

УДК 699.8:551.448

О.Е. Кобыща, Т.М. Бочкарева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЫ

Рассмотрены вопросы, касающиеся строительства зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края, а также проектирования противокарстовой защиты. Данная тема заслуживает внимания, поскольку карстовые районы широко распространены на территории России и относятся к районам с особыми условиями строительства. Особое внимание уделено армированию грунта. Также приводится описание экспериментального исследования.

Ключевые слова: закарстованные территории, противокарстовая защита, противокарстовые мероприятия, армирование грунта, условия строительства.

В последнее время наблюдается тенденция увеличения объемов и темпов строительства в Пермском крае, в связи с этим, все чаще приходится использовать территории, считавшиеся непригодными, например закарстованные.

Карстующиеся породы широко представлены на территории Пермского края. Общая площадь карстовых районов составляет 45,9 тыс. км², т.е. треть территории края (160,6 тыс. км²). Для разработки стратегии освоения природных ресурсов, строительства зданий и сооружений различного назначения, а также их защиты от карстовых процессов необходимо изучение закономерностей распределения карстующихся пород как по краю в целом, так и для отдельных административных районов.

Анализ научных трудов по данной тематике показал, что существует множество неизученных факторов влияния разных стадий карстообразования на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Например, ввиду отсутствия нормативных документов по выбору противокарстовой защиты изыскательские и проектные организации не учитывают в должной мере природу карстового процесса и необходимые параметры при выборе вида противокарстовой защиты.

Следовательно, решение задач по повышению эффективности инженерной защиты строящихся и эксплуатируемых объектов от опасных деформаций, возникающих вследствие развития карстовых процессов, является весьма актуальной.

Объемы противокарстовых мероприятий в различных условиях могут существенно отличаться: в некоторых случаях выполнение их нецелесообразно, так как стоимость мероприятий может составлять значительную часть сметной стоимости проектируемого объекта. Проблема противокарстовой защиты является не только технической или инженерно-геологической, но и экономической задачей [1].

Противокарстовые мероприятия следует предусматривать при проектировании зданий и сооружений на территориях, в геологическом строении которых присутствуют растворимые горные породы (известняки, доломиты, мел, обломочные грунты с карбонатным цементом, гипсы, ангидриты, каменная соль). Противокарстовые мероприятия также необходимы на территориях, имеющих карстовые проявления на поверхности (карры, поноры, воронки, котловины, карсто-эрозионные овраги, поля) или в глубине грунтового массива (разуплотнения грунтов, полости, каналы, галереи, пещеры, включения).

В результате анализа исследуемого вопроса автором разработаны схемы [2] с целью создания общей классификации противокарстовых мероприятий, выявления эффективных областей их использования и определения основных направлений исследований.

Основная опасность карста для инженерных сооружений заключается в образовании провалов. В большинстве случаев основными источниками провалов являются карстовые полости, и, следовательно, прогноз карстоопасности должен заключаться в обнаружении полостей в толще пород, определении их размеров, оценке возможности образования провала на земной поверхности и срока службы сооружения в зоне развития карста. Однако в практике инженерных изысканий отсутствуют геофизические методы обнаружения карстовых полостей при глубине их залегания более 20–30 м.

Выбор инженерной защиты зданий и сооружений от вредного влияния карста производится из принципа «поражаемости территории или отдельных ее частей с той или иной вероятностью». Дискретный характер проявления карста рассматривается как объективное отражение стохастического характера карстового процесса и как мера неопределенности наших знаний о возможности образования карстовых деформаций на той или иной площади в течение определенного срока. Неопределенность ситуации может быть разрешена проведением специальных изысканий (бурение, геофизические методы локализации

карстовых полостей и т.д.), в результате которых первоначальное значение вероятности повреждения может быть изменено в большую или меньшую сторону.

Во многих случаях противокарстовые мероприятия, особенно мероприятия конструктивного характера, служат своеобразной компенсацией за недостаточную инженерно-геологическую информацию. Используя вероятностные оценки при проектировании противокарстовой защиты, следует учитывать многие факторы: определение плотности застройки, сравнение вариантов застройки, определение расчетного размера карстового провала при проектировании конкретного сооружения и др.

