

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО ГЕОТЕХНИЧЕСКИМ МЕРОПРИЯТИЯМ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ПРОЯВЛЕНИЙ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

THE DEVELOPMENT OF THE REGULATORY FRAMEWORK FOR THE GEOTECHNICAL ENGINEERING ACTIVITIES-ENGINEERING PROTECTION OF TERRITORIES FROM THE OCCURRENCE OF KARST-SUFFUSION PROCESSES

М. Н. ИБРАГИМОВ, канд. техн. наук

В. В. СЁМКИН, канд. техн. наук

А. В. ШАПОШНИКОВ, канд. техн. наук

Рассмотрены основные положения регламента работ в подготовленных НИИОСПом Методических рекомендациях по геотехнической защите строящихся и реконструируемых сооружений на закарстованных территориях от проявлений карстово-суффозионных процессов. Излагаются требования к инженерно-геологическим изысканиям, расчету, проектированию оснований и фундаментов и производству укрепительных работ в случае грунтов основания на карстопасных территориях, а также по геотехническому мониторингу в процессе строительства и эксплуатации сооружений повышенного (КС-3) и нормального (КС-2) уровней ответственности.

The article describes the main provisions of the work rules in prepared by NIISP Guidelines for geotechnical-shield construction and reconstruction of structures in the karst areas from the occurrence of karst-suffusion processes. Setting out the requirements for engineering & geological surveys, calculations, designing of bases and foundations and the production of rehabilitation works of soil foundation on karst-hazardous territories, as well as geotechnical monitoring in the process of the construction and operation of buildings increased (COP-3) and normal (COP-2) level of responsibility.

Ключевые слова:

Геотехнический мониторинг, карст, карстово-суффозионный процесс, карстующаяся порода, тампонаж

Key words:

Geotechnical monitoring, karst, karstic rocks, karst-suffosion process, plugging

Проблема строительного освоения закарстованных территорий является весьма актуальной. Площадь распространения карстующихся пород с различной степенью развития карста занимает на Европейской части России около 20% территории [1]. Карстовые процессы и связанные с ними карстовые деформации (провалы, оседания, разуплотнения и ослабления зоны грунтов) наблюдаются практически во всех экономически развитых регионах страны. В этих районах вследствие образования карстовых провалов происходит значительное число аварий и разрушений различных сооружений, включая промышленные и гражданские, как, например, на рис. 1 и 2.



Рис.1. Разрушение заводского цеха в результате карстового провала в Дзержинске



Рис.2. Провал жилого дома в карстовую воронку во Владимирской области

Для предотвращения возможных деформаций и защиты строящихся и реконструируемых сооружений на закарстованных территориях следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие их надежность и эксплуатационную сохранность. К защитным мероприятиям, рекомендуемым СП 22.13330.2016 (СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений) [2] для строящихся сооружений, относятся:

- конструктивные мероприятия, осуществляемые путем проектирования плоских или ребристых фундаментных плит, перекрестных ленточных фундаментов, в том числе с консольными удлинениями за пределы сооружений, с применением жёсткого каркаса здания, повышением жёсткости конструктивной системы здания горизонтальными и вертикальными связями и поясами;
- водозащитные мероприятия, предусматривающие отвод поверхностных и грунтовых вод от карстующихся пород путем планировки территории и устройства поверхностных водонепроницаемых экранов по периметру сооружений;
- геотехнические мероприятия, предусматривающие заполнение карстовых полостей, тампонаж трещин и закрепление грунтов покровных отложений над закарстованными породами;
- технологические мероприятия, исключаящие или снижающие воздействие на потенциально карстующиеся породы.

Следует отметить, что конструктивные, водозащитные и технологические мероприятия являются пассивными, поскольку не влияют на естественный ход развития карста и на протекание карстово-суффозионных процессов. В отличие от них геотехнические мероприятия, связанные с тампонажем карстовых полостей и закреплением грунтов покровных отложений, являются активными, поскольку позволяют прекращать или резко замедлять развитие существующих карстовых полостей и форм, образование карстово-суффозионных процессов и предотвращать деформации грунтов основания.

