

УДК 624.157.2

В.В. Новиков, Т.М. Бочкарева, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАБОТЫ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА ИЗ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК С ОПОРНЫМИ ОБОЛОЧКАМИ НА ОСНОВАНИЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ПРОЦЕССАМ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрены проблемы фундаментостроения в сложных инженерно-геологических условиях Перми и Пермского края. Предложена новая конструктивная форма фундамента для территорий с развитыми процессами карстообразования, представляющая собой ленточный фундамент в виде перекрестных железобетонных балок, под узлами пересечения которых установлены цилиндрические оболочки. Приведены результаты модельных штамповых испытаний предложенной конструкции.

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

Сложные инженерно-геологические условия и особенности строения грунтов в Пермском крае приводят к необходимости поиска новых конструктивных решений фундаментов. Зачастую грунтовые напластования имеют сложное строение с точки зрения использования их в качестве основания для зданий и сооружений. Большинство грунтов имеют высокую деформативность и низкую несущую способность при восприятии внешних нагрузок. Дополнительные сложности возникают в связи с развитыми на территории Пермского края опасными экзогенными геологическими процессами, в частности широко распространены процессы карстообразования¹. Распространенность карстовых процессов на территории Пермского края достигает 45,9 тыс. км², т.е. треть всей территории (160,6 тыс. км²) [1].

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

В связи с этими обстоятельствами при строительстве зданий и сооружений не всегда рационально применять типовые решения в виде ленточного, плитного или свайного фундаментов. Устройство классических фундаментов на грунтах с названными особенностями приводит к высокой материалоемкости и низкой удельной несущей способности.

В отечественной и зарубежной практике продолжается поиск рациональных конструктивных решений фундаментов для зданий и сооружений различного назначения. Одним из приоритетных направлений 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. Реализация вышеприведенных принципов для фундаментов под отдельные опоры и для сплошных фундаментов возможна путем применения в них различных видов тонкостенных конструкций – фундаментов-оболочек.

Целью теоретических исследований был поиск конструкций фундаментов, применяемых при строительстве в районах, подверженных процессам карстообразования, а также фундаментов, позволяющих вовлечь в работу наибольший массив грунта и получить более равномерное напряженное состояние массива грунта в основании фундамента.

В научной литературе по данным вопросам отмечена эффективность ленточных фундаментов, предназначенных для закарстованных территорий, а также равномерность распределения контактных давлений на границе фундаментов-оболочек с грунтовым основанием. На основе этого предложена новая рациональная конструкция фундамента. Она представляет собой ленточный фундамент в виде перекрестных железобетонных ба-

лок, под узлами пересечения которых установлены цилиндрические оболочки. Данное решение, по мнению авторов, должно объединить в себе достоинства как ленточных фундаментов, так и фундаментов оболочек.

С целью выявления характера взаимодействия предложенной конструкции фундамента с грунтовым основанием, подверженным процессам карстообразования, проведены экспериментальные исследования. Задачи исследования:

1) изучить взаимодействие цилиндрических фундаментов-оболочек и ленточного фундамента с грунтовым основанием, в массиве которого находится карстовая полость, и определить зависимость осадки от прикладываемой нагрузки на штамп;

2) сравнить работу обычного ленточного фундамента и фундамента в виде балок, уложенных на цилиндрические оболочки с грунтовым основанием, в массиве которого находится карстовая полость.

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. Стенд позволяет проводить в условиях плоской и осесимметричной деформации испытания модели ленточного фундамента. Расстояние между подошвой штампа и дном лотка составляло не менее 6 ширин штампа, а расстояние до стенок лотка – не менее 3 ширин штампа, что предотвращало их взаимовлияние. Нагружение штампа производилось автоматизированно, с заданными параметрами на компьютере, при помощи пневмокомпрессора. Управление процессом испытаний выполняется автоматически с использованием программы Geotek-АСИС3.2. Нагружение производилось до осадок 20–25 мм. Максимальное давление на основание составляло до 350 кПа или до выпора грунта из-под штампа.