В практике проектирования зданий и сооружений в карстовых районах из всех противокарстовых мероприятий конструктивные мероприятия являются самыми распространенными, поскольку оценка карстоопасности территорий основывается на вероятностном подходе, объективно отражающем реально достигнутый уровень инженерных изысканий (особенно в части обнаружения подземных карстовых форм на глубинах больше 20–30 м), в связи с чем всегда возникает большая или меньшая неопределенность образования карстовых деформаций как во времени, так и в пространстве. Конструктивные противокарстовые мероприятия обеспечивают надежность сооружений и в определенной мере компенсируют наше «недостаточное знание» о времени и месте образования карстовых деформаций.

В ряде случаев конструктивные противокарстовые мероприятия являются единственно возможными для обеспечения абсолютной надежности объекта (например, устройство фундаментов глубокого заложения с опиранием их на породы, залегающие ниже карстующихся). Локальные карстовые деформации (провалы, проседания), представляющие основную опасность для зданий и сооружений, имеют сравнительно небольшие размеры в плане, что позволяет использовать конструкции, перекрывающие локальные деформации. На закарстованных территориях, где возможны оседания земной поверхности на относительно больших площадях, также возможно применение конструктивных мероприятий; аналогом этих мероприятий могут быть конструктивные решения по защите зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.

Наиболее эффективная защита зданий и сооружений от влияния карста может быть достигнута за счет комплекса противокарстовых мероприятий, проводимых в предпостроечный, строительный и эксплуатационный периоды. Это относится прежде всего к размещению объектов на участках с повышенной карстоопасностью. Непременным элементом этого комплекса должны быть конструктивные защитные мероприятия, которые в итоге воспринимают воздействия от карстовых деформаций при отказе в полной мере других элементов комплекса мероприятий.

На основании анализа специальной и нормативной литературы было проведено сравнение характеристик следующих противокарстовых мероприятий: тампонажные работы; устройство специальных фундаментов мелкого заложения; применение геосинтетических материалов (армирование грунта) [3]. В дальнейшем исследовании рассматривались методы армирования массива грунта.

Объектом исследования является грунт, содержащий растворимые горные породы карстового происхождения, а также карстовые полости.

В качестве количественной оценки влияния карста на строительный объект принят показатель осадки земной поверхности, выделенный из ряда подобных определений, таких как просадки, подъемы и осадки, оседания, горизонтальные перемещения, провалы.

Целью эксперимента является оценка эффективности предлагаемой системы армирования грунта в качестве противокарстового мероприятия.

Экспериментальные исследования включают в себя два цикла испытаний. Оба цикла представляют собой маломасштабные модельные штамповые испытания: первый цикл заключается в моделировании карстовой полости, второй цикл – в моделировании систем армирования грунта над зоной карстовой полости.

Задачи моделирования:

- получить зависимости величины осадки грунта в объеме, включающего карстовую полость, от заданного давления на рассматриваемый массив грунта;
- определить осадку грунта;
- выявить характер изменения зависимости исследуемых параметров;

– определить рациональность применения моделируемого вида армирования.

Экспериментальные исследования проводились на материально-технической базе Экспертной лаборатории при кафедре «Строительное производство и геотехника».

Согласно теории подобия модели были учтены такие условия подобия, как геометрическое, механическое и силовое.

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 – жесткого штампа размерами 156×50 мм.

Расстояние между подошвой штампа и дном лотка выдерживается не менее шести ширин штампа, а расстояние до стенок лотка не менее трех ширин штампа для предотвращения их взаимовлияния.

Стенд представляет собой плоский лоток с прозрачными передней и задней стенками, выполненными из оргстекла толщиной 50 мм.

Внешняя нагрузка создается установкой степенями при помощи компрессора под управлением пневмоцилиндра, и может прикладываться как вдавливающее, так и выдергивающее усилие вертикально или наклонно, с углом наклона до 60° от вертикали. Вертикальное перемещение модели фундамента измеряется датчиком перемещения, а нагрузка – датчиком силы.

Управление процессом испытаний выполняется автоматически с использованием программы Geotek-АСИС3.2.

Принятые приближения:

1. Штамп (шириной 50 мм) рассматривается как ленточный фундамент (шириной 1,5 м), т.е. применен масштаб 1:30.

2. В качестве грунта используется песок, который рассматривается как некоторая однородная среда.

3. Грунт содержит карстовую полость, расположенную в центре грунтового массива непосредственно под ленточным фундаментом.

4. В качестве карстовой полости используется объем резинового шарика, наполненного воздухом до диаметра, равного 120 мм, что соответствует 3,6 м в реальных условиях.

