УДК 624.157.2

В.В. Новиков, Т.М. БочкареваПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ
ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ
ТЕРРИТОРИЯХ И ОСНОВАНИЯХ СЛОЖЕННЫХ
СИЛЬНОСЖИМАЕМЫМИ ГРУНТАМИ**

Статья посвящена проблемам фундаментастроения в сложных инженерно-геологических условиях Перми и Пермского края. Предложена новая конструктивная форма фундамента, представляющая собой ленточный фундамент в виде перекрестных железобетонных балок, под узлами пересечения которых, установлены цилиндрические оболочки. Приведены результаты модельных штамповых испытаний отдельных фундаментов-оболочек на песчаном основании, построены графики зависимости осадки от нагрузки на штамповые модели.

Ключевые слова: процессы карстообразования; сильносжимаемые грунты; ленточные фундаменты; фундаменты-оболочки; ленточный фундамент из перекрестных железобетонных балок, уложенных на цилиндрические оболочки.

V.V. Novikov, T.M. Bochkareva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**RESEARCH OF THE DESIGN SOLUTION OF THE TAPE BASES
IN ZAKARSTOVANNY TERRITORIES AND THE BASES PUT
BY SILNOSZHIMAYEMY SOILS**

Article is devoted to foundation engineering problems in the composite engineering-geological conditions of Perm and Perm Krai. The new design form of the base representing the tape base in the form of cross ferroconcrete beams under which clusters of crossing, cylindrical envelopes are established is offered. Results model the shtampovykh of tests of the separate bases envelopes are given in the sandy basis, schedules of dependence of a settling from load of shtampovy models are constructed.

Keywords: karstoobrazovaniye processes; silnoszhimayemy soils; tape bases; bases envelopes; the tape base from the cross ferroconcrete beams laid on cylindrical covers.

Современное строительство в России, как и во всем мире в целом, идет по пути возрастания этажности зданий и увеличения плотно-

сти городской застройки. Проблема состоит в возрастании давления под подошвой фундаментов с 0,3 до 1 МПа и в восприятии таких усилий в условиях городской застройки. Значительная часть территории России имеет сложные инженерно-геологические условия для строительства, представленные сильносжимаемыми грунтами, а также процессами карстообразования.

К слабым грунтам относятся специфические насыщенные водой сильносжимаемые грунты, которые при обычных скоростях приложения нагрузок на основание теряют свою прочность и проявляют сильные осадочные явления (зоторфованные грунты, торфы, грунты с растительными остатками). Данные грунты широко распространены на территории Перми (долина р. Егошихи, Камская долина). Распространенность карстовых процессов на территории Пермского края достигает 45,9 тыс. км², т.е. трети всей территории (160,6 тыс. км²)¹.

Данные факты приводят к необходимости устройства фундаментов с большим запасом конструктивной прочности и надежности для обеспечения пространственной неизменяемости каркаса. Приоритетным направлением развития в данной области является разработка новых конструктивных решений ленточных фундаментов, изучение их работы на моделях и внедрение инновационных проектных решений в практику строительства. Основной целью разработки новых конструктивных решений фундаментов является увеличение несущей способности основания и снижение стоимости их устройства.

Перспективными типами фундаментов под стены зданий с точки зрения уменьшения материалоемкости, по нашему мнению, являются ленточные фундаменты из сборных плит, фундаменты с ломаным очертанием опорных плит, прерывистые фундаменты, а также ленточный фундамент в виде перекрестных железобетонных балок.

Эффективность таких конструктивных решений фундаментов обусловлена следующими факторами:

- 1) изменение контура опорной части в краевой зоне приводит к возникновению «арочного эффекта» в основании, вследствие чего повышается его несущая способность;
- 2) увеличение соотношения периметра ленточного фундамента к его площади, что приводит к увеличению коэффициента постели;

¹ ТСН 11-301–2004По. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области. Пермь, 2004. 122 с.

3) зоны пластических деформаций грунтовых оснований под опорными плитами с ломаным очертанием меньше, чем под эквивалентными сплошными.

С целью увеличения несущей способности ленточного фундамента и получения экономической выгоды предложена его новая рациональная конструкция, которая представляет собой ленточный фундамент в виде перекрестных железобетонных балок, под узлами пересечения которых установлены цилиндрические оболочки.

