

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»

На правах рукописи

Епифанова Екатерина Александровна

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ
СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
МЕТОДОВ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Специальность - 25.00.08

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
д. г.-м. н. Л.А. Строкова

Томск – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СООРУЖЕНИЙ.....	9
1.1. Аналитический обзор литературы	9
1.2. Общие сведения об инженерных сооружениях и их деформациях.....	17
1.3. Функционирование природно-технической системы «сооружение-основание».....	18
1.4. Выводы по главе 1	22
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	24
2.1. Средства мониторинга технического состояния инженерных сооружений	24
2.2. Методы геотехнического мониторинга.....	29
2.3. Оценка поверхностей при помощи лазерного сканирования.....	39
2.4. Метод конечных элементов в решении задач геотехнического мониторинга	69
2.5. Выводы по главе 2.....	73
ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ.....	75
3.1. Козинский виадук в Восточном Саяне.....	76
3.2. Историческое здание: Томский областной театр юного зрителя	87
3.3. Проекторная мачта на Ванкорском нефтяном месторождении	103
3.4. Выводы по главе 3.....	112
ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ.....	114
4.1. Сканирование виадука.....	114
4.2. Сканирование исторического здания г. Томск.....	116
4.3. Сканирование проекторной мачты	120
4.4. Выводы по главе 4.....	127
ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	129
5.1. Анализ напряженно-деформированного состояния основания виадука.....	129
5.2. Анализ напряженно-деформированного состояния основания здания.....	134
5.3. Анализ напряженно-деформированного состояния основания мачты.....	136
5.4. Выводы по главе 5	138
6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ	140
6.1. Результаты комплексирования методов при оценке деформаций объектов.....	140
6.2. Технологический регламент комплексирования работ по оценке деформаций сооружений	142
6.3. Выводы по главе 6.	149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	151
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	153

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Инженерно-геологические условия — это многофакторная система, изменяющаяся как во времени, так и в пространстве. Поэтому в процессе наблюдениями за деформациями различных инженерных сооружений необходимо изучение причинных закономерностей формирования и пространственной изменчивости всех компонентов инженерно-геологических условий. Только на основе этого можно понять основные причины пространственных изменений инженерных сооружений и в последствии принять правильные управленческие решения по сохранению стабильного положения объекта.

В настоящее время целью геотехнического мониторинга является обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности объектов нового строительства или реконструкции, включая здания и сооружения окружающей застройки, за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к переходу объектов в ограниченно работоспособное или аварийное состояние. А к контролируемым параметрам при геотехническом мониторинге массива грунта, окружающего вновь возводимые и реконструируемые сооружения, относятся вертикальные и горизонтальные перемещения поверхностных грунтовых марок. Наблюдая и фиксируя перемещения сооружения, не изучая инженерно-геологические условия мы не можем в полной мере ответить на вопрос в результате чего происходят опасные деформации объекта.

При ведении мониторинга за инженерными сооружениями важно рассматривать не только наличие самих деформаций, но также выявлять причину их развития при помощи комплексного подхода, который учитывает и инженерно-геологическое обследование для определения напряженно деформированного состояния грунтов, а также современные методы наблюдения за деформациями. В настоящее время в геотехнических нормативах, база которая бы основывалась на комплексном подходе нет. Здания и сооружения, вследствие их конструктивных особенностей и постоянного влияния техногенных и природных факторов, могут претерпевать различного вида деформации.

Самым оперативным и производительным способом получения точной и наиболее полной информации о изменении в трехмерном пространстве различных сложных объектов, такие как эстакады, мосты, путепроводы, надземные

коммуникации, имеющие сложные строительные конструкции, и определение у них деформаций, в настоящее время можно назвать - наземное лазерное сканирование. Применяя традиционные методы получения данных, построить трехмерные модели инженерных объектов просто невозможно. Полученные материалы наземного лазерного сканирования дают возможность решать подобные задачи быстро и оперативно, так как вся информация находится в едином трехмерном пространстве. Наземное лазерное сканирование применяется при геодезической съемке природных объектов, где необходимо отразить весь микрорельеф на сложных участках.

В среде крупных городов дефекты и повреждения, накопившиеся конструктивными элементами на разных этапах жизненного цикла, усиливаются под влиянием множества неблагоприятных техногенных факторов, характерных для урбанизированных территорий, которыми можно считать утечки из водонесущих коммуникаций, чрезмерные и неоднородные воздействия на грунтовый массив в условиях ограниченного строительства и др. Максимально оперативный способ предупреждения аварийных ситуаций, а особенно для высотных, сложных, большепролетных и других ответственных инженерных сооружений является наблюдение за техническим состоянием несущих конструкций при помощи комплексных систем мониторинга, действующих в периодическом или непрерывном режиме.

В процессе мониторинга оперативная и актуальная информация, позволяющая дать оценку техническому состоянию зданий и сооружений может быть получена только на основе результатов численных данных с доказанной корректировкой расчетных моделей инженерных объектов, учтя изменения, возникшие в процессе эксплуатации. Процесс постоянного обновления расчетных моделей конструкций сооружений с учетом всех накопленных изменений, деформаций и повреждений в пространстве, носит название актуализации.

Другими словами, при контрольном расчете сооружения необходимо использовать адекватную его реальному техническому состоянию расчётную модель, созданную на основе метода конечных элементов и обновленную на основании данных инструментальных измерений. Полученная модель должна с максимальной точностью давать возможность оценить актуальное техническое состояние сооружений на каждом этапе мониторинга. Однако, как показывает практический опыт, обновление расчётных моделей либо не проводится, либо происходит в ручном режиме, что является длительным и ресурсозатратным процессом.

Анализируя современные подходы в зарубежной и отечественной практике геотехнического мониторинга касательно определения деформаций строительных конструкций, а также оценки напряженно-деформированного состояния грунтового основания инженерного сооружения, можно прийти к выводу, что действующей эффективной методики, позволяющей в текущем режиме времени, и следовательно, за короткий период автоматизировано получать оперативную информацию в целях обновления расчетных моделей сооружений для получения объективной численной оценки актуального напряженно-деформированного состояния сооружений, в настоящее время не существует. Актуальность темы диссертации определяется практической необходимостью создания обоснованной методики для оценки технического состояния различной сложности строительных объектов, испытывающих деформационные изменения, которая позволила бы с максимальной точностью прогнозировать и предотвращать появление и развитие аварийных ситуаций.

Цель работы – разработка методики мониторинга природно-технических систем при сочетании лазерного сканирования для определения деформаций инженерного сооружения и оценки напряженно-деформированного состояния природно-технических систем для установления причин пространственного положения зданий и сооружений.

Объектом исследования являются природно-технические системы, испытывающие недопустимые деформации при эксплуатации объекта, требующие капремонта.

Предметом исследования является обоснование оптимального комплекса работ по геотехническому мониторингу природно-технических систем для корректировки проектных решений по объекту.

Степень разработанности темы. В последние годы опубликованы работы по оценке деформаций строительных конструкций (Середовича В.А., 2009; Ермакова В.А., 2012; Нестеренко Е.А., 2010; Кочневой А.А., 2016; Полищука А.И., 2015; Мирсяяпов И.Т., 2016; Мальцевым А.В., 2016 и др.) с помощью современных цифровых устройств, и предложениями по актуализации расчетных моделей сооружений, однако эти исследования ещё не носят всесторонний и систематический характер, например, касаются одного компонента ПТС – строительной конструкции или грунтового массива.

Основные задачи исследований

1. Провести анализ современных нормативных требований и методов проведения геотехнического мониторинга природно-технических систем.

2. Изучить инженерно-геологические условия площадок размещения исследуемых объектов, имеющих опасные деформации.
3. Разработать методику мониторинга пространственно-координатного положения конструкций с помощью наземного лазерного сканирования объектов различного назначения.
4. Выявить влияние инженерно-геологических условий на напряженно-деформируемое (НДС) состояние и устойчивость природно-технической системы «основание сооружение».
5. Разработать рекомендации по применению методов наземного лазерного сканирования и конечных элементов по оценке состояния и обеспечению устойчивости природно-технических систем.

Научная новизна работы определяется следующими основными результатами:

1. Разработаны новые способы мониторинга пространственно-координатного положения конструкций с помощью наземного лазерного сканирования объектов различного назначения.
2. Дано научное обоснование методики влияния инженерно-геологических условий на изменение пространственного положения инженерных сооружений
3. Обоснован оптимальный комплекс работ по геотехническому мониторингу объектов, включающий наземное лазерное сканирование сооружения и оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива, позволяющий получить необходимую информацию для принятия управляющих решений по обеспечению надежности объекта.

Практическая значимость работы. Результаты работы по оценке деформаций инженерных сооружений при помощи наземного лазерного сканирования и напряженно деформированного состояния природно-технической системы были использованы при реконструкции железнодорожного моста на участке магистрали Абакан-Тайшет между станциями Джебь и Щетинкино в Восточном Саяне (Курагинский район Красноярского края), при капитальном ремонте исторического здания в г. Томске, при оценке деформаций прожекторных мачт на Ванкорском нефтегазовом месторождении, расположенным в Туруханском районе Красноярского края, на водоразделе р. Большая Хета и р. Лодочная.

Методы исследования: теория вероятностей и математическая статистика, математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ). При обработке,

анализе и расшифровке полученных данных использовались программы «MS Excel», «AutoCAD», «CREDO», «Cyclone», «Solid Works», «Plaxis», «OriginPro» и другие.

Исследования проводились на разных сооружениях в разных природно-климатических зонах. В основу данной работы положены результаты многолетних исследований автора, а также фондовые и литературные материалы. Исследования основаны на фактических материалах геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических исследований; данных лабораторных исследований грунтов, данных мониторинга за деформациями конструкций.

Личный вклад автора. По материалам наземного лазерного сканирования были разработаны цифровые трехмерные модели инженерных сооружений, получены и опробованы алгоритмы для учета их деформационных процессов. Разработан технологический регламент в целях ведения обоснованного текущего мониторинга за объектами имеющие опасные деформации, основанного на комплексном подходе, сочетающий в себе наземное лазерное сканирование и метод конечных элементов.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждена теоретическими расчетами, совпадением численных результатов с данными, полученными аналитически и в результате натурных наблюдений; высоким качеством исходной геологической информации. Положения теории основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин (механика грунтов, теория вероятностей и математическая статистика), сопряженных с предметом исследования диссертации.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: Международный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2017); X Международная научно-практическая конференция студентов аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2017); Вторая научно-практическая конференция «Пути обеспечения совместной работоспособности инженерного сооружения и специфических грунтов» (Москва, 2017); «Проблемы геологии и освоения недр» XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева (Томск, 2018); XI Международная научно-практическая конференция студентов аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2018).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 3 статьи, опубликованы в издании, рекомендованном ВАК, 5 статей в сборниках трудов международных и всероссийских научно-практических конференций.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору ОГ ИШПР ТПУ Строковой Людмиле Александровне за научное сопровождение, всестороннюю поддержку, понимание, мотивацию и помощь на всех этапах реализации работы. Особую благодарность автор выражает доктору геолого-минералогических наук, профессору ТГАСУ Ольховатенко Валентину Егоровичу за ценные советы, рекомендации и всестороннюю помощь.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка из 144 наименований, приложения и содержит 165 страниц, в том числе 84 рисунка и 21 таблицу.

Основные результаты диссертационных исследований отражены в следующих **защищаемых положениях.**

1. Наземное лазерное сканирование (НЛС) фиксирует перемещения инженерных сооружений в 3Д пространстве, что недоступно для традиционных методов наблюдения. Совместный анализ пространственного изменения конструкций и инженерно-геологических условий позволяет обосновать причины возникающих деформаций.

2. Оценка вклада грунтовых условий (изменение физико-механических свойств грунтового массива, уровня грунтовых вод) в деформации инженерных сооружений, с помощью численного моделирования напряженно-деформированного состояния природно-технической системы является главным фактором для обоснования решений по обеспечению надежности объекта в пространственном положении.

3. Геотехнический мониторинг ответственных сооружений рекомендуется проводить с использованием комплексного подхода, основанном на сочетании двух методов: а) постоянном обновлении результатов инструментальных измерений и б) моделировании напряженно-деформированного состояния грунтового массива во взаимодействии с инженерным сооружением на базе метода конечных элементов с учетом: этапа строительства, наличия специфических грунтов, геологических процессов; изменений состояния и физико-механических свойств грунтов, уровня подземных вод.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СООРУЖЕНИЙ

1.1. Аналитический обзор литературы

В настоящее время нарастающие объемы в городском и промышленном строительстве влекут за собой следующие тенденции - увеличивается высотность зданий, уплотняется городская застройка, чрезмерно осваивается подземное пространство, нарастает плотность инженерных коммуникаций, что в свою очередь провоцирует возникновение и последующее увеличение негативного техногенного влияния нового строительства на уже существующие объекты, находящиеся на прилегающих территориях. Как показывает практический опыт, одной из главных проблем содержания сооружений и зданий в городах, а также различных инженерных сооружений на промышленных площадках, является вероятность нарушения их целостности в результате неравномерных деформаций грунтового основания, возникших в результате различных природно-техногенных причин. В связи с этим особое внимание заслуживает проблема наблюдения за актуальным техническим состоянием конструктивных элементов объекта для прогноза и предупреждения возникновения аварийных ситуаций и обоснование комплекса инженерных мероприятий по их предотвращению. Из этого следует, что мониторинг текущего технического состояния конструктивных элементов зданий и сооружений должен иметь периодический характер и давать возможность осуществлять оценку происходящих изменений на основе численных критериев, которые в свою очередь должны основываться на процедурах выявления фактического соответствия устойчивости зданий и инженерных сооружений нормативным требованиям.