Объем противокарстовой защиты для выполнения необходимых требований определяется в каждом конкретном случае в зависимости от прогнозируемых видов и размеров карстовых деформаций, степени экономической и социальной ответственности защищаемого объекта, конструктивных и эксплуатационных особенностей сооружений.

Для объектов нового строительства могут быть применены все виды защиты. Для объектов нового строительства повышенного уровня ответственности (КС-3) или для реконструкции, как правило, проектируется геотехническое противокарстовое мероприятие и предусматривается дополнительно проведение геотехнического мониторинга и научно-техническое сопровождение строительства.

В настоящее время в развитие положений раздела 6.12 в [2] и с учётом положений главы 8 СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов [3], а также Федерального закона от 30.12.2009 г № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [4] институтом в 2017г. разработаны Методические рекомендации по геотехническим мероприятиям инженерной защиты территории от проявления карстово-суффозионных процессов. Необходимость разработки такого документа возникла в связи с возрастающим объемом строительства и реконструкции жилых, социально-культурных зданий и объектов, а также промышленных и гидротехнических сооружений. Текст рекомендаций будет помещен на сайте ФАУ ФЦС в 2018 году.

В указанных Методических рекомендациях основные положения регламента работ — оценка карстоопасности территории, проектирование и выполнение противокарстовых мероприятий и мониторинг объекта работ — изложены в пяти разделах. Поэтапное выполнение конкретных позиций регламента работ, предусмотренных в Методических рекомендациях, представлено на рис. 3.



Рис. 3. Этапы выполнения регламента геотехнических противокарстовых мероприятий

Для вновь проектируемого или реконструируемого сооружения в первую очередь (этап 1) выполняется оценка карстоопасности территории на основании анализа имеющихся материалов архивных изысканий, карт районирования, наличия поверхностных проявлений карстовых деформаций. При выявлении признаков карстоопасности проводятся (этап 2) инженерно-геологические изыскания, основными задачами которых в соответствии с требованиями СП 47.13330.2016 (Инженерные изыскания для строительства. Основные положения) [5] являются:

- районирование территории с выделением границ различной степени карстоопасности и с определением категории устойчивости относительно карстовых деформаций;
- установление степени опасности воздействия карста на сооружения, экологической и социально-экономической обстановки;
- составление прогноза развития карста на период строительства и эксплуатации проектируемых объектов с учетом возможных техногенных воздействий;
- определение необходимых для разработки мероприятий противокарстовой защиты параметров физико-механических характеристик основания, обеспечивающих прочность и устойчивость сооружения при возможном проявлении карстовых деформаций.

На основании результатов инженерно-геологические изыскания определяют (этап 3) расчетом (численными и аналитическими методами) геометрические параметры карстовых полостей в водорастворимой горной породе с учетом наиболее неблагоприятного участка на разрезе и скорейшего наступления провалобразования перекрывающей толщи грунтов, при образовании которой возникают карстовые деформации. Кроме того, выполняется проверка карстовых проявлений на окружающей территории, а при необходимости проводятся экспериментальные исследования (моделирование), в том числе с учётом техногенных факторов (существующих и прогнозируемых). При этом оценивается степень опасности карстовых полостей в активной зоне проектируемого сооружения с учетом изучения состава заполнителя карстовых полостей и трещин, а также оценивается суффозионная устойчивость покрывающих отложений.

По результатам инженерно-геологических изысканий территории застройки оценивается (этап №4) категория карстовой опасности, которая в соответствии с [2] может относиться к опасной или потенциально опасной, а возможно, и неопасной.

Опасная территория характеризуется наличием на поверхности земли проявлений карстово-суффозионных процессов в виде воронок и оседаний, наличием карстующихся пород с высокой степенью трещиноватости и присутствием карстовых полостей высотой более 1 м по провалам бурового инструмента, наличием в покровных отложениях сильно фильтрующих разнотекстурных песчаных грунтов и высокой интенсивностью вертикальной и горизонтальной фильтрации.

Потенциально опасная территория характеризуется отсутствием на поверхности земли провальных воронок и оседаний, наличием в основании карстующихся пород с карстовыми пустотами менее 1 м (по провалам бурового инструмента), расположенными неглубоко по отношению к кровле карстующейся породы, наличием в покровных песчаных отложениях несплошных водоупорных глинистых слоев

в несколько метров толщиной, наличием в покровных отложениях вертикальной фильтрации средней интенсивности.

