

УДК 699.8:551.448

О.Е. Кобыща, Т.М. БочкареваПермский национальный исследовательский
политехнический университет**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОТИВОКАРСТОВОЙ
ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Рассмотрены вопросы, касающиеся строительства зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края, а также проектирования противокарстовой защиты. Особое внимание уделено армированию грунта. Также приводится описание экспериментального исследования.

Ключевые слова: закарстованные территории, противокарстовая защита, противокарстовые мероприятия.

В последнее время наблюдается тенденция к увеличению объемов и темпов строительства в Пермском крае. Соответственно все чаще приходится использовать под строительство территории, считавшиеся ранее непригодными, например, закарстованные.

Общая площадь карстовых районов – 45,9 тыс. км², т.е. они занимают почти треть территории Пермского 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 изучить пространственные закономерности распределения карстующихся пород как по Пермскому краю в целом, так и для отдельных административных районов.

Анализ существующих научных трудов по данной тематике показал, что существует множество неизученных вопросов в области строительства зданий и сооружений на закарстованных территориях. 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. Следствием ошибок является недостаточность противокарстовой защиты, приводящая к авариям или повреждениям зданий и сооружений под действием карстовых деформаций; излишняя

противокарстовая защита вызывает повышение стоимости строительства [1]. Следовательно, решение задачи повышения эффективности инженерной защиты строящихся и эксплуатируемых объектов от вредного влияния карстовых процессов является весьма актуальным.

Под *эффективностью противокарстовой защиты* понимается соотношение между фактически достигнутым и нормированным сроком службы здания или сооружения с учетом определенных параметров (фактической и допустимой надежностью, величиной вероятного ущерба и капиталовложениями в противокарстовую защиту, фактическим и нормированным коэффициентом опасности карстовой полости и т.д.) [1].

Сложность природы карстового процесса и многообразие видов противокарстовой защиты требуют взаимоувязанности действий на этапах проведения изысканий и проектирования, а также своевременного взаимного корректирования. Реализация эффективных решений противокарстовой защиты возможна лишь при условии рассмотрения вопросов изысканий, оценки карстоопасности, проведения проектирования, строительства и должный надзор при эксплуатации зданий и сооружений в рамках единой системы.

Противокарстовые мероприятия – специальные инженерные мероприятия планировочного, конструктивного, строительно-технологического, эксплуатационного, геотехнического, гидрогеологического характера, направленные на предотвращение повреждений сооружений вследствие образования карстовых деформаций или уменьшение вероятности таких повреждений (по ТСН 22-304–06 «Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края»).

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, карстово-

эрозионные овраги, поля) или в глубине грунтового массива (разуплотнения грунтов, полости, каналы, галереи, пещеры, вклюдзы).

В результате изучения и анализа состояния исследуемого вопроса авторами разработаны блок-схемы [2] с целью создания общей классификации противокарстовых мероприятий и выявления эффективных областей их использования.

Основная опасность карста для инженерных сооружений заключается в образовании провалов. В большинстве случаев основными источниками провалов являются карстовые полости, 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. В связи с этим особенностью выбора инженерной защиты зданий и сооружений от вредного влияния карста является то, что, несмотря на преимущественно дискретный характер проявления карста (провалы, полости), оценка его опасности для сооружений производится из принципа «поражаемости территории или отдельных ее частей с той или иной вероятностью». Данный показатель 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. Эта неопределенность может быть уменьшена проведением специальных изысканий (бурение, геофизические методы локализации карстовых полостей и т.д.). В результате таких изысканий 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, определения расчетного размера карстового провала при проектировании конкретного сооружения и др.

В практике проектирования зданий и сооружений в карстовых районах конструктивные мероприятия из всех противокарстовых мероприятий 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, это позволяет использовать большие 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 при применении комплекса противокарстовых мероприятий в предпостроечный, строительный и эксплуатационный периоды. 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.

Основной задачей конструктивной противокарстовой защиты является предупреждение катастрофического разрушения зданий и сооружений при образовании в их основании карстовых деформаций в течение определенного срока, позволяющего принять меры по эвакуации людей и ценного оборудования, а также по прекращению прогрессирующего разрушения.

На основании анализа специальной и нормативной литературы было проведено сравнение характеристик следующих противокарстовых мероприятий [3]:

1. Тампонажные работы.

2. Устройство специальных фундаментов мелкого заложения.

3. Применение геосинтетических материалов (армирование грунта).

Для дальнейшего исследования были выбраны методы армирования массива грунта.

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.

