

УДК 699.8:551.448

Кобыща О.Е. – студент

E-mail: kokosanik@mail.ru

Бочкарева Т.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: tsp-btm@mail.ru

Пономарёв А.Б. – доктор технических наук, профессор

E-mail: spstf@pstu.ac.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, д. 29

Моделирование систем армирования массива грунта в качестве противокарстового мероприятия

Аннотация

В представленной публикации рассмотрены вопросы по созданию армированных массивов грунта в качестве противокарстового мероприятия, а именно моделирования армогрунтовых оснований ленточных фундаментов. Актуальность данной темы заключается в необходимости усиления оснований фундаментов зданий и сооружений, возводимых на закарстованных территориях Пермского края. В статье приводится описание экспериментального исследования, целью которого является оценка эффективности предлагаемой системы армирования грунта горизонтальными элементами из блоков в качестве противокарстового мероприятия.

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

В последнее время в Пермском крае наблюдается тенденция к увеличению объемов и темпов строительства, как и по всей стране в целом, в связи с развитием строительной отрасли и внедрением современных достижений. Соответственно, всё чаще приходится использовать под строительство территории, считавшиеся ранее непригодными, например, закарстованные.

Карстующиеся породы широко распространены 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 Пермскому краю, так и по отдельным административным районам.

Анализ существующих научных трудов по данной тематике показал наличие множества неизученных факторов влияния карстообразования на разных стадиях его развития на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Ввиду отсутствия нормативных документов по выбору противокарстовой защиты, изыскательские и проектные организации не учитывают, в должной мере, природу карстового процесса и параметры, влияющие на выбор вида противокарстовой защиты.

Следовательно, решение задач по повышению эффективности инженерной защиты строящихся объектов в зонах, предотвращающей вероятностные деформации, возникающие вследствие развития карстовых процессов, является весьма актуальной.

В результате изучения и анализа исследуемого вопроса автором разработана классификация противокарстовых мероприятий (рис. 1, рис. 2), позволяющая выявить эффективные области их использования и определения основных направлений исследований.

В результате аналитической работы, для дальнейшего детального исследования были приняты геотехнические противокарстовые мероприятия (рис. 3).

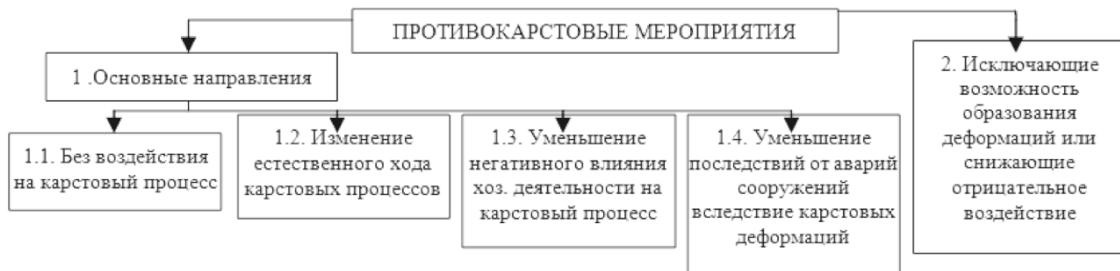


Рис. 1. Классификация основных направлений противокарстовых мероприятий



Рис. 2. Классификация противокарстовых мероприятий, ориентированных на инженерную защиту зданий и сооружений