Фундаменты-оболочки, обладающие большой жесткостью, позволяют наиболее полно использовать прочностные свойства железобетона, а также сгладить границу между грунтовым основанием и железобетонной конструкцией, за счет равномерного нарастания площади горизонтального сечения оболочки. Данные особенности работы фундамента оболочки дают экономическую выгоду за счет снижения материалоемкости.

При проведении экспериментальных исследований было поставлено две задачи:

1) изучить взаимодействие цилиндрических фундаментов-оболочек с грунтовым основанием и получить график зависимости осадки от прикладываемой нагрузки на штамп;

2) сравнить работу обычного ленточного фундамента и фундамента в виде балок, уложенных на цилиндрические оболочки.

Экспериментальные исследования работы моделей фундаментов проводились в лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ. Устройство для испытаний представляет собой стендовую установку размерами 480×720×156 мм, предназначенную для проведения лабораторных и научно-исследовательских работ. Стенд позволяет проводить, в условиях плоской и осесимметричной деформации, испытания модели ленточного фундамента. Расстояние между подошвой штампа и дном лотка было не меньше 6 ширины штампа, а расстояние до стенок лотка было не менее 3 ширины штампа для предотвращения их взаимовлияния. Нагружение штампа производилось автоматизированно, с заданными параметрами на компьютере, при помощи пневмокомпрессора. Управление процессом испытаний выполнялось автоматически с использованием программы Geotek-АСИС3.2. Нагружение производилось до осадок 20–25 мм. Макси-

мальное давление на основание составляло до 350 кПа или до выпора грунта из под штампа.

При проведении модельных экспериментов в качестве грунтового основания использовался песок с подсчитанными [2] физико-механическими характеристиками, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики песчаного основания

Характеристика грунта	Обозначение	Значения характеристик	
		для рыхлого песка	для уплотненного песка
Плотность частиц грунта	$\rho_s, \text{г/см}^3$	2,65	2,65
Плотность грунта	$\rho, \text{г/см}^3$	1,63	1,96
Удельный вес	$\gamma, \text{Н/см}^3$	25,97	25,97
Коэффициент пористости	$e, \text{кПа}$	0,63	0,35
Удельное сцепление	$c, \text{кПа}$	2,4	3,0
Угол внутреннего трения	$\varphi, \text{град}$	32,8	40,0
Модуль общей деформации	$E_0, \text{МПа}$	32,67	50,0

Согласно ГОСТ 12536–79 песок однородный.

Грунт отсыпался слоями толщиной 2 см с цветными прослойками из инертного материала (белый кварцевый песок) толщиной, пренебрежимо малой по сравнению с толщиной песка (≈ 1 мм). Прослойки делались до глубины, на которой сказывается влияние сжимающих напряжений интенсивностью 0,1 внешней нагрузки, т. е. на глубине $6b$ ($6b = 6 \times 75 = 450$ мм). Контроль плотности проводится статическим плотномером СПГ-1 пенетрацией в трех точках [4].

В качестве модели фундамента-оболочки использовалась жесткая оболочка отлитая из эпоксидной смолы размером $D_{\text{наружный}} = 75$ мм и $d_{\text{внутренний}} = 60$ мм. Данная оболочка рассматривается как фундамент $D_{\text{наружный}} = 2,25$ м и $d_{\text{внутренний}} = 1,8$ м, т.е. применен масштаб 1:30. Рассмотрены два случая постановки оболочки на грунтовое основание:

1) в первой серии опытов штамп устанавливался на основание без заполнения внутренней полости оболочки грунтом (рис. 1, а);

2) во второй серии штамп устанавливался на основание с заполнением внутренней полости оболочки грунтом, идентичным основанию (рис. 1, б).

Рис. 1. Постановка штампов на грунтовое основание: *а* – без заполнения полости оболочки грунтом; *б* – с заполнением полости оболочки грунтом идентичным грунту основания

По результатам проведенных экспериментов (табл. 2) получены графики зависимости осадки от давления для модельных фундаментов. Результаты проведенных штамповых испытаний приведены на рис. 2.