Неопасная территория характеризуется отсутствием поверхностных и подземных проявлений карстовых процессов, наличием слоя водоупора мощностью более 10 м, вертикальной фильтрацией с градиентом $i \leq 1$ и отсутствием температурных и гидрохимических аномалий подземных вод.

В зависимости от вида карста и категории устойчивости территории относительно интенсивности карстовых деформаций (провалов) на этапе 5 для зданий повышенного и нормального уровней ответственности выбирают один из следующих типов геотехнического противокарстовых мероприятий:

- для карстоопасных районов, преимущественно для сульфатного карста (гипсы, ангидриты), часто встречающегося в сочетании с карбонатным, проводится, как правило, комплексное противокарстовое мероприятие, предусматривающее закрепление в плане застройки объекта верхней зоны раздробленной, трещиноватой карстующейся толщи с тампонажем полостей и закрепление части толщи сильно фильтрующих грунтов покровных отложений над карстующимися породами (по расчетам противифльтрационного экрана). Такой вид мероприятия полностью исключает рост объемов существующих и образование новых карстовых полостей и возникновение карстово-суффозионных процессов с провалами под фундаментами;

- для потенциально опасных районов преимущественно карбонатного карста (трудно растворимые породы – известняк, доломит) достаточно выполнить закрепление верхней раздробленной, трещиноватой зоны до кровли монолитной (незакарстованной или слабозакарстованной) с тампонированием полостей в карстующейся толще, что позволяет резко понизить водопроницаемость породы, а следовательно, полностью исключает развитие карстово-суффозионных процессов под фундаментами на заданный срок эксплуатации сооружения.

На основании данных инженерно-геологических изысканий, технических характеристик конструкций, уровня ответственности и геотехнической категории проектируемого или реконструируемого сооружения разрабатывается (этап 6) проект противокарстовой защиты с технико-экономическим обоснованием выбранного оптимального решения – закрепление только закарстованных грунтов или в совокупности с закреплением грунтов покровных отложений.

Проектная документация должна содержать масштабные инженерно-геологические разрезы и планы с нанесением контуров и размеров закрепленного массива, данные о пространственном расположении скважин в массиве с указанием размеров зон, обрабатываемых растворами и видами растворов. Проект производства работ (ППР) должен включать опытно-производственные работы, которые должны предшествовать основным работам, и разделы, отражающие требования к технологии производства работ, контролю качества и приемке работ, охране окружающей среды и технике безопасности.

Выполнение опытно-производственных работ (этап 7) и контрольные работы по тампонажу карстовых пустот и закреплению грунтов покровных отложений

позволяют на основании полученных результатов корректировать (при необходимости) проектные положения по регламенту работ, уточнять инженерно-геологические условия, регламент укрепительных работ, составы применяемых растворов и режимы инъекционных работ.

Сложность работ по закреплению пород (этап 8) зависит не только от вида и характера закарстованности породы, но и от расположения ее относительно земной поверхности и от вида покровных отложений (при их наличии). Карстующаяся порода, представляющая опасность для наземных сооружений, может залегать на значительной глубине, достигающей, как показывает практика, до 50-60 м. Наиболее сложной является работа, когда карстующаяся порода покрыта значительной толщей четвертичных отложений, представленных в основном несвязанными песчаными грунтами.

Способ бурения покровных отложений выбирается исходя из инженерно-геологических условий и глубины залегания закарстованных пород. Бурение покровных отложений производится с обсадкой металлическими или пластмассовыми трубами. Диаметр скважин назначается в зависимости от глубины и выбранного способа бурения — в среднем от 110 до 150 мм. В карстовых породах бурение производится меньшим диаметром, порядка 75-100 мм.

Бурение и нагнетание растворов в трещиноватых, закарстованных породах производится ограниченными зонами по глубине, зависящими от характера трещиноватости и от величины удельного водопоглощения породы. Максимальный интервал зоны до 10 м допускается в породах, исключающих обрушение стенок скважин при бурении, обладающих сравнительно небольшой и одинаковой по всей глубине трещиноватостью (удельное водопоглощение 0,1 – 0,2 л/мин). В породах с переменной трещиноватостью или при больших значениях удельного водопоглощения (0,2 – 1,0 л/мин и более) интервал зоны уменьшается до 5 м. В породах с карстовыми кавернами и крупными трещинами интервал зоны принимается укороченный, до 1 – 3 м.

