

Министерство образования Российской Федерации
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Строительный факультет
Кафедра строительных конструкций

**ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА КАРСТООПАСНЫХ
(ЗАКАРСТОВАННЫХ) ТЕРРИТОРИЯХ. МЕТОДИКА. ПРИМЕРЫ.**

Реферативная работа
по курсу «Обследование и испытание
строительных конструкций зданий и сооружений»

Работу выполнил студент
очного отделения СФ
группы ПГС-08-1
Санникова И.И.
Работу проверил и принял
Патраков А.Н.

Пермь, 2012

РЕФЕРАТ

Реферат 41с., 1ч., 15 рис., 4 табл., 6 источников.

ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА КАРСТООПАСНЫХ (ЗАКАРСТОВАННЫХ) ТЕРРИТОРИЯХ. МЕТОДИКА. ПРИМЕРЫ.

Ключевые слова: карст, карстомониторинг, деформация, провал, обследование, противокарстовое мероприятие.

Объектом реферирования являются здания и сооружения находящиеся на закарстованных территориях.

Цель работы – изучение методов оценки технического состояния зданий и сооружений на закарстованных территориях.

В результате реферирования исследованы:

- процессы, происходящие на закарстованных территориях;
- мероприятия по контролю за карстовым процессом;
- особенности обследования зданий и сооружений на закарстованных территориях;
- противокарстовые мероприятия.

Определены этапы обследования зданий и сооружений на закарстованных территориях.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Общие сведения.....	5
1.1. Карстоопасные территории. Процессы, происходящие на закарстованных территориях..	5
1.2. Конструктивные особенности в проектировании зданий и сооружений на закарстованных территориях.....	6
2. Обследование зданий и сооружений на карстоопасных (закарстованных) территориях.....	8
2.1. Мероприятия по контролю за карстовым процессом.....	8
2.1.1. Карстомониторинг.....	8
2.1.2. Деформационный мониторинг.....	11
2.1.3. Геодезический мониторинг.....	12
2.1.4. Методика оценки опасности карстопроявлений.....	13
2.1.5. Экспериментально-аналитический метод оценки опасности карстопроявлений.....	14
2.2. Особенности обследования зданий и сооружений на закарстованных территориях.....	16
2.2.1. Общие положения по обследованию зданий и сооружений на карстоопасных территориях.....	16
2.2.2. Визуальные и инструментальные наблюдения.....	18
2.2.3. Обследования жилых и гражданских зданий.....	21
3. Примеры.....	22
3.1. Пример обследования 5-этажного кирпичного дома в карстовом районе г.Кунгур, Пермский край.....	22
3.2. Пример ликвидации аварийной ситуации в карстоопасном районе Самарской области..	31
4. Противокарстовые мероприятия.....	37
Заключение.....	40
Список использованных источников.....	41

ВВЕДЕНИЕ

Карстопроявления занимают особое место среди опасных процессов, происходящих в земной коре, по степени скрытости его протекания, внезапности проявления, катастрофичности последствий и трудности прогнозирования. Особенность этого явления состоит в том, что к моменту начала строительства геологические изыскания могут свидетельствовать об отсутствии карстовых полостей под сооружением, однако в процессе эксплуатации возможна реализация условий для их появления и роста. Активизация карстовых процессов может привести к недопустимым деформациям грунта и, как следствие, к разрушению фундамента и самого сооружения.

В России карстовым деформациям подвержено около 13 % территории, в том числе в пределах более 300 городов и тысяч более мелких поселений, в которых проживают 19 % населения страны. Суммарный экономический ущерб от карстового процесса составляет в России, по экспертным оценкам, от 30 до 45 млрд. руб. в год.

Только в Москве за последние 40 лет зарегистрировано около 50 местных провалов, некоторые из которых сопровождалась авариями коммуникаций и обрушением жилых конструкций. Потенциально опасной в этом отношении признано до 15% городской территории.

Подобная ситуация наблюдается во многих городах России. Примером может служить карстовый провал в корпусе №1 на ПНО «Дзержинск-Химмаш» (диаметр 30 м, глубина 10 м), произошедший 15.07.1992 в г. Дзержинск (рис. 1) [1].



Рисунок 1. Провал здания «Дзержинск-Химмаш»

Результатом обследования должно являться предотвращение, своевременное выявление и устранение повреждений конструкций, вызванных неравномерным оседанием земной поверхности или сдвижкой грунтов основания здания.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

1.1. КАРСТООПАСНЫЕ ТЕРРИТОРИИ. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.

Карст — совокупность процессов и явлений, связанных с деятельностью воды и выражающихся в растворении горных пород и образовании в них пустот, а также своеобразных форм рельефа, возникающих на местностях, сложенных сравнительно легко растворимыми в воде горными породами гипсами, известняками, мраморами, доломитами и каменной солью.

Большое количество зданий повышенной этажности, создающих высокие нагрузки на грунтовое основание, чрезвычайная плотность городской застройки, расширяющееся использование подземного пространства, концентрация многочисленных промышленных производств, в т.ч. экологически опасных для населения, концентрированные утечки промышленных агрессивных вод, чрезмерный водоотбор подземных вод сформировали новый техногенный тип карста [1].

К закарстованным территориям, или районам развития карста, следует относить не только площади с проявлением карста на земной поверхности, но и содержащие в геологическом разрезе стометровой глубины водорастворимые (по ГОСТ 25100) горные породы существенной мощности при наличии других обязательных условий карстообразования:

- а) наличие ровной или слабо наклонной поверхности, чтобы вода могла застаиваться и просачиваться внутрь по трещинам;
- б) толща карстующихся пород должна иметь значительную мощность;
- в) уровень подземных вод должен стоять низко, чтобы было достаточное пространство для вертикального движения подземных вод;
- г) минерализация воды на входе в грунт должна быть меньше растворимости породы.

Карст, как правило, сопровождается суффозией, эрозией, гравитационными и другими процессами, деформациями земной поверхности, ее своеобразным рельефом, подземными и приповерхностными (гротами, пещерами) полостями, особым режимом и характером циркуляции подземных и поверхностных вод.

Среди основных карстовых деформаций — провалы, просадки, локальные и общие оседания. Наиболее опасны провалы различных генетических типов, возникающие порой за очень короткое время (минуты, десятки минут) и достигающие в размерах 50-100 м.

Для территории Пермского края характерны благоприятные условия развития карста: физико-географические (благообеспечивающие), геоморфологические, геотектонические и гидрогеологические. Распространены все основные литологические типы карста:

карбонатный, сульфатный, хлоридный. Заметную роль в активизации карста играют техногенные факторы промышленно развитых территорий.

Механизм формирования карстовых деформаций поверхности отличается разнообразием и сложностью – от обвалов над карстовой полостью и оседанием над растворяющейся и снижающейся поверхностью сульфатных и хлоридных солей до сложного поэтапного образования карстовой полости на значительных (св. 100 м) глубинах с последующим формированием в меняющихся гидродинамических условиях промежуточных сводов обрушения и выхода их на поверхность в виде провала, проседания или общего оседания. Широко известны провалы кишертские, верхнепеньковские, прибрежной зоны Камского водохранилища, на автомобильных и железных дорогах края, в полосах магистральных нефте- и газопроводов, Большой Березниковский провал (1986 г.) и Соликамское оседание (1995 г.). Только на территории г. Кунгура и его окрестностей за последние 55 лет зафиксировано св. 400 карстовых деформаций, которые принесли значительный экономический и социальный ущерб.

1.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.

Надежность строительства зданий и сооружений на закарстованных территориях должна быть обеспечена тщательным и детальным изучением инженерно-геологических условий, использованием оптимального комплекса противокарстовых мероприятий, карстомониторингом в процессе строительства и эксплуатации, а также реализацией эффективных мер защиты и усилением конструкций при локальных карстопроявлениях.

Карстозащитные конструктивные мероприятия при строительстве зданий и сооружений по типовым проектам должны предусматриваться преимущественно в фундаментно-подвальной части. Надежность любого фундамента должна характеризоваться долговечностью, безотказностью и сохраняемостью, а также ремонтпригодностью в случае необходимости усиления и восстановления требуемой несущей способности.

Увеличение жесткости наземной части здания в качестве дополнительного противокарстового мероприятия для индивидуальных проектов рассматривается наравне с карстозащитными элементами фундаментно-подвальной части для обеспечения эксплуатационной надежности.

Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений должно быть выполнено с учетом особой нагрузки в виде воздействия, обусловленного деформациями основания карстового происхождения (оседания, провал на локальном участке по вероятностному характеру), а также с учетом класса ответственности здания и сооружений.

Все водонесущие коммуникации, а также газо- и паро- материалопроводы должны быть уложены в противокарстовом исполнении.

Увеличение жесткости и прочности надфундаментной части сооружений осуществляется за счет применения железобетонных и армированных поясов, тяжелой и горизонтальных монолитных диафрагм, усилением несущих элементов конструкций армированными обоймами и рубашками, введением дополнительных связей в каркасных конструкциях.

Увеличение податливости сооружений достигается устройством в подземной части швов скольжения, введением шарнирных и податливых связей между элементами конструкций, снижением жесткости несущих конструкций и др.

Основные конструктивные элементы противокарстовой защиты сооружений следует предусматривать в подземной части путем применения коробчатых фундаментов, плоских или ребристых плит, перекрестных ленточных фундаментов. Применение отдельно стоящих фундаментов не допускается.

Фундаменты должны выполняться из монолитного железобетона. При соответствующем обосновании допускается применение сборных ленточных фундаментов с монолитными железобетонными поясами.

При расчете фундаментов положение возможных карстовых провалов под сооружением принимают исходя из наиболее неблагоприятного их влияния на работу сооружения. При этом обязательным является расчетное положение провала под колоннами, пересечениями стен, углами сооружений, в середине большей и меньшей сторон.

На случай активизации карста (подъем уровня подземных вод, подземный забор воды и др.) в проекте должны быть предусмотрены соответствующие компенсационно-восстановительные мероприятия и необходимая индивидуальная система карстомониторинга и оповещения. Защита существующих зданий старой постройки, оказавшихся на закарстованной территории с признаками карстопроявлений, выполняется после исследования инженерно-геологической обстановки по специальной проектной документации, подготовленной по материалам изысканий площадки, обследования и диагностики технического состояния здания в индивидуальном порядке [3].

2. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА КАРСТООПАСНЫХ (ЗАКАРСТОВАННЫХ) ТЕРРИТОРИЯХ.

2.1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО КОНТРОЛЮ ЗА КАРСТОВЫМ ПРОЦЕССОМ.

Таблица 1.