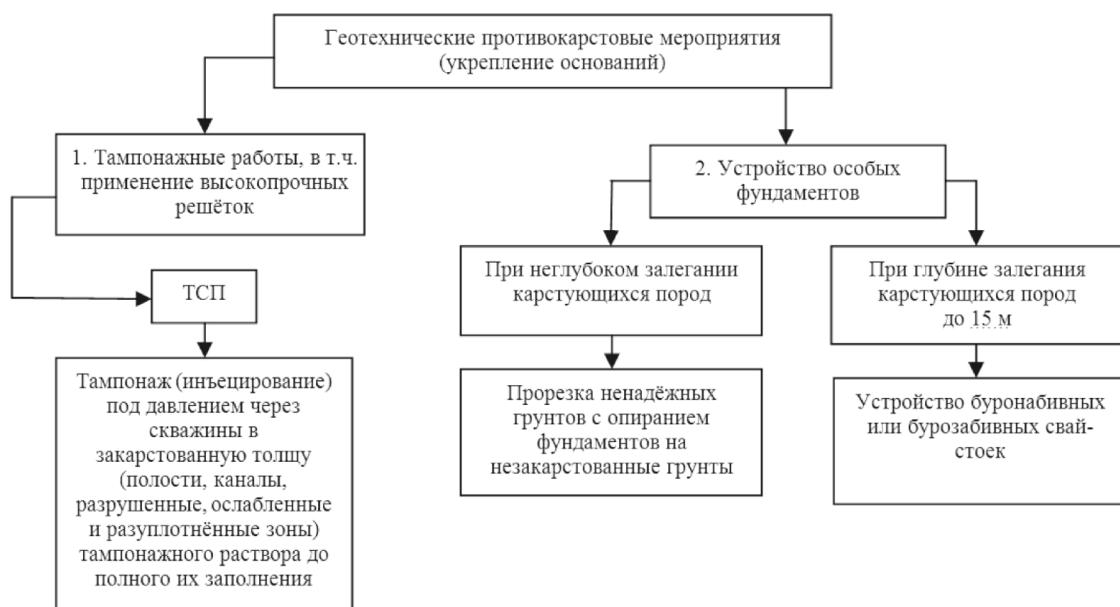


Рис. 3. Геотехнические противокарстовые мероприятия

В результате сравнения противокарстовых мероприятий для исследования были приняты методы армирования массива грунта геосинтетическими материалами и конструктивные решения систем армирования на основе геосинтетики.

Объектом исследования является грунт, содержащий растворимые горные породы карстового происхождения, а также карстовые полости, а целью моделирования – оценка эффективности предлагаемой системы армирования грунта в качестве противокарстового мероприятия.

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.

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

Область задач моделирования включала:

- 1) получение графической зависимости величины осадки грунта в объеме, включающего карстовую полость, от заданного давления на рассматриваемый массив грунта;
- 2) выполнение сравнительного анализа результатов 2-х циклов испытаний;
- 3) выявление характера изменения зависимости исследуемых параметров;
- 4) определение рациональности применения моделируемого вида армирования и его оптимальных параметров.

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

Согласно теории подобия, для аналогии модели и объекта моделирования были выдержаны условия геометрического, механического и силового соотношений.

Устройство для испытаний представляет собой стендовую установку размерами 480x720x156 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 156x50 мм. Расстояние между подошвой штампа и дном лотка выдерживается не менее 6-ти ширин штампа, а расстояние до стенок лотка не менее 3-х 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-ACIS3.2.

Принятые приближения моделирования эксперимента:

1. Штамп (ширина 50 мм) рассматривается как ленточный фундамент (ширина 1,5 м), т.е. применён 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 штампом (моделью ленточного фундамента) на глубине 100мм (3 м – в реальных условиях);
4. В качестве карстовой полости используется объем резинового шарика, наполненного воздухом до диаметра равного 100 мм, что соответствует 3 м в реальных условиях;
5. Поэтапное (ступенчатое) нагружение штампа моделирует поэтапное возведение здания;
6. При некоторой нагрузке объем шарика деформируется, моделируя аварийную ситуацию, а именно провал массива грунта, располагаемого над карстовой полостью.

Порядок проведения 1-ого цикла испытаний:

1. В установку отсыпался грунт слоями толщиной 2 см ($0,4b=0,4 \times 50=20$ 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 оказывается влияние сжимающих напряжений интенсивностью 0,1 внешней нагрузки, т.е. до глубины $6b$ ($6b=6 \times 50=300$ мм). В процессе отсыпки песка выполнялся контроль плотности создаваемой толщи статическим плотномером СПГ-1 методом пенетрации в 3-х точках.
2. В центре грунтового массива, непосредственно под штампом, располагался резиновый шар, заполненный воздухом до диаметра 100 мм, и перекрывался песком в процессе полного заполнения установки.
3. После полной отсыпки установки песком до нормативной высоты, устанавливался жесткий штамп в начальное положение, и запускалась программа Geotek-ACIS3.2 (управление процессом испытаний выполняется автоматически).

Нагрузка на штамп увеличивалась ступенями давлений $\Delta p=15\text{ кПа}$. Каждая ступень выдерживается до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа).

За критерий условной стабилизации деформации принимается скорость осадки штампа, не превышающая 0,1 мм за время $t=1\text{ час}$.

4. При некоторой нагрузке происходил провал, моделирующий деформацию массива грунта над карстовой полостью, после чего экспериментальное наблюдение продолжалось.

Результаты первого цикла испытаний (моделирования карстовой полости) сведены в таблицу, графически «осадка – давление» рис. 4.