Для зданий и сооружений, подвергающиеся риску повреждений от внешних воздействий, наблюдение за надлежащим техническим состоянием конструктивных элементов необходимо в течение всего периода возможного возникновения деформационных повреждений, что нашло отражение в ряде нормативных документов, устанавливающих проведение строительства. Несмотря на это, в настоящее время единой установленной нормами методики, способной эффективно и качественно предупреждать возникновение аварийных ситуаций, не существует. В нормативных документах четко прописаны предельно допустимые величины совместных осадок оснований и сооружений для очень небольшого количества видов конструктивных

схем зданий и строений. В основной массе неравномерные деформации основания сооружения имеют сложный пространственный характер, который напрямую связан с изменением напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вызывающий в свою очередь, пространственные деформации всего здания, и для получения полной и объективной картины их влияния на текущее техническое состояние конструктивных элементов необходимо использовать дополнительные численные критерии оценки для прогнозирования напряженно-деформированного состояния всей системы. Однако методика перехода от полученных параметров пространственного деформированного состояния сооружения к причинам, повлекшим за собой повреждения в конструктивных элементах, на сегодняшний день не разработана.

Инженерно-геологические изыскания для строительства инженерных сооружений базируются на работах крупных инженеров-геологов: Бондарика Г.К., Голодковской Г.А., Золотарева Г.С., Каменского Г.Н., Коломенского Н.В., Комарова И.С., Ломтадзе В.Д., Маслова Н.Н., Мироненко В.А., Осипова В.И., Попова И.В., Приклонского В.А., Саваренского Ф.П., Сергеева Е.М., Терцаги К., Трофимова В.Т., Цытовича Н.А. и другие. [4-5,31-33,77,106-109]

Влиянию природно-техногенных факторов на развитие опасных процессов посвящены многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых. Важный вклад в их изучение внесли Афанасиади Э.И., Грязнов О.Н., Дашко Р.Э., Дубейковский С.Г., Золотарев Г.С., Лазарев В.М., Ольховатенко В.Е., Осипов В.И., Подгорная Т.И., Полищук А.И., Потапов А.Д., Рогов Г.М., Рутман М.Г., Рященко Т.Г., Строкова Л.А., Фисенко Г.Л., Шеко И.И., Щербак Г.Г. и другие. [20,28,59,66-68,73,90-100]

Вопросы геотехнического мониторинга зданий были рассмотрены в работах Пермского НИПУ (Пономарев А.Б. и др., 2015 г.) В ходе геотехнического мониторинга было обнаружено, что основной вклад в деформации, за которыми велись наблюдения связаны со слабым грунтовым основанием и работы, которые помогли узнать причину, позволили стабилизировать сложившуюся ситуацию. На основе результатов выполненного геотехнического мониторинга были разработаны технические рекомендации по усилению грунтового основания, которые на практике позволили стабилизировать неравномерные осадки здания [69].

Проблемы реконструкции исторических зданий в г. Томске были освещены в работе Полищука А.И. (2015 г.), были хорошо изучены инженерно-геологические

условия площадки по результатам проведенных гидрогеологических наблюдений определены условия формирования подземных вод в основании фундаментов здания, установлены причины и источники замачивания основания. Численное моделирование этапов углубления подвала и переустройства фундаментов позволило оценить развитие дополнительных осадок фундаментов здания и разработать технологическую последовательность их усиления [66,67].

Актуальные задачи геотехнического мониторинга системы «основание-сооружение» рассмотрены Мальцевым А.В. (2016 г.), в своей работе он дал характеристику системы «сооружение-основание» с точки зрения надежности. Сооружение и его основание следует рассматривать как единую систему, состоящую из множества элементов: структурных компонентов грунтов, текстурных напластований грунтовых массивов, подземных и надземных строительных конструкций здания и т.п. Грунтовое основание – это «слабое звено» в системе, которое требует к себе особого внимания. Подразумевается, что на всех стадиях строительства необходимо контролировать состояние грунтов основания и оценивать влияние изменения этого состояния на поведение отдельных конструкций и сооружения в целом. Сделаны выводы о существенной роли и значении мониторинга системы «сооружение-основание», как фактора, повышающего уровень эксплуатационной безопасности строительных объектов и снижающего риск возникновения аварийных ситуаций [50].

Также актуальность геотехнического мониторинга при реконструкции памятника истории и архитектуры в г. Казани 1908 года постройки, рассматривал Мирсаяпов И.Т. (2016 г.) на основании данных строительного мониторинга авторами проведен анализ развития горизонтальных и вертикальных деформаций основания здания в связи с устройством глубокого котлована в непосредственной близости от несущих стен здания. Грунтовые условия в данной работе не рассматривались, что могло бы помочь для принятия оптимальных рекомендаций по реконструкции здания. Общие деформации осадки здания рассматриваются как сумма отдельных составляющих, являющихся следствием влияния отдельных технологических этапов при строительстве подземной пристройки к зданию [57].

Важность геотехнического мониторинга рассматривает в своей работе Федосеев Ю.Е. (2017 г.) В результате наблюдения за некоторыми объектами Москвы в том числе и историческими зданиями, были сделаны следующие рекомендации в производство геотехнического: геодезические измерения должны быть четко спланированы по срокам исполнения и графикам выполнения работ на различных

участках, по точности выполнения натуральных наблюдений, безусловно гарантирующих необходимую тщательность и достоверность конечных результатов, назначению границ проведения работ. Невыполнение этих замечаний может свести на нет результаты дорогостоящих геодезических работ и послужить причиной недостатка необходимой информации для принятия правильного решения по реконструкции объекта [113].

Изучение НДС грунтов определили труды отечественных ученых: Бондарика Г.В., Болдырева Г.Г., Вялова С.С., Герсевичева Н.М., Гольдштейна М.Н., Дмитриева В.В., Зарецкого Ю.К., Зелинского И.П., Иванова И.П., Калинина Э.В., Котлова В.Ф., Лузгиной Е.А., Мангушева Р.А., Маслова Н.Н., Месчяна С.Р., Полищука А.И., Польшина Д.Е., Тер-Мартirosяна З.Г., Флорина В.А., Цытовича Н.А. и других. [4-6,49,51,66-68,111]

Лузгина Е.А. (2018 г.) в своей работе «Сравнение компьютерного моделирования развития осадок здания с результатами геотехнического мониторинга» осуществила оценку инженерно-геологических условий площадки строительства многоэтажного жилого здания в г. Краснодар. С помощью компьютерного моделирования в программном комплексе «Plaxis» показана схема с готовым армированным основанием с эффективным модулем деформации. Приведены результаты развития осадки в нескольких этапах нагружения: 30 –50–80–100 % от проектной нагрузки на основание. При подробном рассмотрении грунтовых условий. Также выполнен геодезический мониторинг развития осадок здания. Результаты показали совпадение данных, полученных при компьютерном моделировании и при геодезическом мониторинге, с погрешностью 6%. Работа показала, что качественная оценка инженерно-геологических условий, моделирование поведения основания высотного здания на стадии проектирования позволяет строить многофункциональные высотные здания в сложных инженерно- геологических условиях и условиях стесненной городской застройки. А также минимизировать крены и осадки здания, определять оптимальную технологию и последовательность проведения мероприятий по улучшению оснований [49].

Полищук А.И. (2013 г) в своей работе «Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов в основании фундаментов с использованием численных методов» обосновал возможность применения численных методов для моделирования процессов взаимодействия фундаментов с глинистым грунтом основания. Полученные результаты позволяют оценить напряженно-деформированное состояние грунтов в основании

фундаментов при их нагружении. Сопоставление результатов экспериментальных исследований и расчета в ПК PLAXIS 3D показало, что для глинистых грунтов природной влажности в интервале давления до 200 кПа, контактные давления, вертикальные напряжения и перемещения в основании жестких фундаментов-штампов можно определять с точностью 10-30% [66].

В работе Мещеряковой А.М. (2013 г.) рассматривалось влияние пониженных характеристик грунта на напряженно-деформированное состояние здания, в данной работе обращается внимание на некоторые проблемы гидрогеологического характера, которые в практике строительства существенно влияют на надежность принимаемых технических решений при проектировании и производстве работ нулевого цикла зданий и сооружений. В данном случае имеются ввиду ситуации, когда исполнителями игнорируются отдельные требования норм проектирования, несущие обязательный характер, в частности, мероприятия, защищающие грунт от чрезмерного дополнительного увлажнения, что неизбежно вызывает изменение прочностных и деформационных характеристик основания и может привести к развитию неравномерных осадок [56].

В работе Мангушева Р.А. (2016 г.) «Инженерно-геотехнические изыскания при строительстве и реконструкции в условиях плотной городской застройки» рассмотрен случай возникновения опасной предварительной ситуации при разработке котлована под защитой шпунтового ограждения и соседней застройки в г. Санкт-Петербург. Их значения превысили величины, прогнозируемые геотехническими расчетами. Чрезмерные деформации были вызваны расструктурированием слабых тиксотропных пылевато-глинистых грунтов. Этому способствовали нарушения при производстве работ нулевого цикла. До начала основных строительных работ следует иметь детальную информацию об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях строительной площадки, в условиях слабых грунтов рекомендуется использовать щадящие технологии устройства буронабивных свай, по результатам геотехнического обследования, если в зону риска при строительстве попадают здания III категории, то должны предусматриваться и разрабатываться мероприятия по возможному усилению фундаментов зданий соседней застройки на случай непредвиденных обстоятельств, возникающих в процессе строительства, даны рекомендации по актуализации внесения изменений в нормативные документы по изысканиям, проектированию и производству работ нулевого цикла в условиях плотной городской застройки [51].

При изменении условий эксплуатации инженерных сооружений в нормативных документах устанавливается необходимость наблюдения и обследования за их текущим техническим состоянием. Вместе с тем только небольшое количество исследований по мониторингу за деформациями зданий и инженерных сооружений с применением современного геодезического оборудования, связанные с технологиями неразрушающего контроля, а именно с наземным лазерным сканированием.

Значительный вклад в развитие данного направления геодезических работ внесли известные ученые: Васютинский И.Ю., Ганьшин В.Н., Гуляев Ю.П., Жуков Б.Н., Зайцев А.К., Карлсон А.А., Ключин Е.Б., Левчук Г.П., Шеховцов Г.А. и др. Использование современных технологий измерений и их обработки непосредственно к изучаемой проблеме, определения деформаций инженерных сооружений, нашло место в отечественных исследованиях Комиссарова А.В., Коргина А.В., Медведева Е.М., Науменко А.И., Середовича А.В., Середовича В.А. [38-43].

В работе Коргина А.В. (2012 г.) «Интеллектуальная система автоматического мониторинга технического состояния строительных сооружений» Рассмотрены вопросы создания систем автоматического мониторинга технического состояния строительных сооружений с элементами экспертной системы принятия решения о состоянии объекта. Проведен анализ автоматических систем мониторинга, установленных на ряде объектов, выявлены их общие недостатки, предложены варианты улучшения. Приведены общие принципы построения подобных систем [39-42]. В другой его работе «Мониторинг технического состояния ответственных сооружений с использованием современных геодезических методов измерений и численного анализа методом конечных элементов» описываются возможности применения современных геодезических методов измерений, таких как тахеометрия, лазерное сканирование и GPS, для мониторинга пространственных деформаций ответственных сооружений. Численная оценка технического состояния конструкций производится с помощью адекватных МКЭ-моделей сооружений. Актуализация расчетных моделей достигается внесением в расчетную схему дополнений и изменений, зафиксированных инструментальными измерениями [40].

В своей работе Азаров Б.Ф. «Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений» дает обзор как классических методов геодезических наблюдений, так и современных приборов, и технологий, применяемых для определения количественных характеристик деформаций мостов. Приведены сведения об организации геодезического мониторинга Обского моста через р. Обь в

районе г. Барнаула. Изложены основные принципы геодезического мониторинга Обского моста и варианты его функционирования направленные на улучшение качества наблюдения позволяющим быстрее реагировать в чрезвычайных ситуациях [1]. В результате проведенного анализа литературы обнаружено, что геотехнический мониторинг не только включает в себя определение пространственного положения и деформации конструкции, но также должен давать ответ на причины возникновения этих деформаций, а выяснение причин возможно на учете всех инженерно-геологических условий.

