
3	11	0	3	108	11,37
4	11	0	4	133	14
5	11	0,4	2	67	8,4
6	11	0,6	2	60	9,87
7	15	0	1	189	10,7
8	20	0	1	284	9,04
9	11	0	1	145	15,26
10	11	0	2	140	14,74
11	11	0	3	82	8,63
12	11	0	4	67	7,05

Таблица 2

Влияние обоймы и видов армирования на величину разрушающей нагрузки

№ п/п	Армирование	e_0	F_u , кН		σ_u , МПа	
			а)	б)	а)	б)
13	стальные фибры	0	22	25	3,62	4,11
14		0,5	16	–	2,63	–
15;22	поперечная арматура (спираль)	0	14	15	2,3	2,47
16		0,5	10	–	1,65	–
17;23	продольная и поперечная арматура	0	24	24	3,95	3,95
18		0,5	18	–	2,96	–
19;24	без армирования	0	10	10	1,65	1,65
20		0,5	8	–	1,32	–

Таблица 3

Влияние плотности грунта на величину разрушающей нагрузки

№ п/п	Армирование	ρ , г/см ³	F_u , кН	σ_u , МПа
1	2	3	4	5
25	стальные фибры	1,57	22	3,62
26		1,59	32	5,27
27		1,60	41	6,75
28		1,62 ($\omega = 0,05$)	69	11,35

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
29	без армирования	1,57	10	1,65
30		1,59	16	2,64
31		1,60	25	4,13
32		1,62 ($\omega = 0,05$)	40	6,60

Таблица 4

Влияние вида армирования на величину разрушающей нагрузки

№ п/п	Армирование	d^*	F_{uz} , кН	
			a)	б)
33; 39	стальные фибры	0,6	8	13
34; 40	поперечная арматура (спираль)	0,6	5	9
35; 41	продольная и поперечная арматура	0,6	5	10
36	без армирования	0	11	–
37		0,4	7	–
38		0,6	4	–

В опытах с тонкостенными моделями фундаментов, изготовленными из мелкозернистого бетона класса В-10, при давлении грунта изнутри ($d_{ex} = 11$ см; $d^* = 0,8$; $\rho_n = 1,57$ г/см³ – начальная плотность) определяли плотность при разрушении ρ_p и абсолютное сжатие грунта Δ (табл. 5).

Таблица 5

Влияние относительного заглубления модели и абсолютной деформации грунта на величину разрушающей нагрузки

№ п/п	λ	F_{uz} , кН	Δ , мм	ρ_p , г/см ³
42	1	1,1	4,0	1,64
43	1,5	1,3	5,0	1,62

Результаты серии опытов с моделями из мелкозернистого бетона класса В-10 при давлении грунта изнутри при $d_{ex} = 11$ см; $d^* = 0,8$ см; $\lambda = 1,5$ представлены в табл. 6.

В результате статистической обработки данных экспериментов были получены следующие эмпирические зависимости (табл. 7).

Таблица 6

**Влияние вида армирования и плотности песка
на величину разрушающей нагрузки**

№ п/п	Армирование	ρ_n , г/см ³	F_u , кН	Δ , мм	ρ_p , г/см ³
44	стальные фибры	1,57	4,0	10,0	1,68
45		1,59	5,0	8,4	1,68
46		1,60	6,0	8,0	1,69
47		1,62 ($\omega = 0,05$)	9,5	7,0	1,70
48	без армирования	1,57	1,3	5,0	1,62
49		1,59	2,2	4,0	1,63
50		1,60	2,5	3,8	1,64
51		1,62 ($\omega = 0,05$)	4,0	3,0	1,65