В эксперименте второго цикла испытаний сохранялась последовательность 1-ого цикла, за исключением: после создания модели карстовой полости в массив грунта укладывалась армирующая система.

Модель однослойной системы армирования укладывалась в грунт на глубину $0,3x b$ ($0,3x50=15\text{ мм}$, где $b=50\text{ мм}$ – ширина штампа) и представляла собой прямоугольник размерами $3b \times 156\text{ мм}$ ($3x50 \times 156\text{ мм}=150 \times 156\text{ мм}$) [4].

В качестве системы армирования использовались:

1. Геосинтетик Delta-Reflex. 4-х слойная пленка со следующими характеристиками – прочность на разрыв $450/400\text{ Н/5 см}$, – эквивалентная толщина сопротивления диффузии $Sd>150\text{ м}$, вес: 180 г/м^2 .

2. Предлагаемая модель армирования массива грунта, состоящая из керамических блоков $11 \times 11\text{ мм}$, соединённых между собой в единой плоскости гибкими связями.

Предлагаемые автором системы армирования представляют собой:

Вариант № 1. Блоки размером $11 \times 11\text{ мм}$, соединенные по основанию гибкой подложкой (системой связей);

Вариант № 2. Блоки размером $14 \times 14\text{ мм}$, соединенные по основанию гибкой подложкой (системой связей);

Вариант № 3. Блоки размером $11 \times 11\text{ мм}$, соединенные гибкими связями, располагаемыми в одной плоскости внутри блоков по осям их симметрии.

В экспериментальной работе варьировались размеры блоков и расположение гибких связей: в первом случае размещаемых в качестве подложки блоков, во втором случае гибкие связи располагались внутри блоков по осям их симметрии.

Физический смысл работы армирующей системы, состоящей из блоков и связей между ними, заключается в принципе работы каждого блока в качестве отдельного «якоря». В случае смещения системы армирования над карстовой полостью, блоки сближаются до упора по вертикальным граням, обеспечивая принцип работы «замка».

Таблица
Зависимость осадки от давления, при использовании различных вариантов армирования

№	Опыты без армирования		Опыты с геосинтетическим материалом «Delta-Reflex»		Опыты с блоками $11 \times 11\text{ мм}$, соединёнными по основанию (вариант № 1)		Опыты с блоками $14 \times 14\text{ мм}$, соединёнными по основанию (вариант № 2)		Опыты с блоками $11 \times 11\text{ мм}$, соединёнными внутри (вариант № 3)	
	Давление, кПа	Осадка, мм	Давление, кПа	Осадка, мм	Давление, кПа	Осадка, мм	Давление, кПа	Осадка, мм	Давление, кПа	Осадка, мм
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15	-0,483	15	-0,273	15	-0,152	15	-0,184	15	-0,132
3	30	-0,943	30	-0,574	30	-0,454	30	-0,477	30	-0,393
4	45	-1,382	45	-0,953	45	-0,806	45	-0,859	45	-0,716
5	60	-1,751	60	-1,415	60	-1,207	60	-1,286	60	-1,164
6	75	-2,044	75	-1,854	75	-1,642	75	-1,683	75	-1,569

Продолжение таблицы

7	90	-2,512	90	-2,246	90	-1,974	90	-2,036	90	-1,918
8	105	-2,971	105	-2,632	105	-2,274	105	-2,342	105	-2,201
9	120	-3,533	120	-2,989	120	-2,665	120	-2,761	120	-2,604
10	135	-4,148	135	-3,486	135	-3,000	135	-3,138	135	-2,915
11	150	-4,831	150	-3,949	150	-3,331	150	-3,457	150	-3,251
12	165	-5,122	165	-4,519	165	-3,703	165	-3,828	165	-3,636
13	180	-22,19	180	-5,420	180	-4,093	180	-4,199	180	-4,004
14	-	-	195	-6,286	195	-4,474	195	-4,552	195	-4,399
15	-	-	210	-6,968	210	-4,985	210	-5,130	210	-4,887
16	-	-	225	-7,568	225	-5,410	225	-5,564	225	-5,333
17	-	-	240	-22,202	240	-6,187	240	-6,096	240	-6,152
18	-	-	-	-	255	-6,952	255	-22,58	255	-6,635
19	-	-	-	-	270	-22,58	-	-	270	-7,864
20	-	-	-	-	-	-	-	-	285	-22,79

В результате проведённых испытаний моделей массива грунта с карстообразной полостью: 1-ый цикл – без систем армирования грунта; 2-ой цикл – с системами армирования грунта (геосинтетик Delta-Reflex; блоками размером 11x11 мм, соединенными по основанию гибкой подложкой; блоками размером 14x14 мм, соединенными по основанию гибкой подложкой; блоками размером 11x11 мм, соединенными гибкими связями, располагаемыми в одной плоскости внутри блоков по осям их симметрии) были получены зависимости «осадка-давление», которые приведены на рис. 4.