Обзор нормативной литературы по геотехническому мониторингу

Определение "геотехнический мониторинг" в нашей стране введено относительно недавно. В 1998 году были опубликованы рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных вблизи нового строительства или реконструкции. В документе отмечается пренебрежение особыми условиями такого строительства может приводить к появлению в стенах ранее построенных зданий трещин, перекосов проемов и лестничных маршей, к сдвигу плит перекрытий, разрушению строительных конструкций, т.е. к нарушению нормальной эксплуатации зданий, а иногда даже к авариям [70]. Что касается наблюдения за сооружениями документ определяет их назначение, цели и задачи, устанавливает требования и порядок данной процедуры, а также рекомендует технологическую схему производства работ. При этом мониторинг зданий предлагается в виде указанного порядка, который следует проводить с определенной периодичностью по специально подготовленному проекту или программе [8].

Также прописывается необходимость геодезического мониторинга за изменением уровня земной поверхности, для чего нужно использовать грунтовые марки и репера, совместно с созданием планово-высотного обоснования. При этом данные периодической съемки нивелиром фиксируют изменение положения грунтовых марок и реперов в вертикальной плоскости, а установление расстояния между ними - в горизонтальной. Порядок проведения указанных работ, а также описание конструкций реперов представлены в нормативной литературе [14,80]. При этом с вступлением в силу Федерального закона [112] существующие в строительстве нормативные документы фактически были отменены и начали носить после этого рекомендательный характер.

В технических рекомендациях рассмотрена методология научно-технического сопровождения строительства (НТСС) и мониторинга особо ответственных конструктивных элементов, соединений, узлов, при строительстве большепролетных, высотных и других уникальных зданий, и сооружений. Рекомендации содержат основные требования к научно-техническому сопровождению строительства и мониторингу технического состояния строительных конструкций при возведении большепролетных, высотных и других уникальных зданий, и сооружений, строящихся и проектируемых, а также методологию научно-технического сопровождения строительства, геотехнического мониторинга и мониторинга особо ответственных конструкций, узлов, соединений [103]. Для этого были предложены процедуры, направленные на выполнение необходимого качества работ на основе использования современных технологий ведения мониторинга для наблюдения за техническим состоянием конструкций и их вероятным появлением деформаций.

Государственный стандарт по мониторингу и обследованию зданий и сооружений [16] был разработан для применения в строительстве, конкретно для проведения обследований и мониторинга за фактическим состоянием зданий и сооружений, при подготовке заданий на проектирование, техническом осмотре несущих конструкций и мониторинге зданий и сооружений. Данный документ был отменен в 2014 году, а взамен ему был введен скорректированный и дополненный ГОСТ [15]. Стандарт, регламентируя правила состава и выполнения работ, имеющих значение для мониторинга и повышения безопасности зданий или сооружений, касательно обследования и мониторинга технического состояния, рассматриваемых объектов, в том числе ответственных (высотных, сложных, большепролетных). Следует отметить, что обследования оснований зданий и сооружений испытывающие деформации нужно проводить в соответствии со стандартом [14], который в 2013 г. был актуализирован. А правила проведения геотехнического мониторинга необходимо проводить в соответствии со [81] сводом правил, который содержит указания по проведению геотехнического мониторинга при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, в том числе подземных, возводимых в различных инженерно-геологических условиях, а также в условиях сложной инфраструктуры [8]. Классы точности и методы измерения вертикальных и горизонтальных перемещений представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Методы измерения вертикальных и горизонтальных перемещений в соответствии с классом точности [14]

Метод измерения	Класс точности измерений
Вертикальные перемещения	
Геометрическое нивелирование	I-IV
Тригонометрическое нивелирование	II-IV
Гидростатическое нивелирование	I-IV
Стереофотограмметрия	II-IV
Горизонтальные перемещения	
Створных наблюдений	I-III
Отдельных направлений	I-III
Триангуляции	I-IV
Стереофотограмметрия	II-IV
Трилатерации	I-IV
Полигонометрии	III-IV

Следует учитывать, что предельные значения измерения крена в зависимости от высоты H обследуемого здания (сооружения) не должны превышать величин, приведенных в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Предельные погрешности измерения крена зданий и сооружений [17]

здания и сооружения	0.0001 H
промышленные здания и сооружения, дымовые трубы, доменные печи, мачты, башни и др.	0.0005 H
фундаменты под оборудование и агрегаты	0.00001 H

Можно сделать вывод, что существующая в настоящее время нормативно-методическая база, безусловно, устанавливает проводить процедуру мониторинга ответственных зданий и сооружений. При этом в имеющихся документах пока недостаточно рассмотрены возможности, связанные с применением современных приборов и автоматизированных методов производства геодезических работ.

1.2. Общие сведения об инженерных сооружениях и их деформациях

Здание - строительная система, состоящая из несущих и ограждающих или совмещенных (несущих и ограждающих) конструкций, образующих наземный замкнутый объем, предназначенный для проживания или пребывания в зависимости от функционального назначения и для различного вида производственных процессов [36].

Сооружение - объемная, плоскостная или линейная наземная, надземная или подземная строительная система, состоящая из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих конструкций и предназначенная для выполнения различных производственных процессов, хранения материалов, изделий, оборудования, для временного пребывания людей и грузов и т.д. [89] Таким образом здания и сооружения — это результаты строительной деятельности для осуществления различных потребительских функций.

При этом известны случаи использования термина «сооружение», обозначающего строительный объект, не являющийся зданием. Сюда могут относиться различные по конструкции и назначению инженерно-технические сооружения: мосты, эстакады, плотины, вытяжные трубы (вентиляционные и дымовые), опоры антенных сооружений радио и телевидения, метеорологические вышки, мачты связи, опоры воздушных линий электропередач, а также мемориальные сооружения (памятники, мемориальные пирамиды и обелиски), архитектурные сооружения (аркады, колоннады) и так далее [8]. Инженерные сооружения могут классифицироваться по следующим основным параметрам – основные функции, конструктивные решения, высота, материал и технологии возведения.

Однако, в рамках данного исследования предлагается все же исходить из того факта, что здание - вид строительного сооружения, создаваемого для осуществления функций проживания, хозяйственной или иной деятельности людей [89] Поэтому трактовка термина "здание" не должна отождествляться от понятия "инженерное сооружение" или "инженерное строение". Важно, что инженерное сооружение образует единую природно-техническую систему с геологической средой в его основании. Каждый такой объект находится в одном из присущих инженерно-геологических, геоморфологических и тектонических условиях, характерных для территории, на которой он строится [30]. Поэтому эти факторы обязаны учитываться в возможном влиянии на конструктивную систему возводимого объекта.

1.3. Функционирование природно-технической системы «сооружение-основание»

Любые искусственные объекты, в том числе и сооружения, всегда взаимодействуют с окружающей их областью природной среды. Существование взаимодействий между искусственными и естественными объектами земли требует совместного рассмотрения взаимодействующих объектов как сложных тел (систем),

которые принято называть природно-техническими системами. Природно-техническая система (ПТС) есть целостная, упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающая орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно измененные природные тела, а также естественные и искусственные поля [4]

Синонимом понятия ПТС по ряду авторов, является термин «геотехническая система» (ГТС), под которой понимается совокупность взаимодействующих природных и техногенных систем. Ревзон А.Л. [45] разделяет эти два понятия, считая, что ГТС является частью, подсистемой природно-технической системы. Последняя наряду с геотехнической включает в себя подсистемы: тропотехническую, акватехническую, биотехническую и историко-культурную. Таким образом, по Ревзону А.Л., ГТС представляет собой структурно-функциональную часть ПТС. Бондариком Г.К. было предложено понятие «литотехническая система». Автор в своем исследовании остановился на определении - ПТС, как наиболее оптимальному понятию. ПТС «Геологическая среда - инженерное сооружение» и ее структуру можно представить в виде системы из нескольких степеней, главным элементом которой является «Сфера взаимодействия» (СВ) и «Инженерное сооружение» (ИС).

Сфера взаимодействия имеет разнообразные ступени структуры в зависимости от нужных критериев. Такие критерии могут быть гидрогеологическими, геоморфологическими, инженерно-геологическими, тектоническими и т.д. Условия существования СВ определяются как вещественными, так и энергетическими составляющими. К вещественным относятся: геодинамические, физико-географические, геолого-структурные, литолого-петрографические, гидрогеологические (табл. 1.3. Епифанова 2018).

Энергетические составляющие определяются физическими полями (гравитационное, электромагнитное, радиационное, сейсмическое, тепловое, геодинамическое) СВ и все ее параметры условий существования определяются набором компонент, которые характеризуют генетические особенности и изменение геологической среды. Они взаимообусловлены, взаимосвязаны, имеют свой вес и назначение при формировании и развитии тех или иных геологических процессов в рамках ПТС «геологическая среда - инженерное сооружение». Для того чтобы рассматриваемая модель была полной, необходим анализ грунтового массива и разработка системы мониторинга. В работах В.В. Пендина [64] и Г.К. Бондарика [6]

ПТС должна иметь следующие свойства: динамичность, управляемость, открытость, устойчивость, самоорганизация и адаптация.

Таблица 1.3. Элементы взаимодействия природно-технической системы

Элементы системы	Условия существования	Компоненты	Параметры
Сфера взаимодействия	Физико-географические	Климат	- количество атмосферных осадков – среднегодовая температура воздуха – сила и направление ветра
	Геолого-структурные	Тектоника	- тип нарушений (ликативный, дизъюнктивный) - возраст и характер тектонических нарушений - степень и характер трещиноватости - наличие зон дробления - наличие расщепленности, шлейфовости - состав и свойства заполнителя трещин
		Сейсмичность	- характер горных пород - уровень подземных вод
	Литолого-петрографические	Генезис и возраст пород	- генезис горных пород - возраст горных пород
		Состав и свойства пород	- минеральный и гранулометрический состав горных пород - структурно-тектонические особенности пород - физико-механические свойства горных пород
	Геодинамические	Напряженное динамическое состояние	скорость продольных и поперечных волн - коэффициент Пуассона
		ИГП и Экзогенно-геологические процессы	характер и тип геологических и инженерно-геологических процессов - условия развития геологических и инженерно-геологических процессов - размеры геологических и инженерно-геологических процессов - пораженность территории экзогенными геологическими процессами
Гидрогеологические	Типы подземных вод	- условия залегания подземных вод - гидравлические особенности водоносных горизонтов и комплексов - условия питания, разгрузки водоносных горизонтов и комплексов - химический состав подземных вод - режим подземных вод	
Инженерное сооружение	Наземная часть	Этажность, высота	Внешние техногенные и природные воздействия: - неравномерные деформации основания; динамические воздействия (транспорт, оборудование) - изменение плановых условий эксплуатации - изменение или превышение эксплуатационных нагрузок; - износ и изменение свойств материалов конструкций.
		Вес сооружения	
Инженерное сооружение	Фундамент	Глубина заложения	Технические ошибки и технологические дефекты - наличие проектных ошибок; - несоблюдение проекта и технологические дефекты, допущенные в ходе строительства. Экстремальные воздействия: - пожар; - взрыв, террористический акт.
		Тип фундамента	

Надфундаментные конструкции сооружения призваны взаимодействовать с грунтами основания посредством фундаментных конструкций таким образом, чтобы удовлетворялись все необходимые нормативные требования по обеспечению несущей способности конструкций сооружения [99].

Часто итогом смены внешних взаимодействий является переход системы из одного состояния в другое или нарушение системы. Но именно свойства адаптации и самоорганизации ПТС придают ей способность сохранять свою устойчивость в некотором диапазоне взаимодействия [5].

Однако в настоящее время прогнозирование состояния системы ПТС «Геологическая среда-инженерное сооружение» не могут быть осуществлены при помощи классических методов, они нуждаются в обновлении, отталкивающихся от анализа и совокупности соотношений компонентов геологической среды и инженерного сооружения. Отклик геологической среды ПТС на техногенные воздействия инженерного сооружения приведен в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Отклик природно-технической системы на техногенное воздействие [5, с доп. автора]

Источник воздействия	Вид воздействия	Параметры взаимодействия	Результат воздействия	Деформации
Вес сооружения	Статическое уплотнение	Величина нагрузки, размеры, глубина, форма заложения фундаментов	Уплотнение	Крен, прогиб, выгиб, перекос
Транспорт	Динамическое уплотнение	Интенсивность, длительность воздействия	Уплотнение, тиксотропия	Крен фундамента
Изъятие грунта	Разрушение массива	Время, длина, глубина, климатические характеристики	Выветривание, нарушение режима поверхностного и подземного стока, оползни, пучение, набухание	Осадки, трещины в стенах, фундаментах, провалы
Коммуникации водонесущие	Подтопление	Механизм режима подтопления, величина прих одного потока	Изменение НДС, суффозия, оползни, набухание, просадки, барражный эффект	Выпучивание и неравномерная осадка фундаментов, провалы
Дренажные сооружения	Снижение напора	Величина понижения УПВ	Уплотнение, суффозия, формирование мутьд сдвижения	Осадки, прогиб

Нормальное существование ПТС должно происходить при условии функционирования инженерного сооружения в точном соответствии с проектными данными. Равновесие ПТС обуславливается динамикой природной (СВ) и надежными параметрами технической составляющей. Таким образом надежность параметров технической составляющей выражается порядком эксплуатации здания, влиянием природной компоненты (СВ) и степенью ее реакции окружающие объекты.