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

Перед проведением экспериментов были поставлены следующие задачи:

1) получить графические зависимости величины осадки грунта в объеме, включающего в себя карстовую полость от заданного давления на рассматриваемый массив грунта;

2) определить осадку грунта;

3) провести сравнительный анализ результатов двух циклов испытаний;

4) выявить характер изменения зависимости исследуемых параметров;

5) определить рациональность применения моделируемого вида армирования.

Модельные эксперименты проводятся на материально-технической базе экспертной лаборатории при кафедре «Строительное производство и геотехника».

Согласно теории подобия, для аналогии между моделью и объектом моделирования были приняты следующие условия подобия: 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 6 ширин штампа, а расстояние до стенок лотка – не менее 3 ширин штампа для предотвращения их взаимовлияния. Общий вид устройства для штамповых испытаний моделей приведен на рис. 1, 2.



Рис. 1. Стенд для испытания



Рис. 2. Конструкция загрузочного устройства

Стенд представляет собой плоский лоток с прозрачными передней 1 и задней 2 стенками, выполненными из оргстекла толщиной 50 мм. Для исключения прогиба прозрачных стенок применены две стальные решетки 3, в узлах которых находятся опорные шайбы 4.

Внешняя нагрузка (например, плоский штамп) создается ступенями при помощи компрессора под управлением пневмоцилиндра (см. рис. 2) и может прикладываться как вдавливающая, так и выдергивающая 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.

Приняты следующие допущения:

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 надутый резиновый шарик;

5) поэтапное нагружение штампа моделирует поэтапное возведение здания;

6) при некоторой нагрузке создается аварийная ситуация: под зданием образуется карстовый провал (шарик деформируется).

Порядок проведения 1-го цикла испытаний:

1. В установку отсыпался грунт слоями толщиной 2 см ($0,4 \cdot b = 0,4 \cdot 50 = 20$ 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 от внешней нагрузки, т.е. на глубине $6 \cdot b$ ($6 \cdot b = 6 \cdot 50 = 300$ мм).

2. В центре грунтового массива, непосредственно под фундаментом, укладывался надутый резиновый шар и продолжалась засыпка песком (рис. 3).

3. После полной отсыпки песка закреплялся двигатель, устанавливался жесткий штамп в начальное положение, и запускалась программа Geotek-АСИС3.2 (управление процессом испытаний выполняется автоматически).

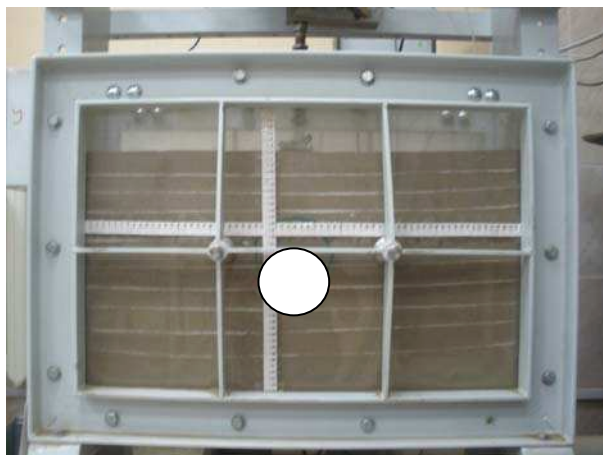


Рис. 3. Модель грунтового массива до проведения испытаний

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

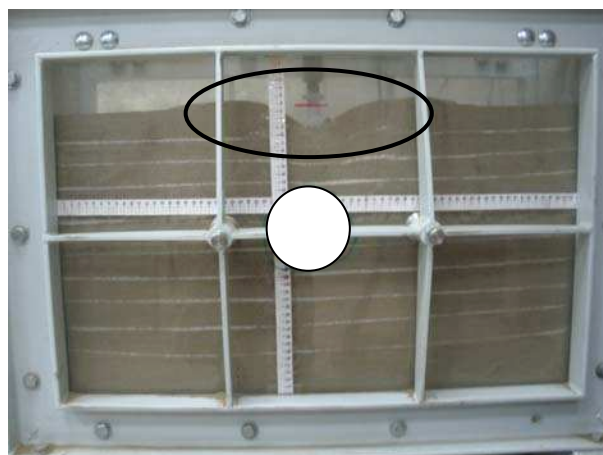


Рис. 4. Модель грунтового массива после испытания

5. После проведения испытания полученные данные были обработаны и построена зависимость осадка–давление (рис. 5).

При проведении 2-го цикла испытаний соблюдается последовательность выполнения 1-го цикла, но после закладки надутого шарика необходимо уложить армирующую систему.

В качестве системы армирования планируется применения набора блоков, соединенных между собой связями.