Принятые приближения моделирования эксперимента:

1. Штамп (шириной 50 мм) рассматривается как ленточный фундамент (шириной 1,5 м). В качестве модели фундамента-оболочки использовалась жесткая оболочка отлитая из эпоксидной смолы размером $D_{\text{наруж}} = 75$ мм и $d_{\text{внутр}} = 60$ мм. Данная оболочка рассматривается как фундамент $D_{\text{наруж}} = 2,25$ м и $d_{\text{внутр}} = 1,8$ м. В обоих случаях применен масштаб 1:30.

2. В качестве грунта используется песок, который рассматривается как некоторая однородная среда. При проведении модельных экспериментов в качестве грунтового основания использовался песок [2] с конкретными физико-механическими характеристиками (табл. 1). Согласно ГОСТ 12536–79 песок является однородным.

Таблица 1

Физико-механические характеристики песка

Характеристика	Обозначение, ед. измерения	Значение характеристики
Плотность грунта	ρ , г/см ³	1,63
Плотность частиц грунта	ρ_s , г/см ³	2,65
Удельный вес грунта	γ , кН/м ³	15,974
Удельный вес частиц грунта	γ_s , кН/м ³	25,97
Коэффициент пористости	e , кПа	0,63
Пористость	n	0,385
Удельное сцепление	c , кПа	2,4
Угол внутреннего трения	ϕ , град	32,8
Модуль общей деформации	E_0 , МПа	32,67

3. Грунт содержит карстовую полость, расположенную в центре грунтового массива непосредственно под штампом (моделью фундамента) на глубине 100 мм, что соответствует глубине 3 м в реальных условиях.

4. Модель карстовой полости принята диаметром 100 мм, что соответствует диаметру 3 м в реальных условиях [3].

5. Поэтапное нагружение штампа моделирует поэтапное возведение здания.

6. При некоторой нагрузке объем модели карстовой полости деформируется, моделируя аварийную ситуацию, а именно провал массива грунта, располагаемого над карстовой полостью.

Для выполнения поставленных задач было проведено три серии экспериментов:

1) модель ленточного фундамента на грунтовом основании, в массиве которого находится карстовая полость (рис. 1, а);

2) модель фундамента-оболочки (с заполнением внутренней полости оболочки грунтом, идентичным основанию) на грунтовом основании, в массиве которого находится карстовая полость (рис. 1, б);

3) модель предложенной конструкции фундамента на грунтовом основании, в массиве которого находится карстовая полость (рис. 1, в).

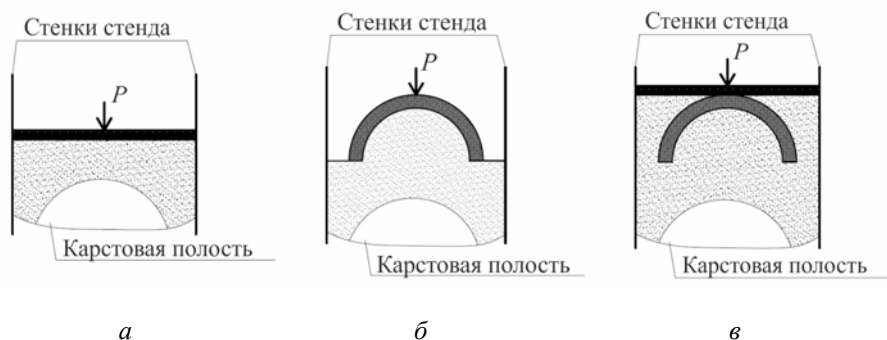


Рис. 1. Варианты постановки штампов на грунтовое основание с карстовой полостью

По результатам проведенных экспериментов (табл. 2) получена зависимость 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		
		серия 1	серия 2	серия 3
1	0	0	0	0
2	15	-0,682	-0,09	-0,2915
3	30	-1,102	-0,269	-0,812
4	45	-1,915	-0,873	-1,4775
5	60	-2,364	-1,27	-1,784
6	75	-2,79	-1,693	-2,1825
7	90	-3,245	-2,066	-2,521
8	105	-5,722	-2,381	-2,9795
9	120	-22,186	-2,87	-3,931
10	135	–	-4,24	-4,569
11	150	–	-23,74	-6,6235
12	165	–	–	-21,07