Показателями прогноза динамики и надежности ПТС «геологическая среда-инженерное сооружение» может являться система критериев, в основе которой лежит анализ взаимодействия динамичных элементов и инженерных сооружений. Такой контроль обеспечивается системой мониторинга геологической среды в пределах данной ПТС.

В ситуации неимения объективной причины наличия деформации здания выявление всех взаимозависимых факторов, вызывающих снижение характеристик несущей способности конструкций, является задачей, требующей комплексного подхода к исследованию состояния объекта в целом с учетом взаимодействия всех его компонентов [88]. Данный вопрос является главной задачей комплексного инженерного изучения проблемного сооружения.

Безопасное состояние ПТС будет происходить при таких условиях, когда взаимодействие всех ее компонентов будут находиться в равновесии другими словами когда нормальная работоспособность инженерного сооружения происходит в проектном режиме, не влияя и не меняя при этом динамического баланса сферы взаимодействия.

1.4. Выводы по главе 1

1. Строительство различных инженерных сооружений приводит к формированию природно-технической системы (ПТС), состоящей из сферы взаимодействия (СВ) и инженерного сооружения (ИС).
2. Показателем надежности ПТС является совокупность критериев, которые базируются на анализе взаимодействия ее элементов и самого сооружения. Основными параметрами ПТС, влияющими на стабильность инженерного сооружения являются: инженерно-геологические, геологические, гидрогеологические условия и процессы, геологическое строение грунтов.
3. Анализ технической литературы по контролю инженерных сооружений и их

эксплуатации показал, что данный вопрос широко обсуждается; нормативно закреплена общая регламентация наблюдений за сооружениями. Это, безусловно, свидетельствует об актуальности рассматриваемой тематики. Вместе с тем обзор источников обнаружил ряд вопросов, которые необходимо решить. Анализ существующей нормативной документации, технической литературы и разработок в области мониторинга технического состояния инженерных сооружений выявил, что основное внимание при наблюдениях за строениями уделяется его осадкам, в том числе неравномерным, но не объясняют причину их появления.

4. Деформационные процессы основания инженерных сооружений, которые в основном развиваются по причинам природно-технического характера, имеют особенность развиваться в течение длительного времени, по этой причине они должны определяться и фиксироваться в процессе периодического мониторинга.

5. Неравномерные деформации основания в основном имеют сложный характер изменения в пространстве, что в свою очередь вызывает изменения в пространстве всего объекта наблюдения, это важно не забывать для понимания реальной картины влияния деформаций на техническое состояние инженерного сооружения.

6. Имеющиеся в настоящее время методики определения неравномерных деформаций основания сооружения на его техническое состояние носят формальный характер и основываются на сравнении зафиксированных данных осадок инженерного сооружения в его основании с величинами, прописанными в нормативных документах всего для нескольких видов сооружений.

7. Неполнота имеющихся методик и отсутствие полной, точной, цельной нормативной базы в области геотехнического мониторинга инженерных сооружений приводят к необходимости разработки действенной методики определения не только существующих неравномерных пространственных деформаций, но также и выявлению причин их появления и развития.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Средства мониторинга технического состояния инженерных сооружений

Мониторинг состояния конструктивных элементов зданий и сооружений в настоящее время осуществляется в периодическом или непрерывном режиме. Для современного промышленного и гражданского строительства как в России, так и за рубежом применимы разнообразные системы мониторинга конструкций зданий и сооружений, основанных на использовании традиционных геодезических методов мониторинга или применении новых современных технологий, таких как, GPS-измерения или наземное лазерное сканирование.

Стоимость существующих на сегодняшний день систем непрерывного автоматизированного мониторинга достаточно высока поэтому на стадии проектирования подобные системы разрабатываются в основном для ответственных сооружений. Устройство такого рода систем экономически и технически целесообразно производить на стадии строительства объектов. Для уже эксплуатируемых объектов устройство подобных систем связано с рядом проблем, например, высокой стоимостью установки автоматизированной системы после строительства объекта; трудностью доступа к несущим; трудоемкостью создания единой сети получения информации, необходимостью устройства специальных каналов для прохода кабелей и подготовки помещения для их контроля.

Периодический мониторинг, проводящийся по установленному графику, представляет собой квалифицированное обследование, систематически повторяемое по заранее запланированной программе, основной задачей которого является определение изменений технического состояния конструктивных элементов инженерных сооружений при помощи визуального и инструментального мониторинга ряда параметров наблюдаемого объекта. Периодический мониторинг, на сегодняшний день является менее затратным мероприятием, чем автоматизированный, но его методика, также не является отработанной и регламентированной в соответствующих нормативных документах.

Контроль деформаций проблемного сооружения традиционно осуществляется путем определения развития в основном вертикальных осадок по контуру сооружения в

уровне основания с помощью геометрического нивелирования [79]. Неравномерные деформации основания в большинстве случаев носят сложный изменяющийся в пространственный характер. Конфигурация, пространственная жесткость сооружения, различные физико-механические характеристики материалов, наличие дефектов, повреждений несущих элементов и т.д. влияют на перераспределение деформаций по всему объему сооружения и, как следствие, возникает разброс значений перемещений в вертикальных и горизонтальных плоскостях, что необходимо учитывать для получения объективной картины изменения технического состояния конструкций. Учет только вертикальных осадок в уровне основания не отражает реальной картины пространственной деформации всего объекта и изменения НДС. Это особенно важно при сложных геометрических характеристиках инженерных сооружений, а также большой этажности зданий, в условиях отсутствия доступа к части осадочных марок для проведения необходимого количества измерений при геометрическом нивелировании [43].

Таким образом, при неравномерных деформациях основания инженерного сооружения главными параметрами, которые должны фиксироваться в ходе мониторинга, будут являться пространственные деформации сооружения – совместные перемещения массива характерных точек в нескольких уровнях по высоте и периметру объекта, которые объект испытывает в результате деформационного воздействия со стороны основания. Схема геотехнического мониторинга инженерных сооружений при неравномерных деформациях основания представлена на (рис.2.1-2.3) [82, с доп. автора]

Традиционно пространственные перемещения сооружений определяются при помощи геодезических измерений с применением целого ряда различных геодезических методов, относящихся к дистанционным оптическим способам получения информации о техническом состоянии конструкций объектов. Наиболее распространенным на сегодняшний день является определение деформаций зданий и сооружений с использованием современной геодезической аппаратуры— дальномеров, теодолитов, нивелиров и т.д. Техническое развитие приборной базы привело к появлению качественно новых геодезических приборов: электронных тахеометров, являющихся сочетанием классического теодолита с лазерным дальномером и позволяющих одновременно выполнять линейные и угловые измерения до точек, снабженными специальными отражательными марками[43].

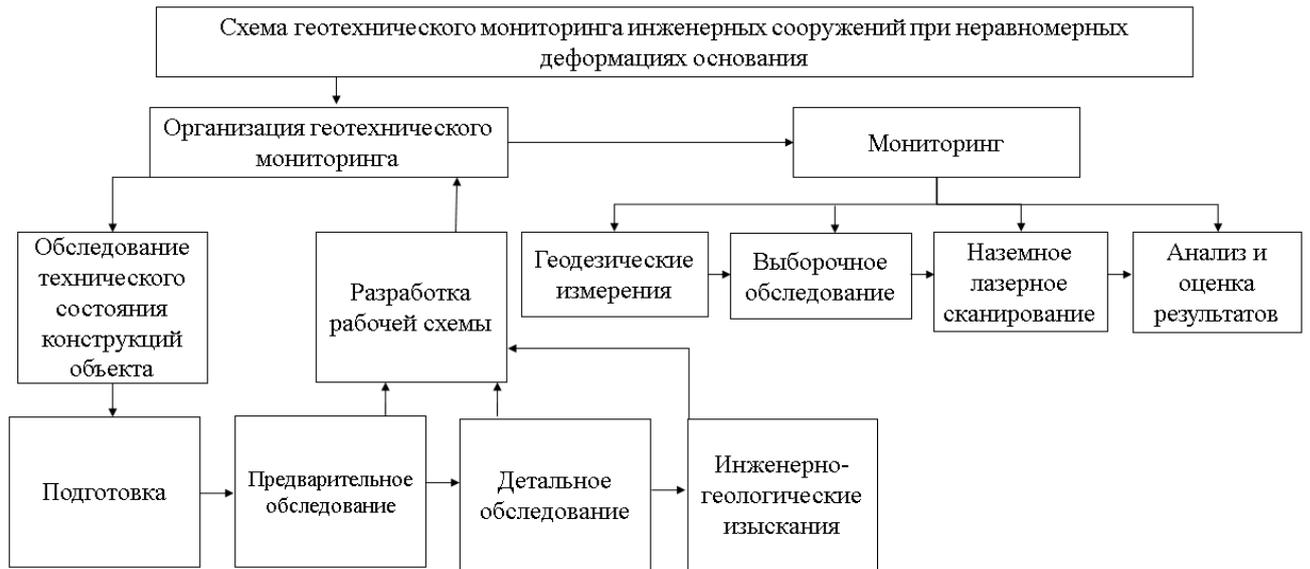


Рис. 2.1. Общая схема геотехнического мониторинга.



Рис. 2.2. Работы на организационном этапе мониторинга

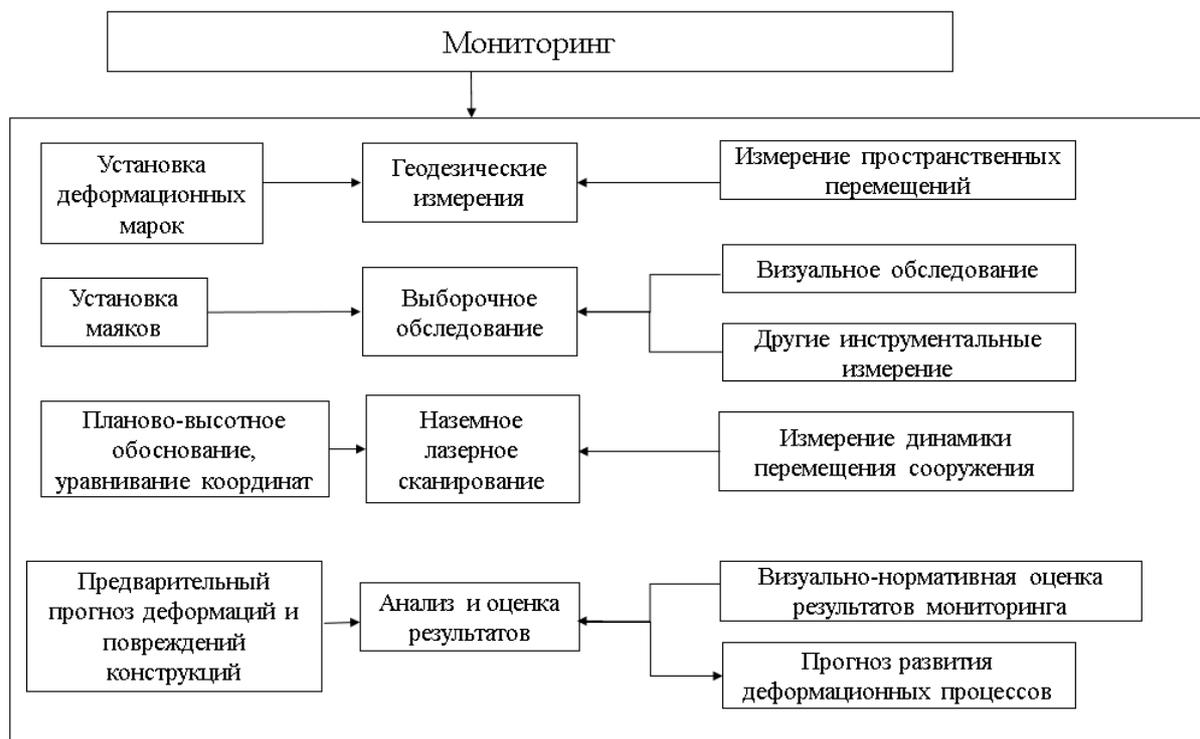


Рис. 2.3. Работы на основном этапе геотехнического мониторинга

К менее распространенным методам дистанционных измерений осадок, смещений, кренов зданий относят фотограмметрические методы [7, 76], используемые для определения взаимного положения объектов по фотоснимкам. Соединение фотоснимков в единое целое выполняется с использованием математических законов соответствия между объектом фотографирования и его изображением на снимке. В [36] рассматриваются особенности цифровых измерительных систем, методы и технические средства получения цифровых фотограмметрических изображений (цифровые камеры, фотограмметрические сканеры, цифровые фотограмметрические рабочие станции).