Региональный карстологический мониторинг	Для городов и населенных пунктов, расположенных на закарстованных территориях
Объектный карстологический мониторинг	Обязателен на особо ответственных и экологически опасных объектах
Устройство точечной площадной или линейной систем сигнализации за карстовыми деформациями в толще пород и в основании сооружений	В случае отсутствия должной конструктивной противокарстовой защиты Для особо ответственных экологически опасных объектов
Проведение визуального и инструментального контроля за деформациями земной поверхности и конструкций, и отслеживание геофизическими методами изменения состояния грунтов основания	Обязательно при отсутствии конструктивной противокарстовой защиты для карстоопасных участков

2.1.1. КАРСТОМОНИТОРИНГ.

Карстомониторинг – основы оптимального освоения закарстованных территорий и один из способов противокарстовой защиты. Под ним понимается, в первую очередь, слежение за состоянием территории, условиями и основными (включая техногенные) факторами карстообразования и опасными (для устойчивости) карстопроявлениями; сбор, обработка, обобщение данных, их хранение и (при целесообразности) распространение; своевременное предупреждение (прогноз) создаваемых (возможных) критических ситуаций, периодическая (квартальная, полугодовая, ежегодная) передача информации о результатах работ административным органам и (или) Заказчику; принятие (постановка) новых задач; корректировка программы исследований с целью разработки и коррекции противокарстовых мероприятий, контроля за выполнением принятых решений, оптимального управления негативными процессами (карстовыми и ему сопутствующими) или системой «карст-основание – сооружение» в целом.

Организация комплексного карстомониторинга (или его элементов) по специально разработанной программе (с обоснованием видов и объемов работ и частоты наблюдений) целесообразна на репрезентативных и ключевых участках карстовых районов края, в населенных пунктах, на объектах повышенного уровня ответственности и экологического риска, жилых и промышленных зданиях без достаточной противокарстовой защиты, расположенных на карстоопасных площадях.

Решение о проведении карстомониторинга принимается административными органами муниципальных образований и (или) владельцами объектов за счет соответствующих (в зависимости от форм собственности объектов) бюджетов и средств. Разработка (составление программы) и выполнение его поручается специализированным организациям, обладающим опытом инженерно-карстологических изысканий. Целесообразно привлечение к работам местного населения. Сведения об устройствах и составе наблюдений вносятся в паспорт объекта.

В состав карстомониторинга, как правило, включаются:

- маршрутные и площадные рекогносцировки,
- обследование карстопроявлений, существующих и строящихся зданий и сооружений,
- режимные и специальные (с опытами) гидрогеологические и гидрогеохимические наблюдения,
- геодезические измерения (наблюдения) на местности (в том числе, за развитием карстовых форм) и контроль за деформациями зданий и сооружений, слежение за маяками и грунтовыми реперами,
- наблюдения за напряженным состоянием основания сооружения и грунтового массива в целом,
- геофизические исследования по оценке состояния покровных и карстующихся пород и динамика развития значимых аномалий геофизических полей,
- устройство системы аварийной сигнализации (в том числе при проведении геотехнических противокарстовых мероприятий),
- аэрофотосъемка (многоуровневая видеотепловизионная, спектральная, тепловая и др.) и аэровизуальные наблюдения (при региональном, субрегиональном и локальном мониторинге и специальном обосновании).

Размещение пунктов наблюдений (включая режимные скважины, естественные и искусственные водопункты, карстопроявления, реперы, маяки, марки, датчики и др.) определяется геолого-гидрогеологическими условиями и факторами, техногенной обстановкой и целевым назначением работ.

В ассортимент контролируемых при карстомониторинге параметров геологической

среды в зависимости от конкретной техноприродной обстановки включаются данные (показатели) согласно ГОСТ 22.1.06-99. В первую очередь отслеживаются:

- площадная поражаемость территории,
- основные параметры карстопроявлений,
- частота карстовых деформаций,
- приращение их площади и глубины,
- скорость растворения пород,
- уровни и химический состав (агрессивность) подземных (возможно, и поверхностных) вод, их температура и скорость движения,
- вариации значимых геофизических полей,
- показатели водно-физических свойств грунтов.

В целом состав, объемы карстомониторинга, частота наблюдений и порядок выдачи информации устанавливаются в соответствии с техническим заданием Заказчика, определяются в зависимости от инженерно-геологической обстановки и карстоопасности территории (категории устойчивости), типа зданий и сооружений, их уровня ответственности и конструктивных особенностей, режима эксплуатации и данных геотехнического прогноза.

При объектном мониторинге возможно включение выполнения его элементов (визуального обследования зданий и сооружений, контроля за карстовыми деформациями и их появлением, отслеживания системы аварийной сигнализации, замеров уровней подземных вод в режимных скважинах, правил действия при обнаружении карстовых деформаций и др.) как части противокарстовых мероприятий в должностные инструкции, обслуживающего персонала, с отражением персональной ответственности. В особых случаях целесообразна организация противокарстовой службы объекта.

Выявление предкритической (предаварийной) ситуации на объекте и сверхнормативных деформаций сооружений должно стать аргументом для оценки состояния объекта специально созданной комиссией, в состав которой обычно включаются представители администрации населенного пункта (муниципального образования), владельца сооружения, проектной, изыскательной и строительной организаций, а также предприятия, выполняющего функции территориальной изыскательской организации.

Среди общих требований к карстомониторингу:

- комплексность и согласованность (во времени и пространстве) наблюдений;
- привязка точек наблюдений к характерным и важным (опасным) местам;
- частота наблюдений, отвечающая интенсивности протекания процессов и скорости изменения уровней и расходов вод в характерные периоды;

- точность измерений, обеспечивающая достоверность информации и согласованность с точностью проводимых расчетов;
- своевременность информации по результатам наблюдений и исследований, включая составление технического отчета [3].

2.1.2. ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ.

Одним из самых эффективных способов, позволяющих своевременно зарегистрировать начало и активизацию деформационных процессов в элементах сооружений от воздействия карста, является использование автоматизированных систем деформационного мониторинга. Эти системы должны обеспечивать автоматическое измерение деформационных параметров в режиме on-line с последующей математической обработкой и представлением данных в доступном виде. На основе анализа результатов обработки данных об эволюции измеренных параметров и математического моделирования деформационных процессов в комплексе «грунтовое основание – фундамент – сооружение» системы мониторинга должны позволять делать заключение о закономерностях деформационных состояний сооружения, а также прогнозировать его дальнейшее поведение.

1. Выбор структуры систем первичных датчиков и их эксплуатационных параметров (диапазон измерений, точность, дискретность расположения) с использованием математического моделирования деформационного поведения объекта.
2. Оценка (в автоматическом режиме) деформационных процессов во всех элементах конструкции на основе показаний дискретно расположенных первичных датчиков с использованием математической модели деформационного поведения объекта.
3. Оценка критического и предкритического состояния объекта на основе анализа эволюции деформационных параметров конструкции.

Математическая модель разрабатывается на основе следующей исходной информации: геометрия здания; физико-механические свойства материалов и строительных элементов конструкции здания; пространственное расположение грунтов и их физико-механические свойства по данным инженерно-геологических изысканий. Модель позволяет определить структуру совокупности первичных датчиков деформационного мониторинга сооружения и в автоматическом режиме по результатам измерений с дискретно распределенных первичных датчиков оценивать деформационные процессы в любом элементе сооружения. Система датчиков осуществляет измерения осадок зданий и сооружений. Полученные зависимости параметров деформационного состояния элементов сооружения являются основой для оценки остаточного временного ресурса безопасной эксплуатации сооружений [2].

2.1.3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ.

Экспериментальные исследования деформаций на закарстованных территориях осуществляются путем проведения геодезического мониторинга.

Реальное проведение такого мониторинга стало возможно с внедрением в практику научных исследований приборов спутниковой геодезии. В последнее время в мире получают все большее развитие новые совершенные технологии. В этот ряд входят Глобальные Навигационные Спутниковые Системы: американская GPS и российская ГЛОНАСС. Особенно широкое гражданское применение получила американская система GPS (глобальная система позиционирования Global Positioning System). Она обеспечивается функционированием, на орбитах набора видимых из любой точки Земли спутников, непрерывно передающих высокоточные информационное координатно-временное поле, находясь в котором пользователь с помощью специального приемника может черпать из него данные о своем положении в пространстве и во времени [1].

Современное геодезическое оборудование позволяет на качественно новом уровне фиксировать изменения НДС на исследуемых территориях. В настоящее время для этих целей используются приемники фирмы Trimble (USA). При помощи комплексов спутниковой геодезии Trimble и Sokkia и лазерных рулеток Disto Pro с миллиметровым уровнем точности определяется изменение планового положения реперов наблюдательной станции в пространстве и относительно друг друга. Изменение высотного положения реперов фиксируется с точностью порядка 0.1-0.2 мм высокоточным цифровым нивелиром Sokkia. Данные измерений записываются во внутреннюю память приборов и обрабатываются на компьютере. В результате обработки геодезических измерений становится доступным комплекс информации об изменении координат реперов наблюдательной станции, изменении полей вертикальных и горизонтальных деформаций и изменении полей напряжений, вызывающих эти деформации. Периодичность инструментальных наблюдений с выполнением полной программы измерений составляет не менее одного раза в год.

В результате геодезических измерений будет получено площадное распределение полей вертикальных и горизонтальных деформаций, определены основные закономерности изменения их во времени и рассчитаны изменения полей напряжений, вызывающие эти деформации [4].

2.1.4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ КАРСТОПРОЯВЛЕНИЙ.

Важнейшими геомеханическими параметрами, определяющими закономерности поведения пород, вмещающих карстовые полости (развитие процесса сдвижения над карстовой полостью), являются:

- параметры карстовой полости, ее размеры и форма;
- глубина ее заложения от земной поверхности или от сооружения, расположенного в зоне возможного негативного влияния;
- прочностные и структурные особенности вмещающих пород и налегающей толщи;
- гидродинамический и геодинамический режим вмещающего карстовые полости массива горных пород.

Первые три характеристики используются для расчета параметров процесса обрушения, а последние определяют возможность активизации процессов карстообразования.

Размеры и форма карстовых полостей определяются геофизическими методами (электроразведка, спектральное сейсмопрофилирование и георадарное зондирование) и в случае необходимости заверяются бурением разведочной скважины. При этом выявляется и глубина залегания пустоты, т.е. характеристики достаточные для проведения расчета возможности обрушения. Заверочное бурение дает возможность определить степень заполнения и состав заполнителя пустот, что учитывается при расчетах параметров и формы процессов сдвижения.

Большая представительность выборки геофизических исследований позволяет использовать их для разработки новой методики интерпретации результатов спектрального сейсмопрофилирования. Сущность методики заключается в использовании численного значения добротности сигнала для визуализации структурного строения массива горных пород на определенном интервале глубин. Это позволяет определить степень дезинтеграции горного массива, от которой зависят прочностные свойства налегающей толщи. Данные параметры определяют форму проявления процессов сдвижения – сдвижение горных пород с образованием воронки обрушения либо плавные деформации земной поверхности.