Инъекционные работы следует производить, руководствуясь рекомендациями [6, 7, 8], способом последовательного сближения скважин, начиная с максимальных расстояний, при которых гидравлическая связь между ними при заданных рабочих давлениях будет отсутствовать. Конечные расстояния между скважинами назначаются порядка 5 м.

Для уплотнения карстующихся пород используются в зависимости от их пустотности и трещиноватости тампонажные растворы различного вида и состава. Наибольшее распространение в отечественной строительной практике получили цементные, цементно-глинистые, цементно-песчаные, цементно-зольные, глиноцементные и глиносиликатные растворы. Выбор вида раствора для проектирования работ по тампонажу и закреплению закарстованных пород в зависимости от характера трещиноватости, степени закарстованности и гидрогеологических условий рекомендуется принимать согласно таблице. Оптимальные составы растворов для конкретных инженерно-геологических условий и применяемых материалов подбираются лабораторными исследованиями и уточняются по результатам опытно-производственных работ.

Таблица

<i>Характер породы</i>	<i>Наличие подземных вод</i>	<i>Рекомендуемые виды растворов</i>
Трещиноватая водопроницаемая скальная и полускальная порода с раскрытием трещин 0,1 - 1 мм, (удельное водопоглощение 0,1 - 1 л/мин·м ² ; $K_{\phi} = 0,3 - 3$ м/сут)	Независимо от степени обводнения	Нестабильные цементные растворы
Трещиноватая сильноводопроницаемая скальная и полускальная порода с раскрытием трещин до 10 мм (удельное водопоглощение до 10 л/мин·м ² ; $K_{\phi} = 3 - 30$ м/сут)	При скорости подземных вод менее 1000 м/сут	- Нестабильные растворы (цементные с инертными добавками: песок, зола уноса, каменная мука и т.д.). - Стабильные растворы (цементно-глинистые)
Трещиновато-пористые слабосцементированные грунты: песчаники, мелкокавернозные известняки и доломиты, известняки-ракушечники, неплотные туфы и туфобрекчии с раскрытием трещин 0,1 - 0,2 мм (удельное водопоглощение 0,1 - 0,2 л/мин·м ² ; $K_{\phi} = 0,3 - 0,6$ м/сут)	Независимо от степени обводнения	- Нестабильные цементные растворы с предварительной силикатизацией грунта. - Стабильные цемента-бентонитовые растворы с повышенным содержанием бентонита. - Стабильные бентонито-силикатные растворы
Открытые карстовые формы: полости, каналы, каверны и т.д. (удельное водопоглощение более 1 - 2 л/мин·м ² ; K_{ϕ} более 3-6 м/сут)	При скорости подземных вод свыше 1000 м/сут	- Растворы быстросхватывающиеся (в барьерные ряды). - Растворы, способные образовывать в пустотах пробки и преграды (песчаная пульпа, песчаная пульпа с добавкой опилок, волокнистых материалов, шлака, резиновой крошки). - Растворы с ускоренным временем схватывания
Карстовые полости, каналы, каверны и т.д. шириной более 5-10 см, содержащие несцементированный заполнитель пустот	Независимо от степени обводнения	- Стабильные растворы (цементные, стабилизированные химическими добавками). - Стабильные растворы (цементно-глинистые). - Нестабильные растворы (цементные с инертными добавками: песок, зола уноса, каменная мука и т.д.)

Геотехнические мероприятия по укреплению закарстованных грунтов инъекцией растворов носят скрытый характер, поэтому работы должны контролироваться на всех этапах ее производства, включая входной контроль за поступающими материалами, оперативный в процессе производственных и технических циклов работ, а также контроль качества выполненной инъекции на отдельных участках и в массиве в целом.