Также к нетрадиционным методам геодезического контроля геометрических характеристик сооружения относится лазерное сканирование. Результатом сканирования является трехмерная модель сооружения в виде множества (нескольких миллиардов) точек, каждая из которых имеет свои координаты в пространстве. На основе полученной 3D модели сооружения возможно решение многочисленных инженерных задач, такие как, трехмерные модели рельефа местности, исполнительные схемы, топографическая съемка местности в соответствующих масштабах, виртуальные симулятор для обучения и переподготовки кадров, комплекты архитектурных чертежей фасадов, разрезов сечений с нанесением видимых дефектов, создание каталогов объемных твердотельных элементов и т.д.

Система контроля деформаций зданий с помощью технологии GPS-измерений [22, 72] предполагает установку в одной или нескольких контрольных точках в пределах здания стационарных антенн высокоточного GPS-приемника, регистрирующей непрерывно или с определенным интервалом свое пространственное положение с точностью до нескольких миллиметров и передающей текущие трехмерные координаты в компьютер. Смещения точек за опасный порог обозначенной области измерений вне зависимости от причин возникновения (просадка, смещение грунта, разрушение элементов конструкций здания, внешнее воздействие и т.д.) свидетельствует о факте деформации здания

Стоит отметить, что применение технологии GPS-измерений для мониторинга деформаций объектов в районах с плотной городской застройкой ограничивается в связи с наличием многочисленных препятствия для приема спутниковых сигналов, вследствие чего затрудняется определение координат всех необходимых точек сооружения. При этом необходимо констатировать, что результатом GPS-измерений является достаточно небольшой объем информации, что при значительных габаритах объектов не дает полной деформационной картины сооружения [42].

Сделать объективный вывод о том, какие из существующих методов контроля необходимо использовать в комбинации с традиционными методами мониторинга состояния сооружений достаточно сложно. Выявление их основных достоинств и недостатков не является окончательным критерием для принятия решения. В такой ситуации дополнительными факторами выбора являются: соответствие выбранного метода существующим нормам в области мониторинга и инструментальных измерений; универсальность метода, возможность его адаптации к конкретному объекту; условия эксплуатации объекта мониторинга, обеспечение доступа к несущим конструкциям; трудоемкость использования метода в ходе мониторинга; экономическая целесообразность применения метода; наличие в арсенале специалистов необходимой аппаратуры и опыта ее применения.

К преимуществам применения традиционных геодезических измерений (нивелирование, тахеометрическая съемка) можно отнести развитие современной геодезической приборной базы в сочетании с использованием передовых информационных технологий, опыт, накопленный в области наблюдений за деформациями зданий и сооружений, отраженный в научно-технической и нормативной литературе [40].

2.2. Методы геотехнического мониторинга

В настоящее время для решения аналитических задач геотехнического мониторинга инженерных сооружений имеется внушительный ряд методов, в том числе и инновационных. В то же время, как отмечалось выше, основным нормативным документом, регламентирующим работы по выявлению деформационных процессов зданий и сооружений, с 2013 г. является обновлённый ГОСТ [14] и СП [83]. В целом стандарт сохранил многие положения ранее действующего 1981 г., не исключая при этом возможность применения современных геодезических методов, связанных с использованием электронных тахеометров, спутниковой навигации, а также ряда инструментальных методов. Рассмотрим их [19] в виду возрастающего числа аварий на строительных объектах гражданского и промышленного назначения, вызванных воздействием внешних техногенных факторов в сложных инженерно-геологических условиях, становится очевидным, что эксплуатационная безопасность этих объектов, в первую очередь, зависит от того, применяется ли вообще в ходе эксплуатации процедура мониторинга их технического состояния в целом. В значительной степени их безопасность зависит также от того, насколько эффективна выбранная методика мониторинга [43].

1. Визуально-инструментальные методы мониторинга состоят из визуальных наблюдений (осмотр объекта) и инструментальных измерений (фиксация дефектов и повреждений в конструкциях). Их следует применять для наблюдения за возводимым (реконструируемым) сооружением, сооружениями окружающей застройки, конструкциями проходных и полупроходных коллекторов, поверхностью прилегающего грунта, в том числе вдоль трасс инженерных коммуникаций.

Цель систематически проводимых визуально-инструментальных наблюдений — получить информацию о характере развития дефектов, выявленных в ходе выполнения обследования здания, которое в соответствии с [19] проводится до начала подготовки строительной площадки. При этом фиксируют: водопроницаемость бетона и его прочность; процент армирования, профиль и площадь арматуры; величину защитного слоя; глубину и степень коррозии бетона (сульфатизация, проникание хлоридов, карбонизация и т.д.); степень прочности материалов каменной кладки; перекосы, наклоны и сдвиги элементов несущих конструкций; степень коррозии сварных швов и металлических элементов; осадки основания (по специальному заданию); осадки, крены, прогибы и кривизну фундаментов (по специальному заданию согласно

геодезическому методу, описанному выше); необходимые характеристики грунтов, уровень подземных вод и их химический состав (если эти сведения отсутствуют в инженерно-геологических данных, — по специальному заданию).

Вблизи источников динамических нагрузок, которые вызывают колебания участков основания прилегающих зданий и сооружений, проводятся вибрационные обследования, в результате чего фиксируется возникновение новых дефектов.

Вибрационные обследования проводят в целях получения фактических данных об уровнях колебаний грунта и конструкций фундаментов зданий и сооружений при наличии динамических воздействий от:

- оборудования, установленного или планируемого к установке вблизи здания (сооружения);
- проходящего наземного или подземного вблизи здания (сооружения) транспорта;
- строительных работ, проводимых вблизи здания (сооружения);
- других источников вибраций, расположенных вблизи здания (сооружения).

2. **Геодезические методы.** При использовании этих методов фиксируют перемещения поверхностных геодезических марок (ПГМ) при помощи нивелиров, тахеометров, теодолитов, а иногда навигационных спутниковых систем. ПГМ — это геодезические знаки, которые устанавливаются на поверхности объектов, попадающих в зону влияния строительства (зданий, инженерных коммуникаций, конструкций вновь строящихся или реконструируемых зданий, грунтового массива основания и т.п.). Для наблюдения за перемещениями ПГМ создается опорная планово-высотная сеть, включающая несколько реперов, вынесенных за габариты зоны влияния. За этими реперами и проводится наблюдение. Производство геодезических наблюдений и их обработка включает операции, представленные на рисунке 2.4.

Для сооружений I уровня ответственности следует использовать глубинные реперы (ГР). Это фундаментальные геодезические знаки, закладываемые в специально пройденные скважины до практически несжимаемых грунтов. Система ГР, при наличии сопутствующего оборудования, позволяет обеспечить I класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений.

Следует отметить, что в условиях плотной городской застройки часто используют городскую геодезическую сеть, которая, как правило, базируется на поверхностных реперах, устанавливаемых на поверхности цокольных этажей окружающих зданий и сооружений, которые сами претерпевают подвижки, поэтому I класс точности может быть не обеспечен.

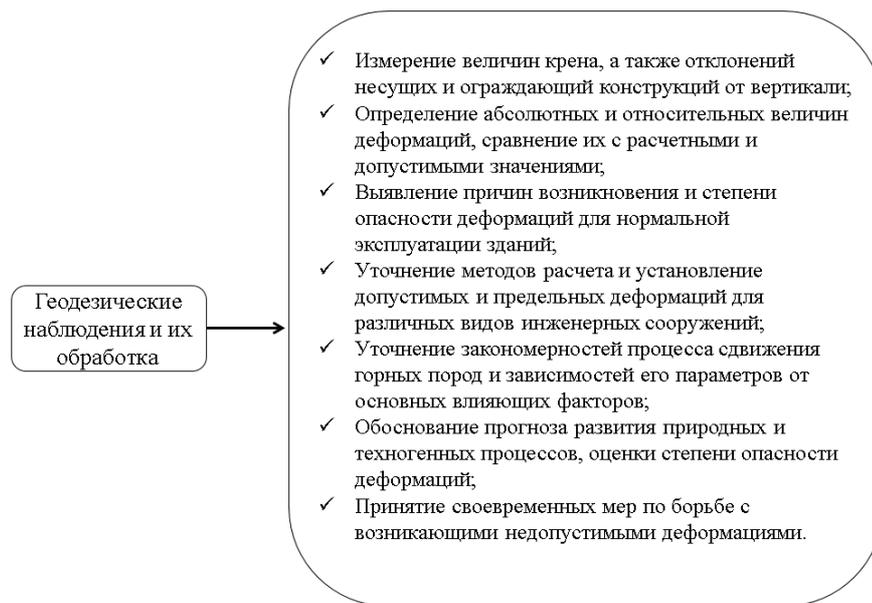


Рис. 2.4. Геодезические наблюдения и их обработка при мониторинге технического состояния зданий по данным [70]

Для сооружений I уровня ответственности следует использовать глубинные реперы (ГР). Это фундаментальные геодезические знаки, закладываемые в специально пройденные скважины до практически несжимаемых грунтов. Система ГР, при наличии сопутствующего оборудования, позволяет обеспечить I класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений. Следует отметить, что в условиях плотной городской застройки часто используют городскую геодезическую сеть, которая, как правило, базируется на поверхностных реперах, устанавливаемых на поверхности цокольных этажей окружающих зданий и сооружений, которые сами претерпевают подвижки, поэтому I класс точности может быть не обеспечен.

Определение точности измерения вертикальных и горизонтальных смещений производят в зависимости от ожидаемого расчетного смещения. Если отсутствуют данные о расчетных значениях деформаций оснований и фундаментов, разрешается устанавливать следующий класс точности измерений вертикальных и горизонтальных деформаций:

I – для сооружений (зданий) уникальных, находящихся в эксплуатации более 50 лет, которые возводятся на полускальных и скальных грунтах;

II – для сооружений (зданий), которые возводятся на глинистых, песчаных и других сжимаемых грунтах;

III – для сооружений (зданий), которые возводятся на просадочных, насыпных, заторфованных и сильно сжимаемых грунтах;

IV – для грунтовых сооружений. ПГМ размещаются на поверхности наблюдаемых конструкций или грунтового массива. Расстояние между ПГМ на зданиях обычно принимают равным 10–15 м. При наличии деформационных швов в здании, а также выступающих частей расстояние между ПГМ следует сокращать до 2–5 м. Для наблюдений за перемещением инженерных коммуникаций используют обычно их выступающие доступные части, например, защитные люки.

Необходимая точность измерений деформаций наблюдаемого объекта и классы их точности определяются на основании нормативных документов [14, табл. 2.1.] и показаны в схематичном виде на рис. 2.5.

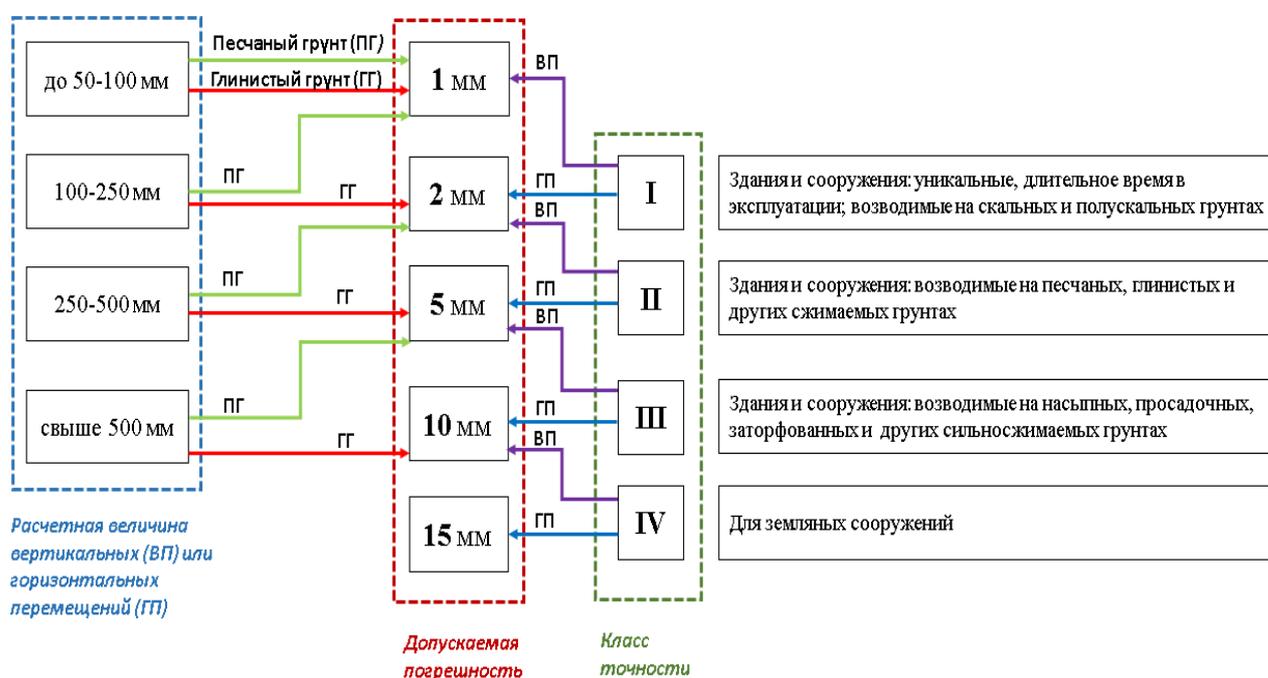


Рис. 2.5. Определение погрешностей измерений

Основными контролируемыми параметрами при проведении геодезического мониторинга являются вертикальные осадки, подъемы, прогибы и горизонтальные сдвиги, крены, перемещения, которые сравниваются с допустимыми значениями. Результаты геодезического мониторинга заносятся в ведомости, которые принято называть накопительными.