В основу методики положены разработанные НПФ «Геофизпрогноз» программы для построения спектральных сейсморазрезов и расчета среднего уровня добротности сигнала в заданном интервале глубин. Определив глубину залегания карстовой полости, по спектральному сейсморазрезу задаются граничные параметры для расчета добротности в известном интервале налегающей толщи. Чем выше уровень добротности сигнала налегающей толщи, тем больше вероятность образования воронки обрушения, так как в этом случае горный массив имеет минимальную спайность и находится в дезинтегрированном

состоянии.

Имея выборку из нескольких профилей с известными координатами точек, используя графические редакторы, в частности может быть использована программа «Surfer», можно построить геомеханическую модель исследуемого участка [1].

2.1.5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ КАРСТОПРОЯВЛЕНИЙ.

С точки зрения оценки опасности карста для различных объектов, выделяются следующие типы карстовых деформаций земной поверхности:

- обрушение налегающей толщи пород над карстовыми пустотами;
- постепенные длительные оседания (коррозия) земной поверхности в местах выхода растворимых пород на поверхность за счет их растворения и суффозионного выноса;
- комбинированные и промежуточные типы (плавные оседания, осложненные провалами).

Прогнозирование последствий влияния карстопроявлений на земную поверхность с обрушением налегающих пород возможно с использованием комплексных критериев, учитывающих взаимосвязь геометрических параметров карстовых полостей, физико-механических свойств, структурных особенностей массива горных пород и геодинамических параметров. Комплексными критериями для оценки устойчивого состояния и прогноза формы проявления процесса сдвижения земной поверхности над карстовыми полостями ограниченных размеров являются:

- отношение приведенной глубины верхней границы карстовой полости в коренных породах к эквивалентному пролету закарстованного пространства;
- отношение глубины верхней границы карстовой полости в коренных породах к размеру ее вертикальной проекции на разрезе;
- степень заполнения и состав заполнителя карстовой полости;
- структурно-тектоническое строение налегающей толщи горных пород, степень трещиноватости и раздробленности;
- уровень современных геодинамических движений на участке карстопроявлений.

Из этого следует, что диагностика карстопроявлений, наряду с изучением традиционно учитываемых факторов (параметров карстовой полости, условий залегания, степени заполнения, свойств пород), требует проведения исследований структурной нарушенности пород тектонического нарушения, определяемой коэффициентом добротности метода спектрального сейсмозондирования и параметров современных геодинамических движений методами спутниковой геодезии, комплекс которых позволяет оценить уровень

тиксотропии в породах и возможность развития процесса обрушения над карстовой полостью.

На основании проведенного анализа карстоопасного участка, предлагается использовать для расчета процесса сдвижения от карстовых полостей следующие зависимости:

1. При отсутствии геодинамически активных нарушений в налегающей толще пород земная поверхность не претерпит опасных деформаций если: $H_3 > 55l_3 f^{-1/3}$, где H_3 – глубина залегания карста (рис. 2); l_3 – эквивалентный пролет карстовой полости; f – крепость пород по М.М. Протодьяконову.

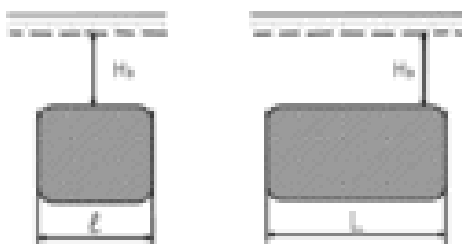


Рисунок 2. Схема к определению устойчивого состояния земной поверхности: а) разрез вкрест простирания карстовой полости; б) проекция на вертикальную плоскость.

Для карстовых полостей, где длина по простиранию (L) меньше двукратной величины проекции обнажения вкрест простирания на горизонтальную плоскость (l), т.е. $L \leq 2l$, значение эквивалентного пролета определяется по формуле: $l_3 = \frac{L \cdot l}{\sqrt{L^2 + l^2}}$.

В карстовых полостях большой длины, удовлетворяющих условию $L > 2l$, можно принять, что $l_3 = L$.

2. При наличии геодинамически активных тектонических нарушений на земной поверхности не образуется провала, но развиваются плавные деформации, требующие специальных мер по обеспечению безопасности объектов, если: $H_3 S / (V - V_{\text{дисп}}) > K$, где

H_3 – глубина залегания карста; S – площадь карста в плане; V – объем карста;

$V_{\text{дисп}}$ – объем дисперсного заполнителя; K – коэффициент, определяемый по остаточному разрыхлению обрушенных пород.

Использование предлагаемой методики для расчета параметров процесса сдвижения карстовых полостей позволяет определить степень опасности карстопроявлений, возможность безопасного строительства и эксплуатации объектов недропользования на карстоопасных территориях. В случае попадания объектов недропользования в зону опасных деформаций требуется введение и отсутствии возможности изменения месторасположения объекта, требуется проведение специальных мероприятий по укреплению карстующихся пород [1].

2.2. ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.

2.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБСЛЕДОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА КАРСТООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.

Обследование состояния зданий и сооружений производится в соответствии с Федеральными Законами России (ФЗ) и действующими нормативными документами:

- ФЗ «Градостроительный кодекс РФ»;
- ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
- ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
- СП 13-102-2003 «Свод правил по проектированию и строительству. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»;
- СП 50-101 -2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений»;
- СП 16.133330.2011 «Стальные конструкции»;
- СНиП 70.133330.2011 «Несущие и ограждающие конструкции»;
- ТСН 22-34-2005 «Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края».

Обследование состояния зданий и сооружений проводится по сигналам с мест о деформациях конструкций зданий и сооружений (от населения, жилищно-коммунальных служб, различных предприятий).

После официального запроса обследование проводится весьма оперативно, учитывая возможность дальнейшего развития деформаций и увеличения в связи с этим опасности карстопроявлений для сооружений. Поэтому чрезвычайно важно как можно раньше зафиксировать все деформации с целью скорейшего принятия мер по обеспечению безопасности сооружений.

Прежде всего, при обследовании обращается внимание на состояние фундаментов, подземных коммуникаций и на деформации конструкций, которые происходят вследствие деформаций оснований (провалов, просадок, оседаний). Подробно описываются все деформации конструкций (трещины, крены, просадки и т.д.). Фиксируются местоположение трещин в конструкциях, их длина, ширина, характер раскрытия, форма (прямолинейная, ломаная и т.д.). Собираются данные обо всех ранее происходивших деформациях сооружений, авариях подземных водопроводящих коммуникаций. Все эти данные собираются путём опроса свидетелей деформаций, непосредственного визуального обследования, измерения размеров трещин, прогибов и кренов конструкций, привязки

деформаций к месту, фотосъёмки. В необходимых случаях производится вскрытие фундаментов до их подошвы с обследованием оснований.

В районе ответственных сооружений и при наличии опасности дальнейшего активного развития карста проводится повторное обследование для оценки развития деформаций.

Параллельно с непосредственным обследованием сооружений, а также, в случае необходимости, проводится изучение проектно-изыскательских материалов.

После осмотра составляется акт или заключение, где подробно описываются обнаруженные деформации, характеризуется природно-техногенная обстановка площадки расположения сооружения, определяются причины деформаций, а в заключении составляется инженерно-геологическая характеристика с оценкой карстоопасности площадки и технического состояния сооружения согласно СП 13-102-2003, даются рекомендации по дальнейшей эксплуатации деформируемых сооружений, а также, в случае необходимости, по составу и методике дополнительных исследований (изысканий) для уточнения причин деформаций и прогноза их развития.

Основные сведения о деформациях, полученные в результате обследования, заносят в компьютеризованный банк данных и разрабатывается и передаётся заказчику паспорт о деформациях с рекомендациями по мероприятиям эксплуатационного характера [5].

Комплекс стационарного слежения обычно включает гидрогеологические и гидрологические (обеспеченные основными метеоданными) наблюдения за режимом подземных и (при необходимости) поверхностных вод, геодезический контроль за осадками земной поверхности и грунтов покровной толщи, изменениями параметров поверхностных карстопроявлений и за деформациями зданий и сооружений.

Продолжительность наблюдений не менее гидрологического года, по итогам которого (как и по промежуточным данным) принимается решение (совместно с Заказчиком) об их эффективности, продолжении, оптимизации и возможном расширении объектов изучения, включая техногенные составляющие формирования техноприродных условий развития карста и его активизации.

Может быть эффективно использование геофизических методов, в частности для оценки состояния и устойчивости грунтов покровной толщи, по отслеживанию мест разгрузки и утечек вод, их перетоков и изменений минерализации.

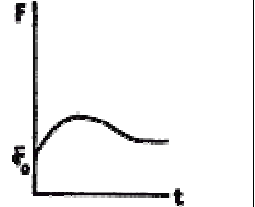
Обязательно периодическое (особенно в весенне-летний период) обследование территории с опросом местных жителей по специально разрабатываемым анкетам [3].

2.2.2. ВИЗУАЛЬНЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ.

Таблица 2.

Особенности карстовых деформаций и их взаимодействия с сооружениями

Характеристика карстопроявлений	Виды поверхностных карстовых деформаций			
	Провал	Карстовая просадка	Локальное оседание	Оседание
1	2	3	4	5
Состояние грунта в зоне карстопроявления	Полное нарушение сплошности грунта		Как правило, отсутствие нарушения сплошности грунта	Отсутствие нарушения сплошности грунта
	Как правило, наличие трещин вокруг провальной формы	Как правило, отсутствие трещин вокруг карстопроявления		
	Наличие ослабленной зоны грунтов вокруг карстопроявления			Как правило, отсутствие ослабленной зоны вокруг мульды оседания. Наличие зоны повышенной водопроницаемости и в краевых частях мульды
	Наличие вертикального столба разуплотненных грунтов непосредственно под карстовой формой до поверхности карстующихся пород			Как правило, отсутствие вертикального столба разуплотненных грунтов
Характер проявления в плане	Локальный			Площадной

Форма и размеры в плане, м (d - диаметр, b - наибольший размер, n = 1...10)	Круглая $d = n(10^0 \dots 10^1)$	Круглая $d = n10^1$	$b = n(10^1 \dots 10^2)$	
Форма вертикали в момент формирования	С нависающими стенками, цилиндрическая, коническая	как правило, цилиндрическая	Чашеобразная Блюдцеобразная	
Глубина в момент образования	Доли метра - несколько метров	Сантиметры	Как правило, до 1 м	
Контакт подошвы фундамента в момент образований	Отсутствует	Как правило, имеется		
Долговременность проявления	Почти мгновенно, минуты; дальнейшее увеличение размеров до предельного размера в течение нескольких месяцев	Дни, месяцы	Годы, десятилетия	
Характер взаимодействия карстовых деформаций фундаментом во времени t (F - дополнительное воздействие на фундамент в месте карстовой деформации, F ₀ - первоначальное воздействие)				

[3]

Для предупреждения деформаций в зданиях и сооружениях организуются наблюдения (как визуальные, так и инструментальные).