5. Поэтапное нагружение штампа моделирует поэтапное возведение здания.

6. При некоторой нагрузке создается аварийная ситуация – под зданием образуется карстовый провал (объем шарика деформируется).

Порядок проведения 1-го цикла испытаний:

1. Снималась верхняя часть установки и в установку отсыпали грунт слоями толщиной 2 см ($0,4b = 0,4 \cdot 50 = 20$ мм) с цветными прослойками из инертного материала (белый кварцевый песок) толщиной, пренебрежимо малой по сравнению с толщиной песка (≈ 1 мм).

Прослойки выполнялись до глубины, на которой сказывается влияние сжимающих напряжений интенсивностью 0,1 внешней нагрузки, т.е. до глубины $6b$ ($6b = 6 \cdot 50 = 300$ мм).

В процессе отсыпки песка выполнялся контроль плотности создаваемой толщи статическим плотномером СПГ-1 методом пенетрации в трех точках. Показания плотномера для рыхлого основания должно быть равно $P_g = 0$, для плотного $18 \leq P_g \leq 20$. При измерении плотности среднее показание составляет $P_g = 18$.

2. В центре грунтового массива, непосредственно под фундаментом, располагался резиновый шар, заполненный воздухом до диаметра 120 мм, и перекрывался песком (рис. 1) в процессе полного заполнения установки.

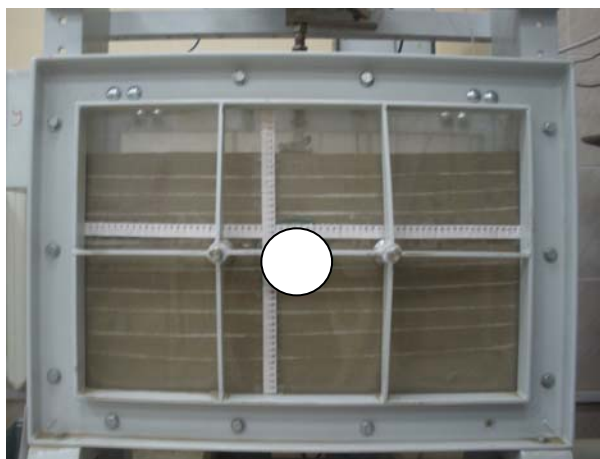


Рис. 1. Фотография до проведения испытаний

3. После полной отсыпки установки песком до нормативной высоты устанавливался жесткий штамп в начальное положение и запус-

калась программа Geotek-АСИС3.2 (управление процессом испытаний выполняется автоматически).

4. При некоторой нагрузке происходил провал (рис. 2), после чего наблюдение продолжалось.

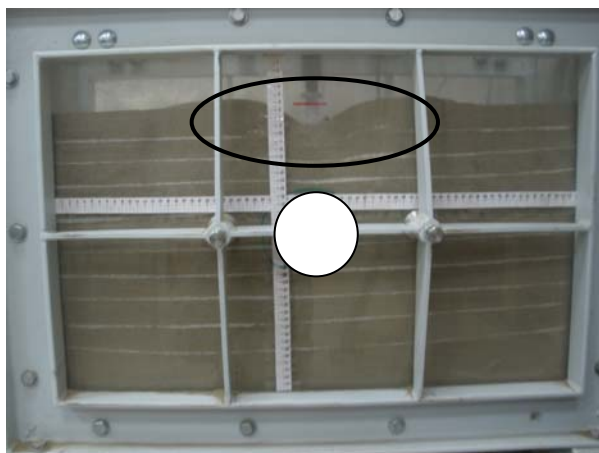


Рис. 2. Фотография после образования провала

5. Результатом обработки полученных данных является построенный график зависимости «осадка – давление».

Проведено 10 испытаний, в результате которых выбрано значение ступеней нагрузки 15 кПа. Пробные испытания со значениями ступеней 20 и 25 кПа показали, что точек для построения графика недостаточно для выявления зависимостей, требующих анализа.

Первое испытание являлось пробным, проводимым с целью освоения установки.

В процессе двух следующих испытаний происходило сдувание шарика через трубку, непосредственно с ним связанную, при нагрузке, равной 100 кПа, т.е. карстовая полость образовывалась искусственно, при этом датчик перемещений не мог дать адекватные показания; иными словами, осадка автоматически не замерялась. Было решено выполнять испытания, замеряя осадку штампа при каждой ступени давления и значение давления, при котором происходил провал.