Таблица 2.1. Основные геодезические методы и средства измерений, применяемые при геотехническом мониторинге по СП305.1325800.2017

Методы геодезического мониторинга	Средства измерений и регистрации данных	Контролируемый параметр
Геометрическое нивелирование коротким лучом визирования	Оптический нивелир Цифровой нивелир	Вертикальные перемещения конструкций зданий и сооружений, основания, фундаментов и поверхности грунтового массива
Тригонометрическое нивелирование	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Гидростатическое нивелирование	Переносной шланговый нивелир Стационарная гидростатическая система	
Метод относительных спутниковых измерений с использованием глобальной спутниковой навигационной системы (ГНСС)	Автоматизированные аппаратно-программные системы, состоящие из приемников (роверов) и базовых станций	Вертикальные и плановые перемещения конструкций зданий и сооружений, основания, фундаментов и поверхности грунтового массива
Геодезические наблюдения по кустам глубинных реперов	Оптический нивелир Цифровой нивелир Электронный тахеометр	Вертикальные перемещения грунтового массива по глубине
Метод створных наблюдений (метод бокового нивелирования)	Электронный тахеометр Оптический теодолит	Горизонтальные смещения. Сдвиг (здания и сооружения, ограждающие конструкции котлованов, грунтовый массив)
Метод полигонометрии	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Метод отдельных направлений	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Метод триангуляции	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Метод фотограмметрии	Фототеодолит	
Метод трилатерации	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Метод проецирования	Электронный тахеометр Оптический теодолит	Крен фундамента и наклон здания в целом
Метод координирования	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Метод измерения углов или направлений	Электронный тахеометр Оптический теодолит	
Метод фотограмметрии	Фототеодолит	

Следует отметить, что при возможном динамическом воздействии, например, от линий метрополитена или железнодорожного и трамвайного видов транспорта для сооружений I и II степеней ответственности, по спецзаданию, для оперативного получения необходимой информации о деформациях строящихся зданий и зданий, находящихся в зоне влияния, целесообразно применять постоянно действующие системы, в которых измерения, обработка и анализ данных, а также передача их

пользователю осуществляются автоматически в режиме реального времени с заданной периодичностью.

3. Параметрические методы. При применении параметрических методов в составе геотехнического мониторинга следует выполнять следующие измерения:

- вертикальных и горизонтальных деформаций (послойные осадки грунтов оснований; горизонтальные и вертикальные перемещения массива грунта по глубине; горизонтальные перемещения ограждающей конструкции котлована);
- угловые (крен фундамента и конструкций сооружения);
- напряжений (в основании под пятой и в стволе свай, в конструкциях подземной части сооружений, под подошвой фундаментов, в стальных распорках, тросах анкерных устройств, арматуре и бетоне ограждающих конструкций котлована, конструкций перекрытий);
- порового давления подземных вод.

Основные средства измерений параметрических методов, применяемые при геотехническом мониторинге, в зависимости от контролируемых параметров, представлены в таблице 2.2.

4. Виброметрические методы в составе геотехнического мониторинга обеспечивают контроль допустимого уровня вибраций сооружений и их оснований в период строительства и после его завершения. Вблизи источников динамических нагрузок, которые вызывают колебания участков основания прилегающих зданий и сооружений, проводятся вибрационные обследования, в результате чего фиксируется возникновение новых дефектов. Вибрационные обследования проводят в целях получения фактических данных об уровнях колебаний грунта и конструкций фундаментов зданий и сооружений при наличии динамических воздействий от: оборудования, установленного или планируемого к установке вблизи здания (сооружения); проходящего наземного или подземного вблизи здания (сооружения) транспорта; строительных работ, проводимых вблизи здания (сооружения); других источников вибраций, расположенных вблизи здания (сооружения).

Таблица 2.2. Основные средства измерений параметрических методов, в зависимости от контролируемых параметров, при геотехническом мониторинге [85]

Контролируемый параметр	Средства измерений и регистрации данных
Геотехнический мониторинг оснований, фундаментов и конструкций вновь возводимых, реконструируемых и расположенных в зоне влияния строительства сооружений	
Крен фундамента и конструкций	Высокоточные электроуровни, в т. ч. балочного типа Датчики на основе одно- двухосевых микроэлектромеханических систем (МЭМС) инклинометров Оптоволоконный точечный инклинометр Стационарная автоматизированная система контроля деформаций на основе прямых/обратных отвесов
Напряжения: - под подошвой фундаментов - в основании под пятой свай - на контакте с конструкцией	Струнные датчики давления Электрические датчики давления
Напряжения:- в конструкциях подземной части сооружений стволе свай	Струнные датчики нагрузки Тензорезисторные датчики нагрузки Струнные замоноличиваемые тензодатчики Электрические замоноличиваемые тензодатчики Оптоволоконные замоноличиваемые тензодатчики
Послойные осадки грунтов оснований	Портативный скважинный ручной магнитный экстензометр (с одним зондом) Портативный скважинный ручной экстензометр (двухточечный зонд) Стержневой экстензометр Струнный экстензометр Оптоволоконный экстензометр
Поровое давление подземных вод	Струнные пьезометры Электрические пьезометры Оптоволоконные пьезометры
Геотехнический мониторинг конструкций ограждения котлованов вновь возводимых и реконструируемых сооружений	
Горизонтальные перемещения ограждающей конструкции котлована по высоте	Портативные скважинные инклинометры Стационарные скважинные инклинометры
Напряжения: - в стальных распорках - тягах анкерных устройств	Струнные тензодатчики, устанавливаемые методом дуговой или точечной сварки Электрические тензодатчики Оптоволоконные тензодатчики Струнные датчики нагрузки с центральным отверстием Тензорезисторные датчики нагрузки с центральным отверстием
Напряжения: - в арматуре и бетоне ограждающих конструкций котлована - арматуре и бетоне перекрытий	Струнные замоноличиваемые тензодатчики Электрические замоноличиваемые тензодатчики Оптоволоконные замоноличиваемые тензодатчики
Геотехнический мониторинг массива грунта, окружающего вновь возводимые и реконструируемые сооружения	
Вертикальные перемещения массива грунта по глубине	Портативный скважинный ручной магнитный экстензометр (с одним зондом) Портативный скважинный ручной экстензометр (двухточечный зонд) Стержневой экстензометр Струнный экстензометр Оптоволоконный экстензометр
Горизонтальные перемещения массива грунта по глубине	Портативные скважинные инклинометры Стационарные скважинные инклинометры

6. Целью *геофизических измерений* в составе геотехнического мониторинга является фиксация и оценка изменений состояния строительных конструкций и геологической среды, обусловленных как техногенными, так и природными факторами, в условиях ограниченности возможностей использования прямых методов измерений контролируемых параметров таких изменений. По результатам геофизических наблюдений оценивают пространственно-временные изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтов оснований, а также изменения особенностей их залегания в массиве (зоны разуплотнения, обводнения, трещиноватости и т.д.). При наблюдениях за строительными конструкциями по результатам геофизических измерений выявляют и оценивают изменения НДС, их сплошности и целостности.

7. *Гидрогеологические методы* в составе геотехнического мониторинга включают в себя комплекс работ по определению изменений уровней подземных вод (УПВ) или величин пьезометрических напоров в водоносных горизонтах на строительной площадке и на прилегающей территории в период строительства и реконструкции объекта, а также на начальном этапе его эксплуатации.

Целью гидрогеологических методов геотехнического мониторинга является контроль за изменениями УПВ или пьезометрических напоров для своевременного принятия мер по исключению негативного влияния указанных изменений на сооружения и коммуникации, расположенные на близлежащей к строительной площадке территории, а также на строящееся сооружение, включая опасность всплытия объекта строительства. Гидрорежимная информация представляется дебитами, напорами, уровнями, химическим составом, температурой, качеством и физическим состоянием подземных вод, которые выражаются в относительных (нормированных) или абсолютных величинах. Изменения водного режима осваиваемых территорий зависят от изменения режима: поверхностных вод; подземных вод при освоении подземного пространства; вод в зоне аэрации.

При контроле изменений режима поверхностных вод следует получить следующую информацию: об изменении естественного поверхностного стока, естественного рельефа при строительных и мелиоративных работах; об изменении естественного режима рек и водоемов, в том случае если эти водоемы находятся в непосредственной близости от строительной площадки; о техногенном изменении естественного режима при строительстве искусственных водоемов, подземных откачках, строительстве на сопредельных территориях и т.п.

Таблица 2.3. Основные методы геофизических наблюдений, применяемых при геотехническом мониторинге [85]

Метод	Технология наблюдений	Измеряемые параметры	Решаемые задачи/ особые условия
Электромагнитные методы			
Радиолокационное зондирование (РЛЗ)	По поверхности	Характеристики электромагнитных импульсов, возбуждаемых внешними устройствами и отраженных от границ сред с различной диэлектрической проницаемостью	Фиксация в грунтовом массиве изменений границ зон повышенной влажности, зон разуплотнения и т.д.
Электропрофилирование (ЭП) Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)	По поверхности	Кажущиеся электрические сопротивления и удельные электрические сопротивления (УЭС) пород	То же, в том числе в подземных конструкциях
Электрокаротаж сопротивлений (КС), токовый каротаж	В скважинах		
Метод естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ)	По поверхности, в шпурах, скважинах	Амплитудные и частотные характеристики импульсов ЕЭМИ	Оценка изменений напряженного состояния грунтового массива, элементов строительных конструкций
Радиоволновое просвечивание (РВП)	Скважинная, скважинно-поверхностная	Изучение компонентов электромагнитного поля при возбуждении в одной скважине и приеме в другой, на поверхности или в той же скважине	Оценка изменений свойств грунтов под фундаментами сооружений и изменений состояния подземных конструкций, в т.ч. на участках плотной застройки
Сейсмоакустические методы			
Корреляционный метод преломленных волн (КМПВ, МПВ), метод отраженных волн (МОВ), в модификации общей глубинной точки (МОВ ОГТ) профилирование по поверхностям подземных конструкций	По поверхности	Изучение динамических и кинематических характеристик упругих колебаний в среде, вызванных искусственными источниками возбуждения колебаний	Оценка изменений состояния массивов грунтов и состояния конструкций
Сейсмоакустический каротаж (СК), вертикальное сейсмоакустическое профилирование (ВСП)	В скважинах		
Ультразвуковой каротаж (УЗК), ультразвуковое профилирование по поверхностям подземных конструкций	Скважинная, по поверхности		
Акустическая эмиссия (АЭ)	По поверхности, в шпурах, скважинах	Амплитудные и частотные характеристики импульсов АЭ	Оценка изменений напряженного состояния грунтового массива и элементов строительных конструкций
Ядерно-физические методы			
Гамма-гамма метод (ГГМ), нейтрон-нейтронный метод (ННМ)	Скважинная, по поверхности	Характеристики ослабления радиоактивного излучения в грунтах и материалах конструкций	Оценка изменений свойств грунтов (плотность, влажность) под фундаментами сооружений и изменений состояния конструкций, в т.ч. на участках плотной застройки

При контроле изменения режима подземных вод следует обращать внимание на изменение УГВ вследствие барражного эффекта, откачек, работы дренажей, утечек техногенных вод и т.п. При наблюдении за режимом в зоне аэрации следует учитывать изменение влажности: при инфильтрации; в результате тепловлагопереноса. По специальному заданию гидрогеологический мониторинг может включать экологические элементы, например, контроль над химическим составом, температурой, качеством и физическим состоянием подземных вод.

Наблюдения за изменениями поверхностного водного режима и режима в зоне аэрации проводятся, как правило, на специально оборудованных балансовых площадках при помощи приборов, которые называются осадкомерами и размещаются обычно на дневной поверхности или близко от нее. Наблюдения за изменениями режима подземных вод ведутся по гидрогеологическим скважинам, оборудованным обсадными трубами с перфорацией в зоне контроля, защищенной от заиливания фильтром. В нижней части скважины располагается отстойник. Скважина оборудуется датчиком уровня грунтовых вод, работающим в периодическом ручном режиме или автоматическом непрерывном. В случае использования экологической составляющей скважина оснащается соответствующими датчиками, например, температуры.