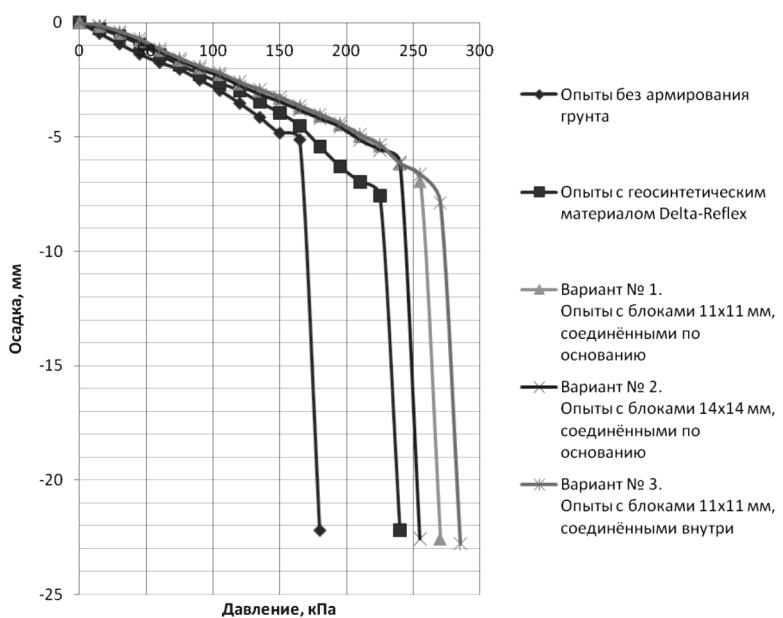


Рис. 4. Сравнение результатов испытаний

Анализ полученных графиков (рис. 4) показал:

- при давлении 180 кПа на поверхности грунта и в его массиве, содержащем воздушную полость, но не включающем противокарстовые системы армирования, образуется провал;
- использование армирующих систем позволяет массиву грунта выдерживать более интенсивные давления до 240-285 кПа;

- эффективными системами армирования грунта, из рассматриваемых, являются модели из блоков, соединённые между собою связями, и обеспечивающие выдерживание давлений до 255-285 кПа;
- из предлагаемых моделируемых систем армирования наиболее эффективными являются системы с блоками меньшего размера, т.е. 11x11 мм (т.к. количество «якорей» получается большим), которые позволяют работать армированному массиву грунта без видимых деформаций до давления 285 кПа.
- уменьшение размеров блоков на 21,5 % (с 14 мм на 11 мм) повышает армирующие качества системы на 6 %;
- расположение гибких связей внутри блоков (по сравнению с расположением по основанию) повышает армирующие качества системы на 6 %.

Физический смысл работы армирующей системы заключается в принципе работы блоков в качестве «якорей», что препятствует их перемещению в грунтах. В случае смещения системы армирования над карстовой полостью, блоки сближаются до упора по вертикальным граням, обеспечивая принцип работы «замка»

В результате проведенных экспериментальных исследований моделей массива грунта с карстообразной полостью и предлагаемыми системами армирования из блоков было установлено, что системы армирования, воспринимающие давление штампа, «разрушаются» по гибким связям. Следовательно, целесообразно, изготавливать гибкие связи из материалов, обладающих высокой прочностью на разрыв.

Основные выводы

1. Авторами предложена общая классификация противокарстовых мероприятий, из которых особое внимание уделено использованию геосинтетических материалов. В результате сравнения характеристик существующих противокарстовых конструктивных систем и мероприятий для исследования были предложены методы армирования массива грунта геосинтетическими материалами и конструктивные решения систем армирования на основе геосинтетики.

2. Анализ результатов, полученных в процессе экспериментальных исследований, показал: при давлении 180 кПа на поверхности грунта и в его массиве, содержащем воздушную полость, но не включающем противокарстовые системы армирования, образуется провал; использование армирующих систем из геосинтетических материалов позволяет массиву грунта выдерживать более интенсивные давления до 240-285 кПа.