Инструментальные наблюдения проводят с помощью контрольно-измерительной аппаратуры по измерению вертикальных и горизонтальных смещений сооружений, их элементов и оснований. Инструментальные наблюдения за зданиями должны включать наблюдения за деформациями земной поверхности у наружных стен зданий, за осадками зданий и горизонтальными деформациями их цоколей или наружных стен и за отклонениями от вертикали основных строительных конструкций.

Геодезические наблюдения за развитием осадок фундаментов и просадок грунтов одноэтажных производственных зданий целесообразно производить с помощью геометрического нивелирования и с использованием для измерения горизонтальных перемещений компарированных рулеток, с металлической лентой. Результаты мер наблюдения должны систематически анализироваться, обобщаться и оперативно использоваться специализированными организациями для решения различных вопросов сдвижения горных пород и охраны сооружений.

По результатам проведения инструментальных наблюдений и анализа материалов составляется технический отчет.

В период активизации карстового процесса необходимо вести регулярные наблюдения за трещинообразованием в сооружении, состоянием деформационных швов, участками примыкания грунтовых и бетонных конструкций, положением фундаментов под оборудованием. Обследование поврежденных зданий рекомендуется производить поэтапно: предварительным освидетельствованием и детальным обследованием. На основе анализа материалов освидетельствования рекомендуется оценивать эксплуатационную пригодность и степень аварийности объекта. Обследование объекта должно включать: инженерно-геологические изыскания, прогноз гидрогеологических условий и просадочных деформаций, длительные геодезические наблюдения за осадками конструкций, детальное натурное обследование подземных и наземных конструкций, исследование условий эксплуатации. С помощью геодезических измерений рекомендуется определять осадки, горизонтальные смещения конструкций здания и просадки прилегающей к зданию территории. По результатам съемок рекомендуется вычертить графики развития просадок, профили осадок по рядам и осям здания, планы с нанесением изолиний, планы здания с фактическим расположением конструкций по горизонтали, разрезы здания с нанесением отклонений конструкций от вертикали. Рекомендуется также вычислять относительные деформации здания (неравномерность осадок, прогиб или выгиб, крен, угол закручивания), среднюю осадку, наклоны и кривизну поверхности грунта, определять контуры просадочной воронки и ее параметры. Данные обследования рекомендуется использовать при расчете

деформированного здания, оценке его эксплуатационной пригодности и назначении объема и состава защитных мероприятий по обеспечению его надежности.

2.2.3. ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ.

Обследование жилых и гражданских зданий, построенных на карстоопасных территориях, проводится при развитии видимых деформаций и повреждений в конструкциях и узлах здания, а также проявлении недопустимых кренов по условиям эксплуатации здания и лифтов.

Цель обследования - оценка эксплуатационной пригодности здания и определение объема ремонтно-восстановительных работ с учетом прогнозируемых осадок здания и деформаций его конструктивных элементов.

Первый этап обследования включает сбор информации о характеристике объекта и инженерно-геологических условиях площадки строительства, изучение вопросов условий эксплуатации и определения причин, приведших к неравномерным деформациям основания, освидетельствование строительных конструкций и здания в целом.

Второй этап предусматривает детальное обследование грунтовых условий и конструкций наземной и подземной частей здания, проведение поверочного расчета здания и отдельных конструктивных элементов, прогноз возможной просадки основания и развития трещин в конструкциях.

Проверяют соответствие габаритных размеров здания, узлов соединения конструкций, размеров опорных площадок и т.д. проектным решениям. Проводят также оценку физико-механических качеств материала конструкций. Осуществляются вскрытие конструкций, изготовление и установка подмостей, вентиляция и дополнительное освещение подвальных помещений, обогрев помещений в зимнее время.

Основные работы предусматривают тщательный осмотр наземной и подземной частей здания, выявление трещин, сколов, сдвигов конструкций с опорных площадок, раскрытия швов.

В местах наибольшего раскрытия трещин устанавливаются маяки с порядковым номером. Конец трещины по длине фиксируют на поверхности конструкции поперечной риской острым инструментом или нанесением краски. Трещины наносят на схему здания, отмечая номера и дату установки маяков, и составляют график раскрытия. Параметры трещинообразования - максимальное раскрытие и относительное развитие трещин. При обследовании кладки из штучных материалов устанавливают тип и толщину

швов, наличие дефектных участков. Кирпичную кладку в местах повреждений проверяют, простукивая молотком, участки с трещинами очищают от штукатурного слоя, проверяют нарушение монолитности, вскрывают отслоившуюся толщу, измеряют ее глубину и площадь.

Состояние фундаментов в местах вероятного их повреждения определяется с помощью вскрытия до отметки их подошвы. Периодичность наблюдений за осадками здания принимается в зависимости от скорости осадок: более 5 мм/сут - не реже чем каждые 3 дня; 3 - 0,5 мм/сут - каждую неделю; менее 0,5 мм/сут - каждый месяц. За условную стабилизацию осадок может быть принята скорость 0,1 мм/сут.

Наиболее простыми методами для измерений деформаций эксплуатируемых производственных зданий на закарстованных территориях являются: геометрическое (с применением нивелира) и тригонометрическое (с применением теодолита) нивелирование; створные наблюдения и визирование (с применением теодолита).

Наиболее универсальным, позволяющим измерять деформации любых видов одновременно вдоль трех координатных осей в любых недоступных точках эксплуатируемых зданий, считается стереофотограмметрия, для чего применяются комплексы специальных приборов и принадлежностей, включающие фототеодолиты, стереофотограмметрические камеры, дальномерные устройства.

3. ПРИМЕРЫ

3.1. ПРИМЕР ОБСЛЕДОВАНИЯ 5-ЭТАЖНОГО КИРПИЧНОГО ДОМА В КАРСТОВОМ Р-НЕ Г.КУНГУР, ПЕРМСКИЙ КРАЙ

Грунтовое основание состоит из нескольких неравномерно залегающих пластов грунтовых массивов, имеющих различные физико-механические свойства. Предполагается, что каждый пласт грунта — упруго-пластическое тело (см. таблицу 3). Здание представляет собой 5-этажный кирпичный дом на свайном фундаменте. Физико-механические свойства здания и фундамента считаются упругими. Внешним силовым фактором, действующим на систему, является собственный вес. Предполагается, что в грунтовом основании под зданием появляется карстовая полость, которая изменяет напряженно-деформированное состояние, сформировавшееся в элементах системы до ее появления. Расчетная схема задачи о деформационном взаимодействии карстовой полости с системой «грунтовое основание – фундамент – сооружение» представлена на рис. 3.

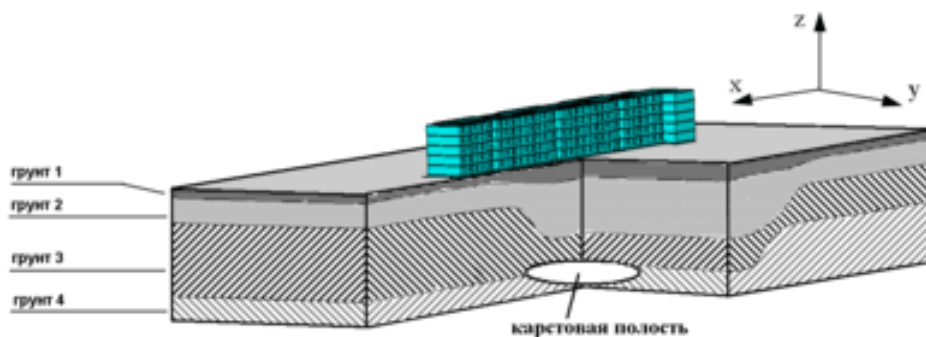


Рисунок 3. Расчетная схема системы «карст – грунтовое основание – фундамент – сооружение»

Материал грунтового массива, непосредственно заполненный сваями и представляющий неоднородную гетерогенную среду, моделировался гомогенным трансверсально-изотропным линейно-упругим материалом с соответствующими эффективными свойствами. Приведено обоснование возможности такого моделирования. Рассчитанные значения эффективных свойств композиции «свая – грунт» приведены в таблице 4.

Таблица 3.

Характеристики материалов в расчетной модели

№	Материал	Плотность, кг/м ³	E, МПа	ν	Уд. сцепление C, МПа	Угол вн. трения γ , град
1	Бетон	2500	20000	0.22	-	-
2	Кирпичная кладка	1900	750	0.25	-	-
3	Грунт 1 (Насыпной)	1700	1.9	0.3	44	17
4	Грунт 2 (Глина)	1800	6.4	0.35	36	8
5	Грунт 3 (Гравийный)	2100	20	0.3	32	32
6	Грунт 4 (Ангидрит)	2800	200	0.23	-	-

Таблица 4.

Эффективные свойства материалов

Материал	E_z , МПа	E_x , МПа	G_{yz} , МПа	ν_{xy}	ν_{zx}
Насып. грунт-свая	990	2.19	0.807	0.428	0.297
Глина-свая	994	7.66	2.62	0.537	0.344

Численное решение задачи о деформационном взаимодействии карстовой полости с системой «грунтовое основание – фундамент – сооружение» осуществлялось методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS. В проведенных численных экспериментах результат влияния карстовой полости на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) в элементах системы «грунтовое основание – фундамент – здание» устанавливался путем сопоставления двух решений – с карстовой полостью и без нее.

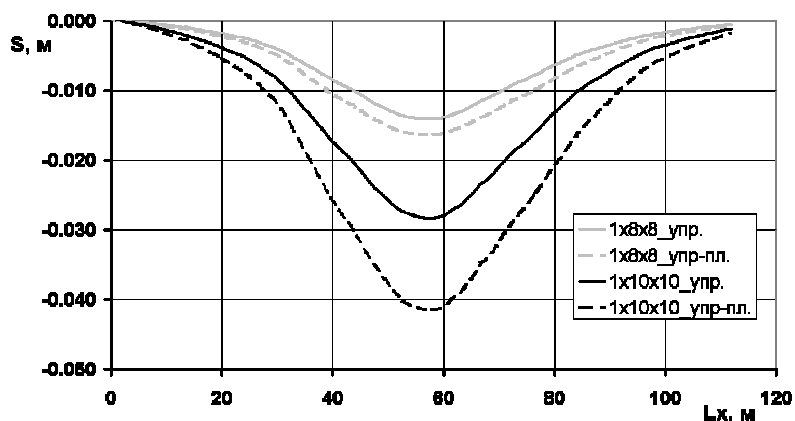


Рисунок 3. Изменения вертикальных осадок фундамента S вдоль оси здания L_x для двух вариантов размеров карстовой полости, соответственно в упругом и упруго-пластическом приближении для грунта.