Контроль качества производства работ обеспечивается обязательным ведением журналов по всем видам работ (буровым, инъекционным, контрольным). Состав и объем контрольных работ по определению результатов и качества инъекционного уплотнения устанавливается проектом в зависимости от природных особенностей цементируемых грунтов и их пустотности и от назначения цементации. На основании отчетной документации о проделанной работе и результатов контрольных работ по оценке качества выполненной цементации грунтов выполняется оценка инъекции в целом по сооружению.

При проведении противокарстовых мероприятий в основании сооружений повышенного (КС-3) и нормального (КС-2) уровней ответственности следует выполнять (этап 9) геотехнический мониторинг с целью своевременного выявления изменений контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований. А в случае перехода объектов в состояние аварийное или ограниченно работоспособное принимать дополнительные меры противокарстовой защиты. Для объектов нормального уровня ответственности (КС-2) геотехнический мониторинг по [2] осуществляют по программе, а для повышенного уровня (КС-3) — по проекту, разрабатываемому и утверждаемому в составе проектной документации. Геотехнический мониторинг включает, как правило, комплексную систему периодических наблюдений за осадками и деформациями оснований и фундаментов сооружений, маршрутные наблюдения за прилегающей территорией с целью фиксации вновь образовавшихся карстовых провалов и оседаний поверхности, а также за изменением уровней, температуры и химического состава подземных вод, физико-механических свойств грунтов. При выполнении геотехнического мониторинга применяются визуально-инструментальные, геодезические, параметрические, геофизические и гидрогеологические методы наблюдений.

Выводы

1. Разработанные Методические рекомендации по геотехническим мероприятиям инженерной защиты территории от проявления карстово-суффозионных процессов содержат требования к инженерно-геологическим изысканиям, расчету, проектированию оснований и фундаментов и к производству укрепительных работ грунтов основания на карстоопасных территориях, а также к геотехническому мониторингу в процессе строительства и эксплуатации сооружений повышенного (КС-3) и нормального (КС-2) уровней ответственности.

2. Положения Методических рекомендаций позволяют учесть накопленный опыт строительства и эксплуатации на закарстованных территориях, включая в первую

очередь сооружения повышенного и нормального уровней ответственности, и в значительной степени избежать разработки специальных технических условий.

3. Особое внимание в методических рекомендациях уделено надежности проектирования геотехнических противокарстовых мероприятий (создание сплошного массива закрепленных грунтов или массива из армирующих элементов из закрепленных грунтов). В Методических рекомендациях сформулированы требования по проектированию, в том числе — к расчетным показателям и контролируемым параметрам.

4. Большое внимание в Методических рекомендациях уделено технологическим особенностям выполнения геотехнических работ в части обеспечения проектных требований по свойствам закрепляемых грунтов, применяемым материалам и технологическим параметрам производства работ.

Библиографический список

1. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. — М.: Стройиздат, 1986.
2. СП 22.13330.2016 СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений.
3. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов.
4. Федеральный закон от 30.12.2009 г №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
5. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
6. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. НИИОСП им. Н.М. Герсегонова.
7. Рекомендации по закреплению растворами закарстованных грунтов в основаниях гражданских и промышленных объектов. НИИОСП им. Н.М. Герсегонова.
8. Цементация скальных оснований гидротехнических сооружений. ВСН 34-83. 1984.

Авторы:

Мидехат Насибулович ИБРАГИМОВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник сектора «Усиление оснований» НИИОСП им. Н. М. Герсегонова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Midkhat IBRAGIMOV, Ph.D. in Engineering, leading researcher of the laboratory 'Strengthening the Foundations', NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Midhat33@gmail.com

тел.: +7 (499) 170-27-85

Вадим Валентинович СЁМКИН, канд. техн. наук, заведующий сектором «Усиление оснований» НИИОСП им. Н. М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва
Vadim SEMKIN, Ph.D. in Engineering, Head of the laboratory 'Strengthening the Foundations', NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Baltiy@yandex.ru

тел.: +7 (903) 549-17-74

Андрей Васильевич ШАПОШНИКОВ, канд. техн. наук, заместитель заведующего сектором «Усиление оснований» НИИОСП им. Н. М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey SHAPOSHNIKOV, Ph.D. in Engineering, Deputy head of the laboratory 'Strengthening the Foundations', NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Baltiy@yandex.ru

тел.: +7 (903) 108-67-54