Таблица 7

Эмпирические зависимости предельных нагрузок и перемещений

Номер опыта	Расчетные формулы
№ 25-28	$F_u = 6,93 \cdot 10^4 \rho_n^3 - 3,04 \cdot 10^5 \rho_n^2 + 4,61 \cdot 10^5 \rho_n - 2,33 \cdot 10^5$
№ 29-32	$F_u = -5 \cdot 10^5 \rho_n^3 + 2,4 \cdot 10^6 \rho_n^2 - 3,84 \cdot 10^6 \rho_n + 2,04 \cdot 10^6$
№ 44-47	$F_u = 1,67 \cdot 10^4 \rho_n^3 - 7,77 \cdot 10^4 \rho_n^2 + 1,21 \cdot 10^5 \rho_n - 6,25 \cdot 10^4$
№ 48-51	$F_u = 4 \cdot 10^4 \rho_n^3 - 1,91 \cdot 10^5 \rho_n^2 + 3,04 \cdot 10^5 \rho_n - 1,6 \cdot 10^5$
№ 44-47	$F_u = 1,01 \cdot 10^4 \rho_p^2 - 3,36 \cdot 10^4 \rho_p^3 + 2,81 \cdot 10^4$
№ 48-51	$F_u = 3,01 \cdot 10^5 \rho_p^3 - 1,47 \cdot 10^6 \rho_p^2 + 2,4 \cdot 10^6 \rho_p - 1,3 \cdot 10^6$
№ 44-47	$F_u = 0,074 \Delta^3 - 1,02 \Delta^2 - 0,67 \Delta + 39$
№ 48-51	$F_u = 0,06 \Delta^3 - 0,3 \Delta^2 - 2 \Delta + 11$

Выводы

1. Удельная несущая способность одиночного фундамента может быть существенно повышена путем уплотнения грунта, регулирования параметров нагружения (e_0 , δ), оптимального выбора формы сечения (d^*), размеров фундамента (h , d_{ex} , d_{in}), устройства уширения в основании, эффективного конструктивного решения по концам фундамента.

2. Полые цилиндрические фундаменты относят [6] к числу рациональных конструкций. В них может быть достигнуто равенство сопротивлений по грунту и материалу фундамента.

3. Разрушение полых цилиндрических фундаментов происходит вследствие появления трещин, развития пластических шарниров, местного сжатия по торцам и выпучивания стенок. Соотношение разрушающих нагрузок по грунту F_s и по материалу F_{rb} зависит от множества факторов. В большинстве опытов $F_s \ll F_{rb}$.

Список литературы

1. Леденев В.В. Прочность и деформативность оснований заглубленных фундаментов. – Тамбов, ТГТУ. – 1995. – 400 с.
2. Леденев В.В., Сафонов С.А. Исследование взаимодействия полых цилиндрических моделей фундаментов с песчаным основанием // Проблемы строительства, обеспечения и экологии городов: Материалы II Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2000. – С. 42-49.
3. Леденев В.В., Сафонов С.А. Исследование несущей способности и перемещений полых цилиндрических фундаментов при сложных схемах нагружения // Современные проблемы фундаментостроения: Сб. трудов Международной научно-технической конференции. В 4-х ч. Ч. 1, 2 / ВолгГАСА. – Волгоград, 2001. – С. 105-107.
4. Сафонов С.А. Исследование перемещений цилиндрических моделей фундаментов при сложных схемах нагружения // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Вып. 10. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – С. 83-85.
5. Леденев В.В., Сафонов С.А. Экспериментальные исследования несущей способности и перемещений полых цилиндрических фундаментов при действии внецентренной наклонной силы // Вестник ТГТУ. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 665-673.
6. Глухов В.С. Прогрессивные конструкции фундаментов и исследования их взаимодействия с основанием. – Пенза: Ред. журнала «Земство», 1996. – 72 с.

Experimental Research of Cylinder Foundations Strength

V.V. Ledenev, S.A. Safonov

Department "Construction of Buildings and Structures", TSTU

Key words and phrases: carrier capability; fibrous concrete; material strength; optimum constructive decision; reinforced concrete cylinder foundation.

Abstract: Results of experiments with reinforced concrete and concrete cylinder foundations models in various structures and loading schemes are discussed. Empirical dependence of limited loads on displacement is obtained.

Experimentalen Forschungen der Haltbarkeit der zylindrischen Fundamente

Zusammenfassung: Es werden die Ergebnisse der Experimente mit den zylindrischen Stahlbeton- und Betonmodellen der Fundamente bei den verschiedenen Konstruktionen und den Belastungsschemen besprochen. Es sind die empirischen Abhängigkeiten zwischen den Höchstbelastungen und die Umstellungen bekommen.

Etudes expérimentales de la rigidité des fondements cylindriques

Résumé: Sont discutés les résultats des expériences avec les modèles cylindriques en béton et en béton armé dans de différents constructions et schémas du chargement. On a reçu les dépendance empiriques entre les charges de limite et les transpositions.