Физический смысл системы армирования показан на рис. 6.

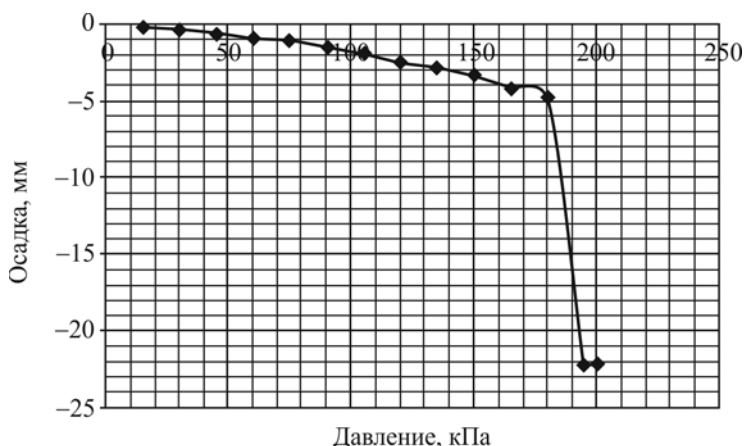


Рис. 5. Зависимость осадка–давление

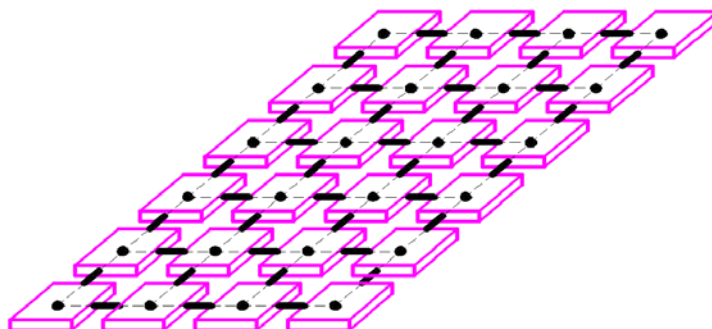


Рис. 6. Предлагаемая система армирования

Анализ полученных 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 / Произв. и науч.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в стр. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с.
2. Бочкарева Т.М., Кобыща О.Е. Исследование методов противокарстовой защиты территорий Пермского края // Мо-

дернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 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. тр. Рос. конф. С междунар. участием. – Уфа, 2012. – Разд. 1. – С. 161–166.

References

1. Rekomendatsii po ispolzovaniyu inzhenerno-geologicheskoy informatsii pri vybore sposobov protivokarstovoy zaschity [Recommendations for the use of engineering and geological information in choosing ways protivokarstovoy protection]. Proizvodstvennyy i nauchno-issledovatel'skiy institute po inzhenernym izyskaniyam v stroitel'stve. Moscow: Stroyizdat, 1987. 80 p.

2. Bochkareva T.M., Kobyscha O.E. Issledovanie metodov protivokarstovoy zaschity territoriy Permskogo kraya [Study of methods of protection protivokarstovoy Perm region]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii, posvyaschennyy pobede Rossii v Otechestvennoy voyne 1812g. «Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse»*. Perm: Izd-vo Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo polytekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 4, pp. 94–104.

3. Bochkareva T.M., Kobyscha O.E. Optimizatsiya proyivokarstovykh meropriyatiy dlya razlichnykh kategoriy karstovoy opasnosti territorii primenitelno k Permskomu krayu [Protivokarstovykh optimization activities for the various categories of the karst area in relation to risk Perm region]. *Sbornik trudov Rossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Geotekhnicheskie problemy proektirovaniya zdaniy i sooruzheniy na karstoopasnykh territiriyakh»*. Ufa, 2012, pp. 161–166.

Получено 26.12.2012

O. Kobyscha, T. Bochkareva

**RESEARCH OF METHODS OF ANTIKARSTIC
PROTECTION OF THE TERRITORY OF PERM KRAI**

The questions concerning construction of buildings and constructions in zakarstovanny territories of Perm Krai, and also design of antikarstic protection are considered. The special attention is paid to soil reinforcing. Also the description of a pilot study is provided.

Keywords: zakarstovanny territories, antikarstic protection, antikarstic actions.

***Кобыща Оксана Евгеньевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kokosanik@mail.ru).*

***Бочкарева Татьяна Михайловна** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tsp-btm@mail.ru).*

***Kobyscha Oksana** (Perm, Russia) – graduate student, Department of Construction production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29, e-mail: kokosanik@mail.ru).*

***Botchkaryova Tatiana** (Perm, Russia) – Ph.D., Associate Professor of department of Construction production and geotechnics Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29, tsp-btm@mail.ru).*