Нагрузка на штамп увеличивалась ступенями давлений $\Delta p = 0,015$ МПа. Каждая ступень давления выдерживается до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа). За критерий ус-

ловной стабилизации деформации принимается скорость осадки штампа, не превышающая 0,1 мм за время $t = 1$ ч.

В результате пяти проведенных опытов по одной схеме нагружения были отброшены крайние значения параметров: минимальное и максимальное. После определения среднего значения серии трех опытов (табл. 1) построен усредненный график зависимости «осадка – давление» (рис. 3).

Т а б л и ц а 1

Зависимость осадки от давления (средние значения)

Номер ступени	Давление, кПа	Среднее значение
1	0	0
2	15	-0,483
3	30	-0,943
4	45	-1,382
5	60	-1,751
6	75	-2,044
7	90	-2,512
8	105	-2,971
9	120	-3,533
10	135	-4,148
11	150	-4,831
12	165	-5,122
13	180	-22,187

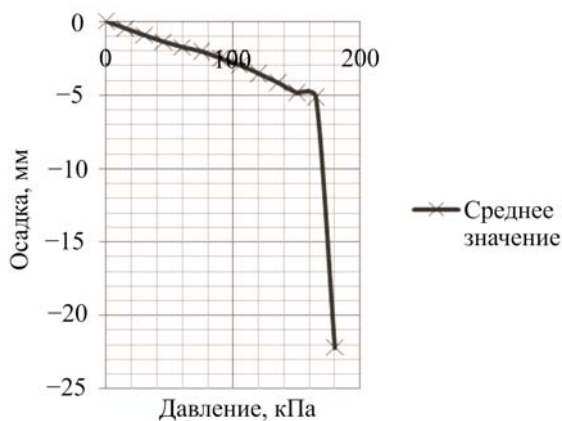


Рис. 3. Усредненная зависимость «осадка – давление»

По результатам проводилась аппроксимация части графика до образования провала (рис. 4–6), с целью установления действительного характера функции, описывающей нагружение штампа.

В качестве аппроксимирующих функций использовались следующие зависимости:

- линейная (см. рис. 4);
- полиномиальная 2-й степени (см. рис. 5);
- полиномиальная 3-й степени (см. рис. 6).