Во всех проведенных расчетах карстовая полость представляется в виде эллипсоида с фиксированным значением вертикальной полуоси, равным 1 м, и с равными значениями двух горизонтальных полуосей. Изменение объема и границы карстовой полости осуществлялось за счет изменения размеров горизонтальных полуосей. Глубина залегания полости для представленных ниже результатов составила 31 м.

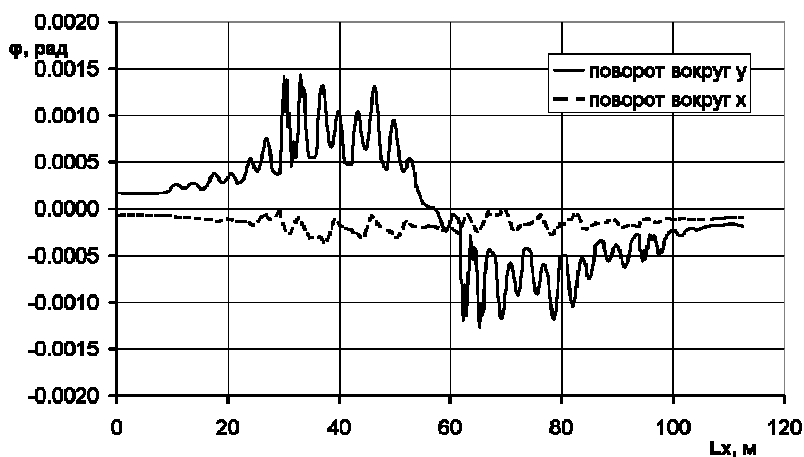


Рисунок 4. Изменение величин углов поворота φ верхней части здания вдоль его длины L_x за счет появления карстовой полости с размерами полуосей $1 \times 10 \times 10$ м в упругой постановке.

На рис. 3 приведены изменения вертикальных осадок фундамента S вдоль продольной оси здания L_x для двух размеров карстовой полости, полученные в рамках упругого и упруго-пластического приближений. В ходе численных экспериментов также оценивалось изменение углов наклона (поворота) в некоторых точках несущих стен здания, которые представлены на рис. 4.

Из анализа проведенных численных экспериментов следует, что факты появления и изменения карстовой полости могут быть зафиксированы, если измерять следующие деформационные параметры:

- изменения величин вертикальных осадок фундамента здания:
- точность измерения 1 мм,
- диапазон измерения 0 ? 10 см,
- дискретность по длине фундамента 10 м;
- изменения величин углов поворота на несущих стенах здания:
- точность измерения 0.00005 рад,
- диапазон измерения 0 ? 0.005 рад,
- изменение компонент тензора деформаций на несущих стенах здания:
- точность измерения 10^{-5} ,
- диапазон измерения 0 ? 0.002.

Из полученных результатов следуют выводы:

- все приведенные деформационные параметры хороши тем, что экспериментально могут быть измерены;
- измерения углов наклона и компонент тензора деформаций в дискретных точках, во-первых, малоинформативны с точки зрения оценки НДС в произвольных фрагментах конструкции и требуют большое количество точек измерений (а значит, и датчиков);
- изменения величин вертикальных осадок фундамента здания имеют преимущество перед другими измеряемыми величинами: во-первых, потому что с помощью математической модели деформационного поведения позволяют оценить НДС любых других элементов здания, а во-вторых, не требуют большого числа точек измерений (а значит, датчиков), чтобы описать распределения этих величин по основанию фундамента.

Таким образом, численные эксперименты по исследованию закономерностей квазистатических деформационных процессов взаимодействия карстовой полости с системой «грунтовое основание – фундамент – сооружение» позволили определить структуру совокупности первичных датчиков, необходимых для деформационного мониторинга элементов здания. Основополагающей группой датчиков являются измерители вертикальных осадок, дискретно распределенные по периметру фундаментов здания. Датчики по

измерению углов наклона и линейных деформаций также вошли в состав системы, но лишь с целью корректировки параметров математической модели при адаптации ее к объекту мониторинга.

В системе мониторинга для регистрации неоднородности осадок фундаментов был выбран метод гидростатического нивелирования. Этот метод позволяет измерять вертикальные перемещения точек элементов сооружения, в которых закреплены датчики гидронивелирования, относительно горизонтальной поверхности, формируемой уровнями поверхности жидкости в сообщающихся объемах датчиков. В качестве недостатка метода следует отметить, что он не позволяет измерять жесткие смещения здания и его поворот относительно оси, направление которой совпадает с направлением поля тяжести. Но следует отметить, что эти жесткие трансляции не изменяют НДС конструкции.

В разработанной системе измерения неоднородности осадок текущее положение уровня жидкости относительно измерительного модуля осуществляется с помощью поплавка и индуктивного датчика линейных перемещений (LVP-100 GA-SA7-I фирмы Micro-Epsilon). Для рассматриваемого 5-этажного жилого дома оценка погрешности датчика уровня составила (± 0.5 мм), а диапазон изменения уровня (± 5 см).

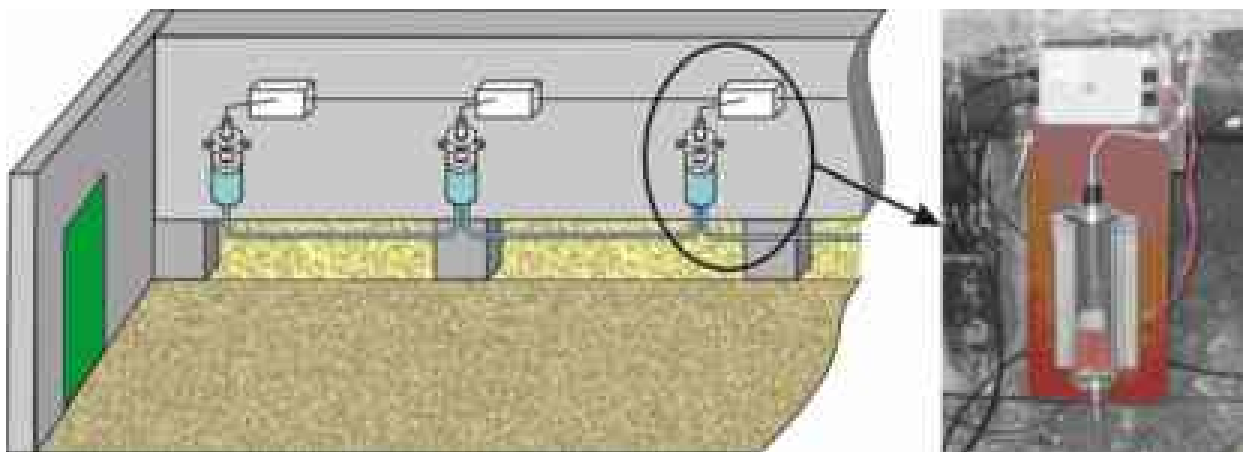


Рисунок 5. Внешний вид системы измерения неравномерности осадок фундаментов.

На рис. 5 представлен внешний вид системы измерения неравномерности осадок фундаментов. На основе проведенных расчетов была выбрана схема размещения датчиков в подвале здания (рис. 6), согласно которой на фасадной и дворовой частях фундаментов здания располагаются по 10 датчиков.

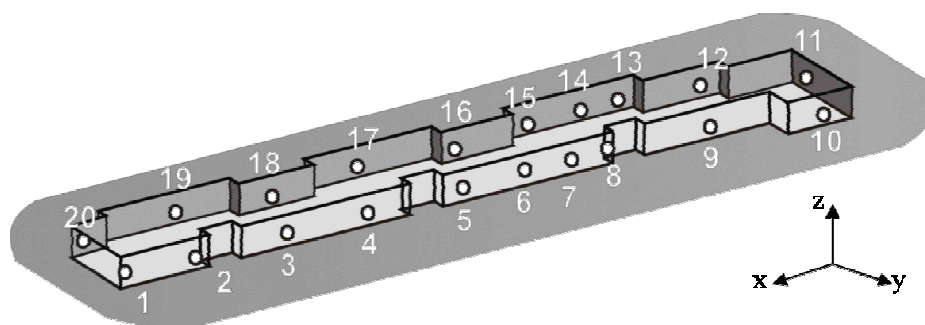


Рисунок. 6. Схема размещения датчиков в подвале здания

Известно, что параметры динамической реакции системы «грунтовое основание – фундамент – сооружение» на внешнее динамическое воздействие являются информативными для деформационного мониторинга. В качестве параметров динамической реакции могут быть: значения и распределения собственных частот; уровни амплитуд ускорений в элементах сооружения; величины, характеризующие диссипативное поведение элементов сооружения и т.п. Для математического моделирования этих величин была поставлена начально-краевая задача о динамической деформационной реакции системы «грунтовое основание – фундамент – сооружение» на импульсное силовое воздействие на поверхность грунта. Численная реализация этой задачи позволила оценить диапазон частот колебаний конструкции здания (от 1 Гц и выше), а также амплитуды перемещений (10^{-8} – 10^{-6} м) и скоростей (10^{-7} – 10^{-5} м/с), вызванных воздействием проезжающего транспорта. Исходя из этой информации, в качестве прибора, регистрирующего динамические реакции системы, был выбран 3-х компонентный сейсмометр СМЕ4111.

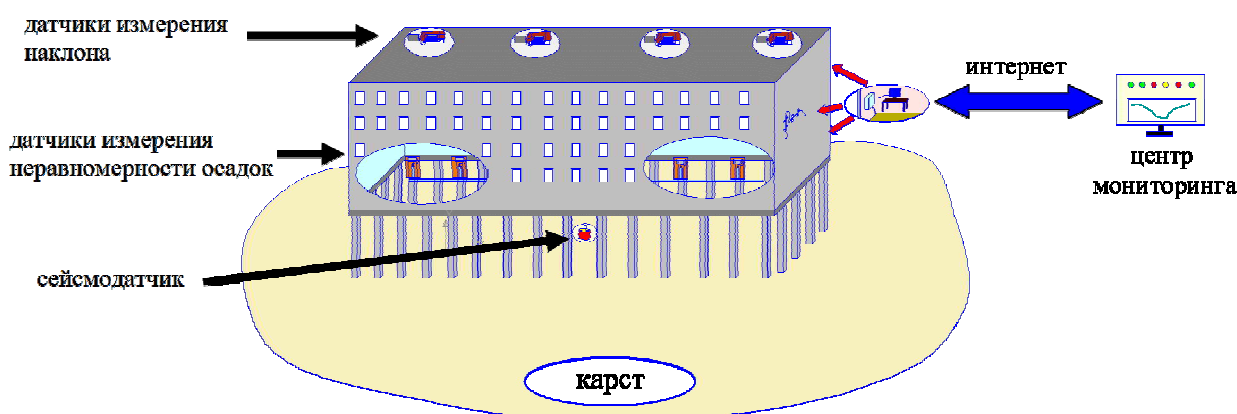


Рис. 7. Принципиальная схема системы автоматизированного мониторинга деформационного состояния сооружения.