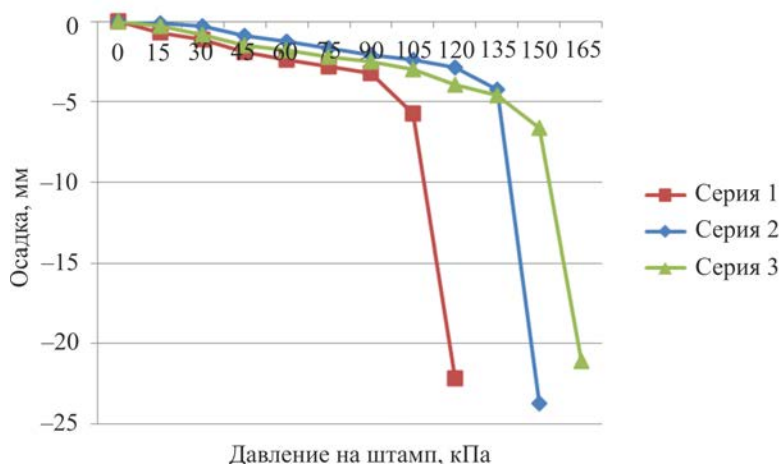


Рис. 2. Зависимость осадки от нагрузки

В результате анализа данных исследования можно сделать *выводы*:

1. Применение в фундаментах тонкостенных конструкций, заполненных грунтом, типа оболочек позволяет частично увеличить рабочую площадь массива грунта и снизить деформации сооружения.

2. Применение ленточного фундамента в виде перекрестных железобетонных балок, под узлами пересечения которых установлены цилиндрические оболочки, предназначенного для оснований, подверженных процессам карстообразования, позволяет увеличить несущую способность классического фундамента до 40 %, при этом на 5–10 % происходит уменьшение осадки.

Библиографический список

1. Основные положения материалов по обоснованию проекта Генерального плана города Перми: краткая поясн. записка / администрация г. Перми. – Пермь, 2010. – 117 с.
2. Пономарев 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. Кобыща О.Е., Бочкарева Т.М. Моделирование систем армирования массива грунта в качестве противокарстового мероприятия // Известия КГАСУ. – 2013. – № 4. – С. 139–146.

References

1. Osnovnye polozheniya materialov po obosnovaniyu proekta Generalnogo plana goroda Permi [Basic provisions of materials on justification of the draft of the master plan of the city of Perm]. Perm, 2010.117 p.
2. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V., Sychkina E.N. Inzhenernaya geologiya i mekhanika gruntov [Engineering geology and mechanics of soil]. Permsky gosudarstvennyi tekhnichesky universitet, 2009. 36 p.
3. Kobysheva O.E., Bochkaryov T.M. Modelirovanie system armirovaniya massiva grunta v kachestve protivokarstovogo meropriyatiya [Modeling of systems of reinforcing of the massif of soil as antkarst action]. *Izvestiya KGASU*. Kazan, 2013, no. 4, pp. 139–146.

Получено 30.09.14

V. Novikov, T. Bochkaryova, A. Ponomarev

RESEARCH OF KIND OF WORK OF THE TAPE BASE FROM CROSS BEAMS WITH BASIC COVERS ON THE BASES SUBJECT TO KARSTOOBRAZOVANIYA'S PROCESSES

Article is devoted to foundation engineering problems in difficult engineering-geological conditions of Perm and Perm Krai. The new constructive form of the base for territories with the developed processes the karstobrazovaniya representing the tape base in the form of cross ferroconcrete beams under which knots of crossing, cylindrical covers are established is offered. Results model the shtampovykh of tests of the offered design are given

Keywords: karstobrazovaniye processes; tape bases; bases covers; the tape base from the cross ferroconcrete beams laid on cylindrical covers.

Новиков Владислав Валентинович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vldslv92@yandex.ru).

Бочкарева Татьяна Михайловна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tsp-btm@mail.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Novikov Vladislav (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department “Building production and geotechnics”, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: vldslv92@yandex.ru).

Bochkaryova Tatyana (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department “Building production and geotechnics”, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: tsp-btm@mail.ru).

Ponomaryov Andrey (Perm, Russian Federation) – Doctor of Engineering, professor, Head of the Department “Building production and geotechnics”, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: tsp-btm@mail.ru).