8. **Температурные методы** в рамках геотехнического мониторинга выполняются для получения достоверной информации о температуре грунтов на различной глубине. Полевые измерения температуры грунтов проводятся в соответствии с программой геотехнического мониторинга для контроля и оценки изменений, происходящих в тепловом режиме грунтов в процессе возведения сооружений. Измерения температуры грунтов проводятся в заранее подготовленных и выстоянных термометрических скважинах. Измерения выполняются термоизмерительными комплектами, представляющими собой электрические датчики температуры с соответствующей измерительной аппаратурой (СКГМ-ТГ), устройствами для накопления информации в автоматическом режиме и дистанционной передачи данных. Оборудование термометрических скважин, а также требования к измерительному оборудованию должно соответствовать требованиям [14]. В отчетной документации по результатам температурных наблюдений в том числе должны приводиться данные измерений в виде графиков и таблиц, анализ изменения температурного режима грунтов в период строительства, выводы по результатам наблюдений и рекомендации по сохранению температурного режима в случае его изменения.

2.3. Оценка поверхностей при помощи лазерного сканирования

История развития наземного лазерного сканирования

Началом развития электронных геодезических приборов можно считать 1947 г., когда впервые в мире шведским ученым Эриком Бергстрандом был создан оптико-электронный геодезический дальномер «GEOdeticDistanceMETER». Только спустя 20 лет был создан лазерный дальномер нового поколения. Следующим не маловажным этапом стало появление в начале 70-х годов электронного тахеометра, представленного фирмой Geotronics. Прибор имел только средство записи, которые обрабатывались на ЭВМ того времени.

Значительную роль сыграло создание в 1986 г. «умной геодезической системы» Geodimeter System 400 обладающей высокими вычислительными возможностями. Постепенная компьютеризация тахеометров, усовершенствования операционных систем, внедрение сервоприводов, систем радиокommunikации дистанционного управления, системы автоматического наведения и слежения привела к созданию в 1990 г. новой системы Geodimeter System 4000, а вместе с ней новые термины: «роботизированная съемка», «тахеометры роботы».

Одновременно с развитием электронных тахеометров, зарождалась совершенно новая система спутникового позиционирования. Идея GPS зародилась у американских военных в 50-е годы прошлого века. Упоминание о первых запусках спутников GPS относится к 1959 году.

2005 г. Первый GPS-спутник нового поколения, получивший название Block II, был запущен с мыса Канаверал. Новый вид сигналов, передаваемых спутником, получил второй, выделенный гражданский канал.

История лазерных сканеров Leica началась еще в 90-х годах прошлого века. Первая модель 2400, тогда еще под маркой Суга, была выпущена в 1998. В 2001 году компания Суга вошла в концерн Leica Geosystems в подразделение HDS (High-Definition Surveying). Сейчас, компания Leica Geosystems представляет на рынке линейку из трех сканирующих систем [35].

Современные лазерные сканеры во многом является дальнейшим развитием хорошо известных и активно применяемых в наземной геодезии оптических дальномеров и родственных им приборов - лазерных тахеометров, которые определяют дальность путем измерения времени распространения зондирующего луча от излучателя до объекта и обратно. С другой стороны, они много заимствовали от

активных лазерных сканирующих систем авиационного базирования, использующихся с 70-х годов в основном в качестве военной разведывательной аппаратуры. Следуют также упомянуть о так называемых лидерах, применяемых для дистанционного зондирования атмосферы с помощью лазерного луча. Именно исследования в области использования полупроводниковых лазеров в лидерах обеспечили подготовку технологической базы для разработки первых лазерных сканеров [35].

Интеграция цифровой техники геодезических и фотограмметрических технологий привели к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности – систем наземной лазерной локации или наземных лазерных сканеров (НЛС).

Сущность наземного лазерного сканирования заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек объекта и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов), следовательно, измеряемые величины при наземном лазерном сканировании являются аналогичными, как и при работе с электронными тахеометрами. Однако принцип тотальной съемки объекта, а не его отдельных точек, характеризует НЛС, как съемочную систему, результатом работы которой является трехмерное изображение или так называемый скан.

Избыточность информации, получаемая при съемке, позволяет говорить о полной автоматизации процесса сбора информации об объекте. Наземное лазерное сканирование обладает следующими достоинствами по отношению к другим способам получения пространственной информации:

- а) возможностью определения пространственных координат всех точек объекта в полевых условиях;
- б) трехмерной визуализацией в режиме реального времени, позволяющей на этапе полевых работ определить «не видимые» зоны;
- в) неразрушающий метод полученной информации;
- г) высокая точность измерений;
- д) принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съемке труднодоступных и опасных районов;
- е) высокая производительность. Наиболее важным достоинством применения НЛС является сокращение полевых работ при создании цифровых моделей объектов, следовательно, данная технология экономически более выгодна по сравнению с другими;

ж) работы можно выполнять при любых условиях освещения, т.е. днем и ночью, так как сканеры являются активными съемочными системами;

з) высокая степень детализации;

и) многоцелевое использование результатов лазерного сканирования [78].

Благодаря своим преимуществам наземное лазерное сканирование находит широкое применение во многих областях науки, техники и отраслях народного хозяйства, а именно: архитектура (чертежи фасада, разрезов сечений с нанесением видимых дефектов, создание каталога объемных твердотельных элементов для сохранения исторического наследия); археология (трехмерная модель рельефа местности); промышленность (топография для подготовки документации с целью ввода объекта в эксплуатацию, 3д информационные модели и симуляторы для обучения и переподготовки, фактические геометрические характеристики для дальнейшей экспертизы, инвентаризация и паспортизация объектов); геодезический аудит (авторский надзор ответственных объектов)

Виды лазерного сканирования

Лазерное сканирование подразделяется на воздушное, наземное и мобильное.

Наземное лазерное сканирование (НЛС)

Съемка выполняется с наземных объектов или с грунта в дискретном режиме (с перестановкой прибора). Метод можно применять в закрытых помещениях и средах (тоннели, пещеры). НЛС идеально подходит для сложных сооружений и внутренних съемок. Технология НЛС используется для получения очень детальных 3D-моделей объектов (рисунок 2.6, 2.7, Елифанова 2014), фасадных планов, топографических планов местности масштаба 1:500. Наземный лазерный сканер позволяет отснять объекты размером до 0,5–2 см с точностью до 0,5–5 мм. Наземное лазерное сканирование может вестись в любое время суток. Производительность — от 1000–4000 кв. м при съемке фасадов в масштабе 1:50 до 4–20 га при съемке топографических планов масштаба 1:500 [32].

Недостатком метода можно считать низкую производительность по сравнению с воздушным сканированием.



Рис. 2.6. Облако точек с наложением фото при наземном лазерном сканировании



Рис. 2.7. 3D модель здания

Мобильное лазерное сканирование (МЛС)

Съемка выполняется с наземного или водного носителя в непрерывном режиме. Метод допускает ограниченное кратковременное пребывание в закрытых средах (проезд под мостами, короткие тоннели). МЛС идеально подходит для городских территорий. Технология применяется для массивованного картографирования и 3D-моделирования линейных инфраструктурных объектов (автомобильные и железные дороги, ЛЭП, улицы городов), площадных объектов сложной структуры и высокой детальности (населенные пункты, развязки и эстакады в несколько уровней, скальные берега, нижние бьефы плотин (с плавсредств) и т.д. (рисунок 2.8). Точность — 5–8 см, детальность отрисовки — 1–5 см, производительность — до 500 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки — 50–250 м) [32].

Недостатки: не доступны для съемки крыши объектов, объекты рядом с носителем (заборы, кусты) могут быть препятствием.

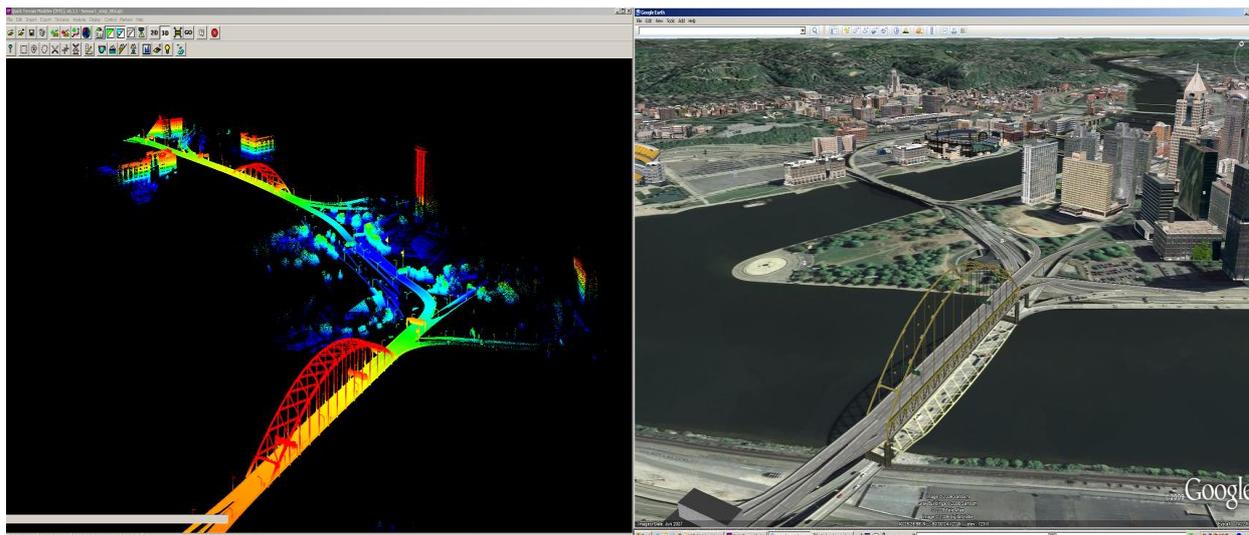


Рис. 2.8. Результат мобильного лазерного сканирования [32]

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС)

Съемка ведется в непрерывном режиме, особенно эффективна для малообжитых территорий. ВЛС применяется для высокоточного картографирования линейных и площадных объектов в масштабах 1:500–1:5000 с воздушных носителей (самолет, вертолет, автожир, квадрокоптер). Точность — 5–8 см, детальность отрисовки — 20–50 см, производительность — до 800 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки до 1000–1500 м). Обычно сопровождается одновременной цифровой аэрофотосъемкой с разрешением 5–15 см в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. В основном применяется при инженерных изысканиях на инфраструктурных объектах, в городском хозяйстве, для оценки объемов перемещенного грунта (карьеры, полки, полигоны ТБО), мониторинга объектов любого характера (рисунок 2.9)

Недостатки: низкая подробность при съемке вертикальных плоскостей (например, стен). Перечисленные методы могут быть совмещены для взаимного устранения недостатков друг друга. Отмеченные недостатки являются таковыми по отношению этих методов друг к другу, однако даже самый медленный метод (наземное сканирование) гораздо производительнее тахеометрической съемки, а наименее детальный метод (воздушное сканирование) — гораздо детальнее, точнее и быстрее классической аэрофотосъемки.



Рис. 2.9. Воздушное лазерное сканирование [32]

Выходные данные являются топографические планы и ГИС-слои, высокоточные цифровые модели рельефа (ЦМР) и местности (ЦММ); 3D-модели объектов (CAD, 3D MAX, DGN), в том числе, с текстурой; Ведомости размеров и габаритов различного характера; профили, разрезы и сечения объектов; виртуальные модели местности и облеты; цветные облака точек лазерных отражений (по одновременному фото); «сетчатая» модель объекта — используется для восстановления лепнины, уникальных объектов (памятники, технологические элементы конструкций) (только для НЛС); фасадные и поэтажные планы (только для НЛС); ортофотопланы в видимом, инфракрасном или тепловом диапазонах (только для ВЛС); перспективные аэрофотоснимки (только для ВЛС) [32].

Выбор программного обеспечения

Компании изготовители предоставляют вместе с прибором пакет стандартных программ, но их возможностей явно недостаточно для решения большого круга задач.

Необходимо ещё на этапе проектирования определить, какие операции с полученным облаком точек будут выполняться в процессе обработки, и какая информация необходима в качестве конечного результата. В данном разделе описаны программы, применяемые для обработки информации, получаемой в процессе сканирования (таблица 2.6)

Приложение «Kubit PointCloud» для «AutoCad» позволяет экспортировать данные прямо из стандартной программы «RealWork» в самую распространённую CAD программу и работать в ней с полученным облаком. Для составления чертежей данная программа является оптимальной.