На основании анализа результатов всех численных экспериментов были конкретизированы совокупности всех датчиков, вошедших в состав системы

деформационного мониторинга, и их параметры.

На рис. 7 представлена принципиальная схема системы автоматизированного мониторинга деформационного состояния сооружения, включающая в себя:

- датчики, установленные на конструкции объекта;
- подсистему сбора информации с датчиков;
- подсистему передачи информации на сервер центра мониторинга;
- подсистему хранения измеренных данных и управления ими на сервере центра мониторинга;
- подсистему обработки, анализа информации;
- подсистему визуализации данных для пользователей.

По протоколу, определяющему режим работы системы, измерения, сбор и передача данных на центральный сервер осуществлялась каждые 1.5 часа. С помощью разработанных программных средств производилась обработка поступающей информации в аналитическом блоке системы мониторинга, в результате чего были получены зависимости, которые характеризуют деформационные процессы, происходящие в наблюдаемом объекте. В частности, на рис. 8 представлены распределения величин осадок вдоль периметра фундаментов за все время работы системы мониторинга, а на рис. 9 – эволюции этих величин в деформационно-активных точках фундаментов.

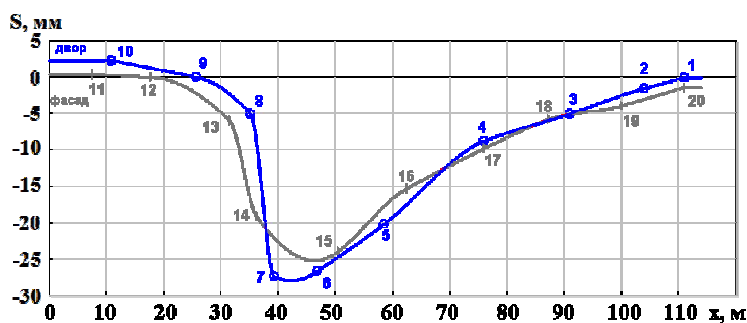


Рис. 8. Распределения осадок вдоль периметра фундаментов за все время наблюдений.

Цифры на графиках определяют местоположение датчика в соответствии с рис.5.

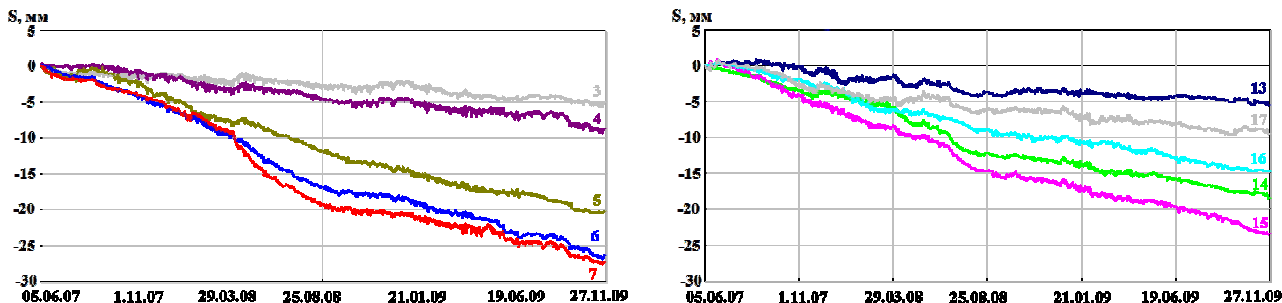


Рис. 9. Эволюция осадок в месте установки датчиков 3 – 7 и 13 – 17

Приведенные зависимости (рис. 8) позволяют получить выражения для первых производных от осадок по длине фундамента, которые, согласно СНиПам (Строительные нормы и правила), являются нормативными величинами и называются относительными разностями осадок. Эволюционные зависимости (рис. 10) позволяют оценить скорости изменения нормативного деформационного параметра – относительной разности осадок. Знание нормативной предельно допустимой величины относительной разности осадок (по данным СНиП) и распределения скоростей и достигнутых уровней относительных разностей осадок позволяет получить оценку временного интервала безопасной эксплуатации сооружения по данному параметру.

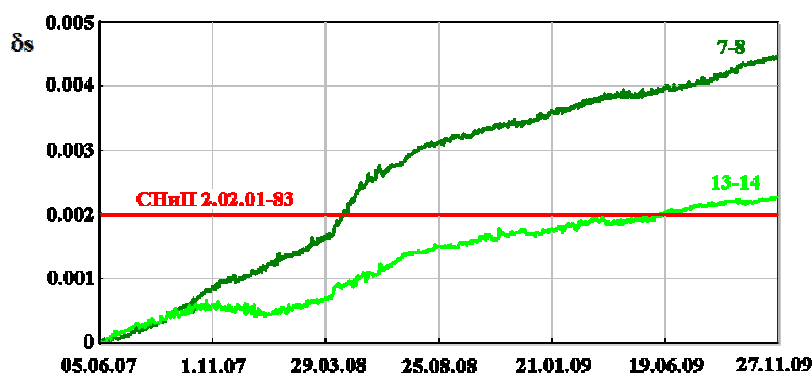


Рис. 10. Эволюция относительной разности осадок фундаментов δ_s между датчиками (7-8) и (13-14), согласно рис.6

Доступ к результатам обработки данных измерений был организован через Интернет в on-line режиме и открыт для любого пользователя, наделенного правом доступа к соответствующей web-странице. Проведенные наблюдения деформационных процессов продемонстрировали рост относительной разности осадок между датчиками. По достижению пороговых значений разности осадок на конкретных датчиках система выдавала предупреждение на web-странице в виде кружков желтого или красного цвета, символизирующее критическое состояние фундамента в окрестности этих датчиков.

Получаемая от систем дискретно распределенных датчиков информация не может в полной мере характеризовать деформационные процессы во всей совокупности элементов здания. Для воспроизведения полной картины НДС всей конструкции в работе используется математическая модель, описывающая закономерности деформационных процессов в системе «карст – грунтовое основание – фундамент – сооружение». В этой математической модели грунтовое основание отбрасывалось, а взаимодействие его с фундаментами учитывалось за счет граничных условий, которые формулировались на основании результатов измерений относительных осадок. Таким образом, в соответствии с эволюционной последовательностью изменений осадок получены эволюционные изменения

НДС во всех элементах здания. Численная реализация краевых задач осуществлялась методом конечных элементов с использованием программного пакета ANSYS в автоматическом режиме по программному запросу из аналитического блока системы мониторинга. Результаты решения этих задач автоматически размещались на web-странице и становились доступными через Интернет.

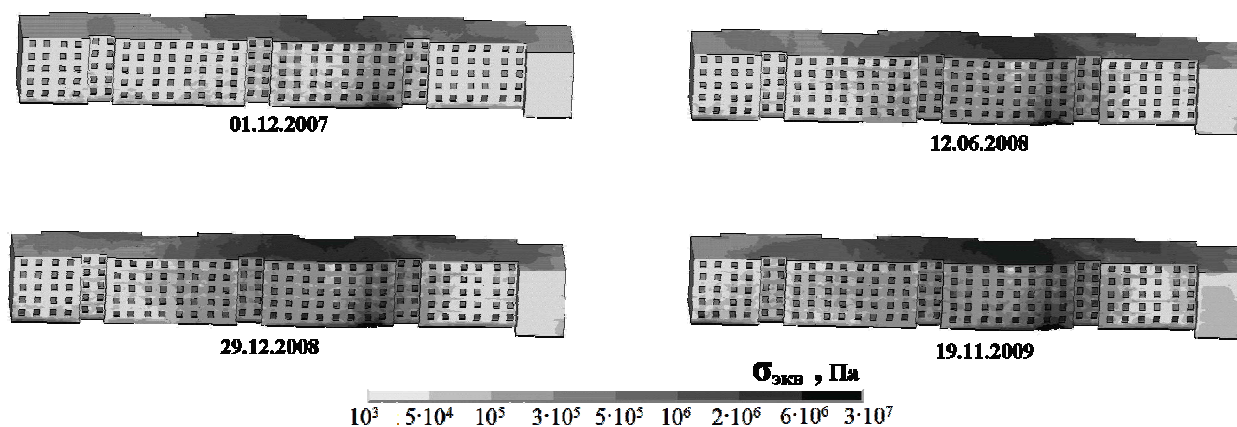


Рис. 11. Изменения эквивалентных напряжений в конструкции здания вследствие осадок фундаментов.

На рис. 11 показаны изменения эквивалентных напряжений в конструкции здания вследствие осадок фундаментов. Такой подход позволяет определять местоположение и эволюцию деформационных параметров отдельных элементов здания.

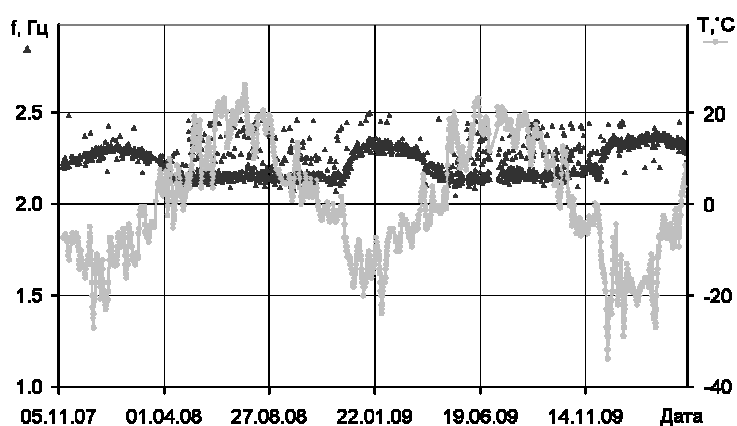


Рис. 12. Эволюция низшей собственной частоты конструкции здания.

В ходе работы системы мониторинга зафиксировано интересное явление – сезонные смещения низшей собственной частоты конструкции здания (рис. 12), связанные, по всей видимости, с изменениями физико-механических свойств грунтов [2].

3.2. ПРИМЕР ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ В КАРСТООПАСНОМ РАЙОНЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ.

Рассмотрены основные причины и условия возникновения аварийных деформаций крупнопанельных жилых домов в карстоопасном районе Самарской области, а также меры по обеспечению их устойчивости и возможности дальнейшей эксплуатации.