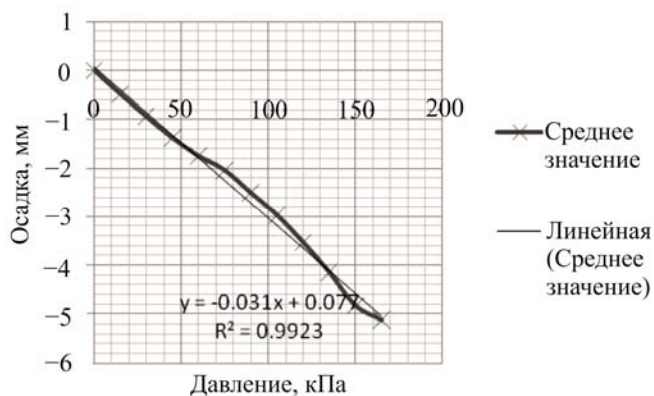


Рис. 4. Аппроксимация графика линейной функцией

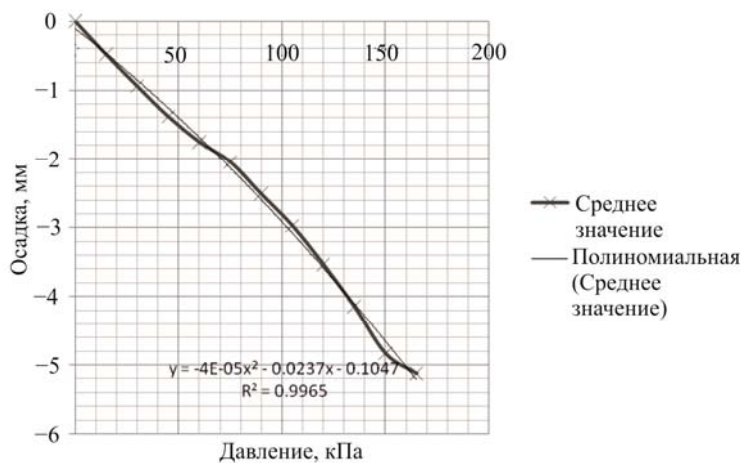


Рис. 5. Аппроксимация графика полиномиальной функцией 2-й степени

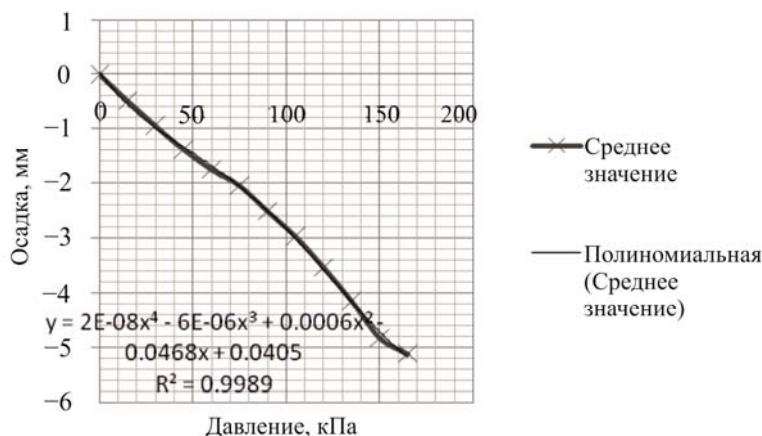


Рис. 6. Аппроксимация графика полиномиальной функцией 3-й степени

Из анализа графиков (см. рис. 4–6) следует, что наиболее точно работу основания, содержащего карстовую полость, отображает полиномиальная функция 3-й степени (см. рис. 6).

В эксперименте второго цикла испытаний планируется сохранить последовательность 1-го цикла, за исключением того, что после создания модели карстовой полости в массив грунта предполагается закладывать армирующую систему.

В качестве системы армирования создана модель из блоков, соединенных между собой связями.

Физический смысл системы армирования приведен на рис. 7.

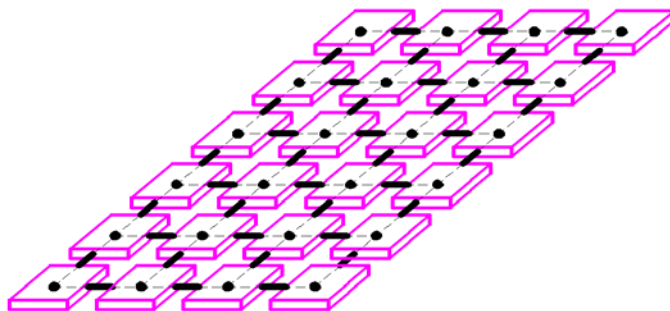


Рис. 7. Предлагаемая система армирования

Анализ полученных и прогнозируемых результатов позволит оценить эффективность предлагаемой системы армирования, запроектировать его оптимальные параметры и глубину заложения.

Планируется разработка методических рекомендаций по проектированию исследуемого способа противокарстовой защиты.

Библиографический список

1. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты / Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с.

2. Бочкарева Т.М., Кобыща О.Е. Исследование методов противокарстовой защиты территорий Пермского края // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 г. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – Т. 4. – С. 94–104.

3. Бочкарева Т.М., Кобыща О.Е. Оптимизация противокарстовых мероприятий для различных категорий карстовой опасности территории применительно к Пермскому краю // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: сб. трудов рос. конф. с междунар. участием. – Уфа, 2012. – Разд. 1. – С. 161–166.

О.Е. Kobyscha, Т.М. Bockkareva

MODELLING OF ANTIKARSTIC PROTECTION

The questions concerning construction of buildings and constructions in karst area of Perm region, and also design of karst safety are considered. This subject deserves attention as karst areas are widespread in the territory of Russia and treat areas with special conditions of construction. The special attention is paid to soil reinforcing. They also describe an experimental study.

Keywords: karst area, karst safety, antikarstic actions, soil reinforcing, conditions of construction.

Сведения об авторах

Кобыща Оксана Евгеньевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: kokosanik@mail.ru).

Бочкарева Татьяна Михайловна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: tsp-btm@mail.ru).

About the authors

Kobyscha Oksana Evgenievna (Perm, Russia) – postgraduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: kokosanik@mail.ru).

Bochkareva Tatyana Mikhaylovna (Perm, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: tsp-btm@mail.ru).

Получено 18.03.2013