3. На основании экспериментальных данных автором установлены наиболее эффективные системы армирования грунта, к которым относятся модели из блоков, соединённые между собою связями. Из предлагаемых моделируемых систем армирования наиболее эффективными являются системы с блоками меньшего размера, т.е. 11x11 мм (т.к. количество якорей получается большим), которые позволяют работать армированному массиву грунта без видимых деформаций до давления 285 кПа. Установлено, что уменьшение размеров блоков на 21,5 % (с 14 мм на 11 мм) повышает армирующие качества системы на 6 %, так же как и расположение гибких связей внутри блоков (по сравнению с расположением по основанию).

4. В результате проведения экспериментальных исследований моделей массива грунта с карстообразной полостью и предлагаемыми системами армирования из блоков было установлено, что системы армирования, воспринимающие давление штампа, «разрушаются» по гибким связям. Следовательно, целесообразно, изготавливать гибкие связи из материалов, обладающих высокой прочностью на разрыв.

5. По результатам исследования были составлены рекомендации по использованию предлагаемой системы армирования, которая представляет собой набор бетонных блоков, соединённых в единой плоскости, внутри блоков, гибкими связями, в качестве которых можно использовать стеклопластиковую арматуру или искусственный арматурный канат. При образовании провала блоки армирующей системы работают в качестве «якорей», что препятствует их перемещению в грунтах. В случае смещения системы армирования над карстовой полостью, блоки сближаются до упора по вертикальным граням, обеспечивая принцип работы «замка».

6. Предлагаемую систему армирования целесообразно применять при строительстве зданий и сооружений, имеющих ленточный фундамент, II и III уровня ответственности, расположенных на территориях с покрытым видом карста; при категориях устойчивости территорий по интенсивности образования карстовых деформаций: III-V и категориях закарстованности территорий по средним диаметрам провалов: В и Г.

7. В дальнейших исследованиях целесообразно детально изучить напряженно-деформируемое состояние грунтового массива армированного геосинтетиками с целью прогноза работы конструкции на протяжении всего периода эксплуатации здания или сооружения, а также возможности подбора оптимальных параметров бетонных блоков и гибких связей.

Список библиографических ссылок

1. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты / Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве: Стройиздат, 1987. – 80 с.
2. ТСН 22-304-06. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края. – Пермь, 2006.
3. Строительство в особых грунтовых условиях. Тема 8: «Строительство и эксплуатация сооружений, возводимых на закарстованных территориях». URL: <http://gendocs.ru/v257?cc=8> (дата обращения: 19.09.12).
4. Клевеко В.И. Оценка напряжённо-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2002. – 152 с.

Kobyscha O.E. – student

E-mail: kokosanik@mail.ru

Bochkareva T.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: tsp-btm@mail.ru

Ponomarev A.B. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: spstf@pstu.ac.ru

State National Research Polytechnical University of Perm

The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky prospekt st., 29

Modelling of systems of soil massif reinforcing as an antikarstic action

Resume

In the presented publication the questions concerning construction of buildings and constructions in karst territories of Perm Krai, and also design of ways of antikarstic protection are considered. This subject deserves attention as recently in Perm Krai the tendency to increase in volumes and speed of construction, as well as over all country as a whole, in connection with development of construction branch and introduction of modern achievements is observed. Respectively, even more often it is necessary to use the territories which were considered earlier unsuitable, for example, karst under construction.

The main attention in article is paid to geotechnical antikarstic actions, namely methods of reinforcing of the massif of soil by geosynthetic materials and to constructive decisions of systems of reinforcing on the basis of geosynthetics. The description of a pilot study which includes two cycles of tests is provided. Both cycles represent small-scale model stamped tests: the first cycle consisted in modeling of the karstic cavity, the second cycle – in modeling of systems of reinforcing of soil over a zone of a karstic cavity. Research objective is the assessment of efficiency of offered system of reinforcing of soil as antikarstic action.

Keywords: karstic territories, antikarstic protection, antikarstic actions.

Reference list

1. Recommendations for the use of engineering and geological information in selecting methods protivokarstovoy protection / Production and Research Institute for Engineering Surveys in Construction Stroyizdat, 1987. – 80 p.
2. TSN 22-304-06. Design, construction and operation of buildings and structures on karst areas of the Perm Territory. – Perm, 2006.
3. Construction in special soil conditions. Theme 8: «Construction and operation of structures erected on the karst territories». URL: <http://gendocs.ru/v257?cc=8> (reference date: 19.09.12).
4. Kleveko VI Evaluation of stress-strain state of reinforced bases in the silty clay soils: Dis. ... Candidate. tehn. Science / Perm. State. tehn. Univ. – Perm, 2002. – 152 p.