В апреле 2001 г. в поселке Серноводск Сергиевского района Самарской области произошла резкая просадка грунтов оснований под углом одной из секций многосекционного крупнопанельного 80-квартирного жилого дома. Это привело к отрыву стеновой панели от блоков стены подвала на 20 см и резкой просадке грунта (до 60 см) вблизи аварийного участка здания. Были выполнены инженерно-техническое обследование здания и большой объем инженерно-геологических изысканий. Анализ результатов исследований позволил достоверно оценить инженерно-геологические условия площадки, выявить причины аварийной ситуации и разработать проектные решения по обеспечению надежной эксплуатации здания.

Участок находится на склоне водораздела рек Сок и Сургут, обращенном в сторону р. Сургут. Уклон территории – на юго-запад. Поверхность площадки характеризуется абсолютными отметками 87,04...89,55 м. Рельеф прилегающей территории сложный. Секции 1...4 здания размещены вдоль края склона (рис.13). Перепад отметок с северо-западной стороны (около секции 4) – 1,87 м. С южной стороны (вдоль здания) – выемка, имеющая два уступа: перепад отметок в районе аварийного участка – секции 2 здания – 2,7 м до уровня грунтово-щебеночной дороги. Перепад высот от дороги и гаражного массива – 8,64 м. Общий перепад отметок по высоте склона на ближайшем к зданию участке с его южной стороны – 11,34 м. В северо-восточной части участка отмечен уступ рельефа местности высотой 2,72 м, на котором также построены многоэтажные дома, связанные с обследуемым домом коммуникациями. Инженерно-геологические изыскания на площадке выполнялись Куйбышевским (Самарским) трестом инженерно-строительных изысканий в 1984, 1988 и 2001 гг. В 1984 г. изыскания выполняли для целей проектирования и строительства здания. Всеми скважинами вскрыта толща доломитовой муки $eMz-Kz(P2kz)$, светло-серой, со щебнем доломита и известняка (от 30 до 40%), маловлажной, с пятнами ожелезнения и прослоями выветрелых глин. С поверхности толща, покрытая небольшим (0,2...0,6 м) слоем насыпных грунтов ($tQIV$). При бурении до глубины 10 м грунтовые воды не вскрыты. По результатам штамповых испытаний, в Самарском регионе модуль деформации $E = 10$ МПа. Изыскания показали, что исследуемая территория карстоопасна. Карст открытый, по литологическому составу – карбонатный. Карстующиеся породы находятся в зоне аэрации. Условия участка неблагоприятны для строительства. В процессе эксплуатации здания

запроектированы без учета карстоопасности района и рекомендаций КуйбышевТИСИЗ. Необходимость повторных инженерно геологических работ возникла при строительстве секции №4 здания в 1988 г., когда при отрывке котлована в северо-западной его стенке была обнаружена карстовая полость, уходящая в сторону откоса по ул. Калинина.

Было пробурено 7 скважин для выявления размеров карстовой полости. Полость у здания – на глубине 1,49 м от поверхности до 2,8 м со стороны улицы, т. е. наблюдался уклон полости в сторону понижения рельефа. Полость была заполнена цементным раствором. Изыскания 2001 г. обусловлены появлением трещин в стенах секции 2 здания с последующими провальными деформациями грунтов, аварийными деформациями фундаментов в районе секций 2 и 3 и необходимостью разработки надежных противоаварийных мер. Главной причиной аварийной ситуации признана активизация карстовых процессов, спровоцированная исключением естественного водостока и утечками из водонесущих сетей при неправильной посадке здания на местности, а также неучетом карстоопасности района при проектировании. Работы по замене конструкций водонесущих сетей со стороны фасада здания в месте активных деформаций грунтов на новые, соответствующие требованиям проектирования в карстоопасных рай-

онах, были начаты немедленно. На обследуемой площадке вблизи здания было пробурено 18 скважин глубиной от 3,5 до 25 м, выполнены лабораторные исследования отобранных из скважин монолитов грунтов, статическое зондирование грунтов основания до глубины 2,8...8,6 м по 9 точкам и георадиолокационные исследования по 6 профилям.

Скважинами, пробуренными вблизи главного фасада со стороны дворовой территории, вскрыты доломитовая мука (eMz-KzP2kz) и выветрелый трещиноватый доломит P2kz с гнездами и прослоями доломитовой муки. Георадиолокационные исследования подтвердили отмеченную при бурении трещиноватость пород и выявили расположение гнезд доломитовой муки и разрушенного до состояния щебня доломита. Зоны ослабления выявлены до глубины 27,5 м, связаны между собой или могут соединяться при дальнейшем разрушении в результате техногенных воздействий. Выявлены зоны повышенной влажности грунтов на глубине водоносного горизонта и на первом уровне террасы склона. Одна зона увлажнения соответствует водоносному горизонту на глубине 15 м ниже поверхности и абсолютной отметке 81,07 м. Вторая зона повышенной влажности, расположенная на абс.отм. 83...84 м, является, вероятно, продолжением аналогичной зоны, выявленной бурением вблизи аварийного угла секции 2 здания на абс.отм. 86,30...81,0 м. Грунтовые воды вскрыты на глубине 15,8...17,4 (абс. отм. 72,15...72,70 м). Нижняя их граница, по данным георадиолокации, – на глубине 23,4 м (абс. отм. 66,7 м). Водовмещающие породы – трещиноватые доломиты. Подземные воды агрессивны к доломитам и способствуют их

растворению. При подпитке техногенными и атмосферными водами процесс растворения пород ускоряется.

Местные сернистые воды способствуют активной коррозии трубопроводов одонесущих сетей и попаданию в грунт воды повышенной температуры и агрессивности, что также обуславливает разрушение пород и размягчение доломитовой муки с полной потерей прочности. При повышенной трещиноватости и содержании гнезд доломитовой муки и щебня в водонасыщенном состоянии прочность доломита снижается от 31 до 3 МПа. При небольшой начальной влажности в случае насыщения водой доломитовая мука проявляет просадочные свойства. Так, на глубине 1,6...3,8 м вскрыты прослои доломитовой муки, коэффициенты относительной просадочности которой ϵ_{sl} при давлении 0,3 МПа составили соответственно 0,014 и 0,018.

Около места наибольших деформаций юго-западного угла под рыхлыми насыпными грунтами (от глубины 3,0 м) выявлена рыхлая зона доломитовой муки со щебнем доломита, водонасыщенная, с запахом канализации, распространенная до глубины 7,5 м. В пределах водонасыщенного рыхлого участка буровой снаряд проходил под действием собственного веса. Лабораторные исследования показали увеличение влажности доломитовой муки на этом участке от 11...20% до 22...33%.

Начиная с глубины 12,1 м бурением вскрыта еще одна зона ослабленных водонасыщенных пород, которая соответствует водоносному горизонту. Доломитовая мука повышенной влажности с запахом канализации встречена и на глубине от 2,6 до 4,1 м от поверхности. Вблизи угла аварийной секции 2 здания был расположен канализационный колодец. Со стороны фасада здания вблизи аварийного участка проходит теплотрасса. Коммуникации выполнены без учета повышенной агрессивности местных сернистых вод и карстоопасности региона. При обследовании подвала секции 2 отмечены нарушение непрерывности монолитных армированных поясов, а также следы активной коррозии труб внутренних коммуникаций вблизи аварийной зоны и многократных проливов воды в пределах подвала. Очевидно, что зона ослабления грунтов, выявленная бурением, образовалась в связи с аварийными утечками из водонесущих внутренних и наружных коммуникаций и канализационного колодца. Совмещение георадиолокационного профиля 2 с геологическим разрезом II–II в районе, соответствующем результатам бурения, показало совпадение зон ослабления, водонасыщения и размягчения водовмещающих пород (рис. 14). Пересекающиеся полости, заполненные доломитовой мукой и рыхляковым доломитом, являются своего рода сообщающимися тоннелями и при инфильтрации воды в грунт способствуют ее перемещению в пределах трещиноватого доломита. При этом образуются новые карстовые полости. Выявленная профилем георадиолокационных исследований зона

увлажнения на абс.отм. 83,40 м, вероятно, связана путями фильтрации с зоной увлажнения на аварийном участке – вблизи угла секции 2 (абс. отм. 86,30 м). Следовательно, с учетом провала, образовавшегося под углом секции 2 и приведшего к аварийной ситуации, площадку нужно рассматривать как зону активных карстовых процессов.