Таблица 2

Результаты штамповых испытаний

Номер ступени нагружения массива грунта	Давление, кПа	Осадка штампа, мм		
		Результаты серии опытов № 1	Результаты серии опытов № 2	Пробный эксперимент
1	0	0	0	0
2	25	–2,243	–0,147	–0,135
3	50	–3,281	–0,795	–0,666
4	75	–4,061	–1,748	–1,638
5	100	–4,766	–2,442	–2,420
6	125	–5,361	–3,010	–3,213
7	150	–6,162	–3,483	–3,774
8	175	–6,941	–3,958	–4,199
9	200	–7,578	–4,377	–4,925
10	225	–8,209	–4,888	–5,508
11	250	–8,944	–5,513	–20,723
12	275	–10,103	–6,313	–
13	300	–23,299	–22,699	–
14	325	–	–	–

Рис. 2. Графики зависимости осадки от нагрузки

На основании полученных данных следует вывод: при проведении опытов по схеме серии № 1 грунтовое основание получает значительные осадки, вследствие заполнения внутренней полости оболочки грунтом за счет его выпирания из-под стенок, взаимодействующих с грунтом, и последующего уплотнения грунта в этом пространстве. При испытаниях по схеме серии опытов № 2 штамп-оболочка получает значительно меньшие осадки. Предельная несущая способность основания для обеих серий экспериментов оказалась одинаковой и составила 300 кПа.

Для сравнительного анализа эффективности применения фундаментов-оболочек был проведен пробный эксперимент на модели отдельно стоящего фундамента. В качестве модели использовался кубический штамп (см. рис. 2, пробный эксперимент), равный по площади примененным моделям оболочек, выполненный из эпоксидной смолы.

Анализ конечных результатов позволил сделать вывод о том, что фундаменты-оболочки имеют меньшую осадку по сравнению с классическими, отдельно стоящими фундаментами на 10–12 %. Также определено, что несущая способность фундамента-оболочки на 20 % выше по сравнению с равновеликой по площади опорной поверхностью прямоугольного фундамента.

На основании полученных исследований предлагается новое конструктивное решение ленточного фундамента, представляющее собой

систему перекрестных железобетонных балок, под узлами пересечения которых установлены цилиндрические оболочки.

Научная новизна разработок:

1. Разработана эффективная конструкция ленточных фундаментов, обеспечивающая наиболее полное использование несущей способности основания.

2. Экспериментальными исследованиями подтверждено уменьшение осадок фундаментов-оболочек на 10–12 % и увеличение несущей способности по сравнению с обычными прямоугольными фундаментами.

Библиографический список

1. Основные положения материалов по обоснованию проекта генерального плана города Перми. Краткая пояснительная записка / Администрация города Перми. – Пермь, 2010. – 117 с.

2. Пономарёв А.Б., Калошина С.В., Сычкина Е.Н. Инженерная геология и механика грунтов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 36 с.

3. Планирование эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния песчаного грунтового основания с помощью штамповых испытаний / Д.А. Татьянников, К.П. Давлятшин, Я.А. Федоровых, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2011.

References

1. Osnovnye polozheniya materialov po obosnovaniyu proekta general'nogo plana goroda Permi. Kratkaya poyasnitel'naya zapiska [Main provisions of the materials to substantiate the draft master plan for the city of Perm. A brief explanatory note]. Perm: Administraciya goroda Permi, 2010, 117 p.

2. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V., Sychkina E.N. Inzhenernaya geologiya i mekhanika gruntov [Engineering Geology and Soil Mechanics]. Perm: Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2009, 36 p.

3. Tatyannikov D.A., Davlyatshin K.P., Fedorovych Ya.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniyu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya peschanogo gruntovogo osnovaniya s

pomoshchjyu shtampovykh ispytaniy [Planning an experiment to study the stress-strain state of the sandy soil foundation using tests of die]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2011, pp. 105-109.

Об авторах

Новиков Владислав Валентинович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (e-mail: vldslv92@yandex.ru).

Бочкарева Татьяна Михайловна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (e-mail: tsp-btm@mail.ru).

About the authors

Novikov Vladislav Valentinovich (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: vldslv92@yandex.ru).

Bochkareva Tatyana Mikhaelovna (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: tsp-btm@mail.ru).

Получено 09.04.2014