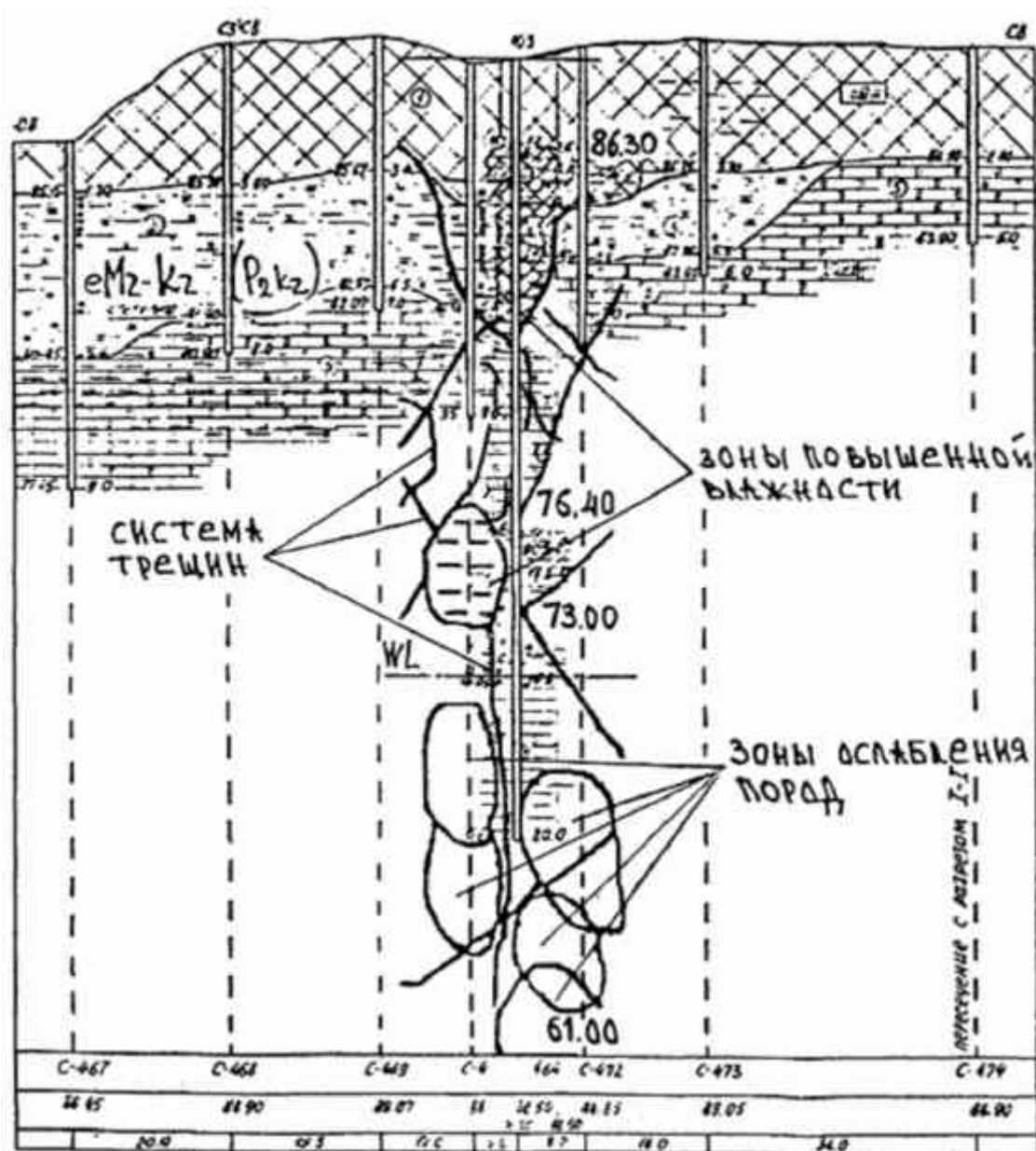


Рисунок 14. Схема геологического разреза II, совмещенного с георадиолокационным профилем 2.

Основные причины возникновения аварийной ситуации:

1. Здания аварийного жилого дома и водонесущие сети к нему запроектированы и построены без учета карстоопасности района.
2. Котлован оставался открытым в течение нескольких лет строительства, что

способствовало накоплению талых и атмосферных вод, их фильтрации в сторону склонов.

3. Расположение здания вблизи откосов и поперек склонов нарушило условия естественного водостока поверхностных, атмосферных и талых вод с территории.

4. Расположение у края склона водонесущих коммуникаций (канализации, теплоцентрали) способствовало фильтрации в пригруженный зданием откос воды повышенной агрессивности (с повышенной температурой и химически загрязненной).

Все это создает предпосылки для возникновения локальных аварийных ситуаций и нарушения общей устойчивости склона. Для предотвращения аварийной ситуации по специальным проектам были выполнены первоочередные работы по вывешиванию на сваи аварийного угла здания, затем – по повышению общей жесткости секций 2 и 3 с помощью поясов и стяжек; произведено тампонирование цементом пустот и ослабленных зон в основании указанных секций (по результатам георадиолокационных исследований). Конструкции фундаментов были усилены с учетом возможного возникновения карстовых провалов. Результаты геодезического контроля за осадками здания в период 2001–2004 гг. свидетельствуют об эффективности принятых мер. Было рекомендовано выполнение аналогичных работ для секции 1.

В Самаре и Самарской области, где широко распространены структурно-неустойчивые грунты, практически полностью отсутствуют наблюдения за осадками зданий.

Введение геомониторинга способствовало бы повышению качества проектных решений, внедрению прогрессивных технологий и конструктивных решений в фундаментостроение региона [6].

4. ПРОТИВОКАРСТОВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.

Противокарстовые инженерные мероприятия в каждом конкретном случае должны иметь технико-экономические обоснования, разрабатываемые не только из условий снижения стоимости строительства, но также из условий рентабельности предприятия.

Выбор методов укрепления грунтов карстоопасного участка зависит от параметров выявленных карстовых пустот того или иного способа, степени опасности с точки зрения деформаций земной поверхности и категорий ответственности проектируемых инженерных сооружений [1].

Таблица 4.

Категории закарстованных территорий по средним диаметрам провалов

Категории территорий по средним диаметрам карстовых провалов	Средний диаметр карстовых провалов, м	Степень сложности конструктивной защиты зданий
А	свыше 20	крайне затруднена или невозможна
Б	св. 10÷20	затруднена
В	св. 3÷10	достаточно сложна
Г	до 3	не применяется или применяется в ограниченном объеме

К геотехническим противокарстовым мероприятиям относятся:

- тампонажные работы, которые направлены на закрепление закарстованных пород и разуплотненных зон и промежуточных полостей в покровной толще;
- прорезка ненадежных грунтов с опиранием фундаментов на незакарстованные грунты (при неглубоком залегании карстующихся пород);
- устройство буронабивных или бурозабивных свай-стоек (при глубине залегания карстующихся пород до 15 м).

Закрепление закарстованных пород, разуплотненных зон и промежуточных полостей в покровной толще следует применять под эксплуатируемыми зданиями и сооружениями, относящимися к I и II уровням ответственности, построенными без должной противокарстовой защиты, при возможности образования провалов под фундаментами или в непосредственной близости от зданий и сооружений.

При этом следует иметь в виду, что закрепление карстующихся пород

водонепроницаемыми или слабопроницаемыми материалами может привести к изменению гидрогеологической обстановки и к активизации карста на прилегающих участках. В связи с этим проекты закрепления карстующихся пород должны сопровождаться прогнозом изменения активности карстовых процессов на участках расположения сооружений, находящихся в непосредственной близости от места тампонажных работ.

Процесс закрепления закарстованных пород в основании объекта состоит в тампонаже (инъекции) под давлением через скважины в закарстованную толщу (полости, каналы, разрушенные, ослабленные и разуплотненные зоны) тампонажного раствора до полного их заполнения.

Способ бурения тампонажных скважин выбирается исходя из инженерно-геологических условий объекта и возможностей производственной организации. В покровных отложениях до карстующихся пород скважины следует обсаживать металлическими, а при проведении межскважинной радиотомографии - пластиковыми трубами. В карстующихся породах скважины следует бурить без обсадки с промывкой водой или продувкой воздухом. Диаметр бурения назначается в зависимости от глубины скважины и выбранного способа бурения.

При наличии агрессивных подземных вод следует применять химически стойкие по отношению к ним цементы. Для приготовления стабильных цементно-глинистых растворов применяются глины и суглинки каолиновые, бентонитовые и др. Для приготовления нестабильных растворов применяются песок, зола уноса, каменная мука, допускается применение лессов. Крупность частиц указанных материалов не должна превышать 2 мм. Для приготовления вспененных цементных растворов рекомендуется применять специальные поверхностно-активные вещества. Для регулирования сроков схватывания тампонажных растворов в их состав следует вводить силикат натрия, хлористый кальций, углекислый калий и другие вещества.

Инъекцию растворов в закарстованные грунты следует производить отдельными зонами по глубине. Размер зон зависит от трещиноватости и пустотности пород и в среднем составляет 5 м, в породах с карстовыми полостями и крупными трещинами длину зон принимают укороченной - до 1-3 м.

Объем раствора, подлежащий закачке, принимается по расчету, исходя из состояния закрепляемой породы и заданного радиуса распространения раствора по методикам НИИОСП, ГП "Противокарстовая и береговая защита", "Гидроспецпроект" и др. организаций.

Данные по бурению скважин, их гидравлическому опробованию, нагнетанию раствора должны фиксироваться в журналах.

На основании первичной документации составляются технический отчет и исполнительные чертежи, которые являются документами постоянного хранения.

При выявлении разуплотненных участков в песчаных грунтах в активной зоне основания сооружения на глубину 5 м от подошвы фундамента применяется химическое закрепление грунта [3].

Одним из часто используемых противокарстовых мероприятий при укреплении объектов городской застройки на настоящий момент времени является буроинъекционный способ тампонирования грунтов, разработанный и применяемый ОАО «Фундаментпроект». От обычной цементации технология отличается, прежде всего, тем, что расположение скважин, принимаемое обычно по прямоугольной сетке с постепенным сближением их шага, заменено расположением скважин только над карстовыми образованиями, что позволяет значительно снизить их количество. Кроме того, все работы проводятся комплексно, что позволяет в процессе строительства изменять количество скважин, состав раствора, другие параметры, совершенствуя технологические процессы. Все изыскательские скважины и пустоты по окончании бурения оборудуются заливочными трубами и используются для инъекций через них твердеющих тампонажных растворов (рис. 15).



Рисунок 15. Комплект специального малогабаритного оборудования для изготовления буроинъекционных свай и бурение наклонной скважины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными целями и задачами при обследовании зданий и сооружений на карстоопасных территориях является определение характера и динамики развития деформаций здания.

Для предупреждения ответственных лиц и организаций о проявлении деформаций в объектах организуются наблюдения (как визуальные, так и инструментальные). Результаты мер наблюдения должны систематически анализироваться, обобщаться и оперативно использоваться специализированными организациями для решения различных вопросов охраны сооружений.

Обследование жилых и гражданских зданий, построенных на карстованных территориях, проводится при развитии видимых деформаций и повреждений в конструкциях и узлах здания, а также проявлении недопустимых кренов по условиям эксплуатации здания и лифтов.

Методика обследования зданий и сооружений на карстоопасных территориях должна включать в себя следующие действия: определение мест, узлов, которые требуют наблюдения и развитие деформаций в которых может привести к неблагоприятным последствиям, определение параметров и их предельных значений, по которым будет проводиться наблюдение и оценка и определение приборной базы.

Реализованный на практике комплекс мер инструментального мониторинга НДС карстоопасной территории и компьютерной обработки результатов с увязкой полученной информации в единую систему позволяет выйти на качественно более высокий уровень сбора и анализа данных о развитии карстового процесса, что позволяет более обоснованно принимать технические решения и вести постоянный мониторинг состояния земной поверхности и сохранности расположенных на ней зданий и сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мельник В.В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании: дис. ... канд.тех.наук/Мельник Виталий Вячеславович; науч.рук. А.Д. Сашурин; Российская академия наук Уральское отделение Учреждение Российской академии наук Институт горного дела. Екатеринбург: 2010. 189с.

2. Цветков Р.В. Разработка и создание деформационного мониторинга инженерных сооружений в карстовом районе: автореф. дис. ... канд.тех.наук / Цветков Роман Валеович. Пермь: 2011.

3. ТСН 22-34-2005. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края.

4. Панжин А.А. Наблюдение за сдвижением земной поверхности на горных предприятиях с использованием GPS. Сайт http://igd.uran.ru/geomech/articles/paa_006/index.htm

5. Обследования зданий и сооружений.

Сайт http://www.antikarst.ru/uslugi/obsledovaniya_zdaniy.html

6. Опыт ликвидации аварийной ситуации в карстоопасном районе самарской области: интернет журнал/ под ред. А.Г. Шашкина. №11, 2007. Сайт www.geores.spb.ru