Таблица 2.6. Характеристика программного обеспечения

Название программы	Описание
RealWorks Viewer (Trimble, США)	Программа для просмотра данных лазерного сканирования и результатов обработки. Совместима со многими файловыми форматами разработки Trimble, Autodesk, iQVolution, RIEGL, обменными текстовыми форматами. Возможно отображение не только облаков точек, но и двух- и трехмерных примитивов, триангуляционных сетей, объектов различных типов.
Kubit PointCloud (Kubit GmbH, Германия)	Предназначена для загрузки и обработки в AutoCAD большого массива данных лазерного сканирования. Поддерживаются функция объектной привязки AutoCAD для каждой точки с информацией о координатах; одновременная работа с облаком точек и подложенными ортоизображениями; сегментирование облака точек с возможностью показа и скрытия отдельных сегментов; определение коллизий между облаком точек и Solid-объектами AutoCAD. Возможен прямой импорт из RealWorks Survey в формат Kubit PointCloud. Ортоизображения из RealWorks Survey (в растровом виде) импортируются в Kubit Point- Cloud вместе с точками, при этом осуществляется их автоматическая геопривязка
TerraScan (Terrasolid Ltd., Финляндия)	Работает в среде MicroStation. «Облегченная» версия — TerraScan Viewer. Трехмерная визуализация и обработка данных лазерного сканирования. Позволяет отображать, классифицировать лазерные данные и осуществлять векторизацию на их основе.
TerraModeler (Terrasolid Ltd., Финляндия)	Работает в среде MicroStation. Создание поверхностей, в том числе по лазерным данным, их визуализация различными способами, автоматическое и интерактивное редактирование и анализ, экспорт полученных данных в ряд часто используемых форматов
Geokosmos AutoCAD Tools («Геокосмос»)	В программную библиотеку включены команды для обработки результатов наземного и воздушного лазерного сканирования, 3D-моделирования инженерных объектов, создания цифровых моделей местности и рельефа. Программа содержит специализированные команды, облегчающие процедуры создания и редактирования цифровых карт, топографических планов и чертежей, и обеспечивает возможность обмена данными с наиболее известными ГИС и CAD-системами (CREDO, MapInfo, MicroStation и т. д.) В состав входят универсальные команды для облегчения создания цифровых карт, планов и трехмерного моделирования
Geokosmos MapInfo Tools («Геокосмос»)	Программная библиотека Geokosmos MapInfo Tools расширяет функциональные возможности MapInfo версий 5.0 и выше. Geokosmos MapInfo Tools позволяет выполнять операции над графическими объектами и слоями карты, наносить условные знаки (бергштрихи, ЛЭП), менять стандартные настройки режима отображения карт, переносить слои из одной карты в другую

Название программы	Описание
Geokosmos 3D Modeler («Геокосмос»)	Для всех сканеров RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. Geokosmos 3D Modeler позволяет: загружать данные, представленные в виде облаков точек или полигональных моделей; строить триангуляционные 3D-модели рельефа местности; визуализировать данные различных ракурсов; текстурировать 3D-модели и точки лазерных отражений аэрофотоснимками или другими растровыми изображениями, заливать 3D-модели цветом по заданным критериям (высота и др.); строить профили, сечения, горизонтали; создавать трехмерные полилинии с привязкой к точкам лазерных отражений и вершинам модели; векторизировать контурные объекты по текстурированным моделям; проводить классификацию точек лазерного отражения
CloudWorx (Leica Geosystems, Швейцария)	Используются базы данных в формате Cyclone. Программа plug-in для отображения больших облаков точек в среде AutoCAD, MicroStation, AVEVA PDMS и Intergraph SmartPlant Review в версиях Basic и Pro. Basic позволяет вводить информацию, разрезать по слоям, оперативно создавать отчетные чертежи. Pro дополнительно имеет функции автоматического моделирования основных примитивов: плоскости, цилиндра, сферы и др. Рекомендуется применять совместно с другими программами plug-in инженерного назначения (например, AutoPlant, PDS)
Leica TruView и Leica Cyclone™ PUBLISHER (Leica Geosystems, Швейцария)	Программа для визуализации и прямых измерений
AutoCAD Civil 3D	Решение для проектирования объектов инфраструктуры и выпуска документации по ним, основанное на технологии Информационное моделирование зданий. Civil 3D предназначен для инженеров, работающих над проектами транспортных сооружений, землеустройства и водных ресурсов. Пользователи получают возможность координировать проекты, исследовать проектные альтернативы, моделировать процесс эксплуатации объектов и выпускать высококачественную документацию. Все это происходит в привычной программной среде AutoCAD.
AutoCAD® Architecture	AutoCAD® для архитекторов, инструменты архитектурного проектирования объединены с привычной средой AutoCAD. Это повышает эффективность работы и улучшает координацию действий со смежниками.
RapidForm	Мощный набор программных средств для решения таких задач как: обработка моделей, полученных с помощью 3D-сканеров, параметрический реверс-инжиниринг, контроль правильности изготовления изделий, путем сравнения CAD-моделей с 3D-сканами.

Преимущества:

- Простота в использовании для любого знакомого с CAD.
- Быстрая съемка и оценка данных от разных датчиков в рамках единой среды CAD.
- Независимость от производителя.
- Разнообразные методы моделирования, ускоряющие последующую обработку.

Решение данной проблемы позволило сделать несколько выводов. В зависимости от решаемых задач камеральную обработку данных сканирования осуществляют, используя различное программное обеспечение.

С течением времени совершенствуются технологии и методики для выполнения геодезических и архитектурных задач. Одной из таких технологий стал метод наземного лазерного сканирования, который позволяет проводить точные обмеры значительно быстрее, чем это было ранее, и содержит полную информацию об объекте в едином массиве «облака точек» или трехмерной модели. Это значительно упрощает процесс управления информацией и дает возможность получать разнообразные данные из единого источника. А при правильном совместном использовании различных методов и технологий можно сопровождать проекты удобной в использовании и исчерпывающей по содержанию документацией, которая не только облегчит выполнение текущих работ.

Выбор метода шивки

Технологии наземного лазерного сканирования являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений геодезии. На рынке появляется большое число лазерных геодезических приборов. Производители лазерных сканеров предлагают множество различных моделей сканеров, которые кроме чисто конструктивных особенностей разнятся по многим параметрам, таким как: точность измерения углов и расстояний, точность компенсации углов наклона, угол поля зрения сканера, максимальное расстояние сканирования и программное обеспечение для обработки результатов сканирования. Главными особенностями того или иного программного обеспечения являются методы и алгоритмы камеральной обработки материалов сканирования, а именно: фильтрация грубых ошибок лазерных сканов, построение пространственных моделей объектов по данным сканирования, объединение отдельных сканов в одну общую систему координат. Поэтому реализации различных вариантов объединения

отдельных сканов в одну общую систему координат представляет собою актуальную проблему, требующую решения ещё на стадии проектирования работ. Возможность применения сканирования для решения различных проблем во многом зависит от выбора метода сшивки сканов.

1. Сшивка по маркам-сферам производителя конкретного лазерного сканера.

Использует специальные сферические марки-отражатели, которые устанавливаются на штативы. Такие марки автоматически распознаются на сканах с помощью программного обеспечения данного лазерного сканера. Если марки установлены на точки с известными геодезическими координатами, то отдельный скан можно сразу сориентировать в геодезической системе координат. В общем, этот метод представляет собой аналог фототриангуляции с использованием координат опорных точек. Метод прост с вычислительной точки зрения и обеспечивает высокую точность сшивки сканов. Требуется покупка соответствующих марок-сфер и использования геодезического оборудования соответствующей точности. Комплекс полевых работ занимает большое количество времени. В каждом перекрытии соседних сканов должно быть минимум 3 марки-сферы.

2. Сшивка по плоским маркам-отражателям на поверхности объекта.

Использует специальные марки-отражатели, которые крепятся на поверхности объекта. Марки распознаются на сканах в интерактивном режиме. Если координаты марок определены геодезическими методами, то отдельный скан можно сразу сориентировать в геодезической системе координат. Этот метод также представляет собой аналог фототриангуляции с использованием координат опорных точек. Метод прост с вычислительной точки зрения и обеспечивает высокую точность сшивки сканов. Требуется много времени на закрепление отражательных марок и использования геодезического оборудования соответствующей точности. Комплекс полевых работ занимает большое количество времени. В каждом перекрытии соседних сканов должно быть минимум 3 марки-отражателя.

3. Сшивка по характерным точкам объекта.

Использует характерные точки на поверхности объекта. Точки распознаются на сканах в интерактивном режиме. Если точки определены геодезическими методами, то отдельный скан можно сразу сориентировать в геодезической системе координат. В качестве характерных точек могут браться объекты с определенной отражающей способностью, а также контурные элементы. Метод прост с вычислительной точки зрения и не требует размещения контрольных точек на объекте. Поскольку точно идентифицировать положение

характерных точек нельзя, то точность метода значительно ниже в сравнении с Методом 1 и Методом 2. Комплекс геодезических работ занимает большое количество времени.

4. Непосредственная геодезическая привязка сканера. При реализации метода используется комплект геодезического оборудования, который может включать: GPS приемники, датчики наклона и разворота, электронный тахеометр. Положение и ориентация сканера определяются на местности с помощью геодезического оборудования. Метод представляет собой аналог фототриангуляции с известных элементов внешнего ориентирования. Метод прост с вычислительной точки зрения, поскольку каждый скан уже ориентирован в геодезической системе координат. Перекрытие между сканами может быть всего 5%. Требуется наличия дорогого геодезического оборудования. Комплекс полевых работ занимает большое количество времени.

5. Мобильная лазерная съемка. При реализации метода используется комплект геодезического оборудования и транспортное средство. В комплект геодезического оборудования входят: GPS приемники, инерциальная навигационная система. Положение и ориентация сканера определяются на местности с помощью геодезического оборудования. Метод представляет собой аналог мобильной картографической системы с использованием вместо цифровых камер лазерного сканера. Каждый скан уже ориентирован в геодезической системе координат. Перекрытие между сканами может быть всего 5%. Требуется наличия дорогого геодезического оборудования. С вычислительной точки зрения является достаточно сложным, особенно при обработке геодезических измерений.

6. Итерационный метод ближайшей точки. Метод не требует наличия искусственных марок или контурных точек. Перекрытие между сканами задается интерактивно. В основе вычислительного алгоритма метода лежит процесс поиска двух ближайших точек на смежных сканах и вычислении для них параметров преобразования. Существует несколько разновидностей данного метода: соответствие точки к точке, соответствие точки к касательной и соответствие точки к ее проекции. Конкретную реализацию каждого из этих алгоритмов можно найти в литературе [5]. После нахождения элементов преобразования между каждой парой точек, первый скан принимается за неподвижный, а второй разворачивается относительно первого. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования. Требуется наличия значительного перекрытия между сканами. Одновременно можно

ориентировать только два скана. Грубые ошибки должны быть полностью удалены до начала сшивки сканов. Точки получают в условной системе координат.

7. Сшивка по выделенным структурным линиям. При реализации метода используются алгоритмы выделения граней (прямых) объектов на каждом отдельном лазерном скане. После процедуры выделения или сегментации прямой следует аппроксимация прямой. Взаимная ориентация сканов определяется минимум по трем прямым, которые находятся в перекрытии. Метод не использует искусственные марки, но требует наличия четких граней на объекте. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования. Требуется наличия значительного перекрытия между сканами. Точки получают в условной системе координат. Большое отрицательное значение на точность метода имеет разрешающая способность сканера.

8. Сшивка по выделенным поверхностям и объектам. При реализации метода используются алгоритмы выделения конкретных объектов (плоскость, сфера, цилиндр, конус, тор) на каждом отдельном лазерном скане. В данном методе последовательность действий следующая: сегментация, аппроксимация поверхности, сшивка. Для реализации метода необходимо наличие минимум двух объектов в перекрытии соседних сканов. Метод не использует искусственные марки, но требует наличия перечисленных выше объектов в перекрытии соседних сканов. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования. Требуется наличия значительного перекрытия между сканами. Точки получают в условной системе координат. Главным условием метода есть наличие минимум двух объектов (плоскостей, сфер, цилиндров и т.д.) в зоне перекрытия.

9. Методы, основанные на использовании фотографических изображений. При реализации метода используется цифровая фотокамера. В основе вычислительного алгоритма находится процедура поиска взаимного соответствия точек на фотоизображении и лазерном скане. Критерием соответствия может быть, например, яркость изображения точки на снимке и интенсивность отражения точки на лазерном скане. Таким образом, определяют пары соответственных точек на соседних сканах. Метод не использует искусственные марки, но требует наличия объектов с различной отражательной способностью. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования и цифровой фотосъемки. Точки получают в условной системе координат. Главным условием метода есть наличие объектов с различной отражательной способностью в зоне перекрытия. Перечисленные виды сшивки сканов являются базовыми, краткая характеристика представлена в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Характеристика методов сшивки

Метод сшивки	Точность	Применение
по маркам-сферам	2-5мм	большинство задач инженерной геодезии
по плоским маркам-отражателям	2-5мм	большинство задач инженерной геодезии
по характерным точкам объекта	3-10 см	создание архитектурных чертежей, 3D – моделирование зданий и памятников архитектуры
непосредственная геодезическая привязка сканера	2-5см	создание архитектурных чертежей, 3D – моделирование зданий и памятников архитектуры, топографическая съёмка, определение объёмов земляных работ
мобильная лазерная съёмка	5-10см	мониторинг состояния объектов, создание архитектурных чертежей, 3D – моделирование зданий и памятников архитектуры, топографическая съёмка, определение объёмов земляных работ
итерационный метод ближайшей точки	10-20см	3D – моделирование объектов в информационных сетях
сшивка по выделенным структурным линиям	5-20см	3D – моделирование объектов в информационных сетях, архитектурные обмеры зданий
сшивка по выделенным поверхностям и объектам	3-5см	съёмка промышленных объектов, где присутствует большое количество геометрически правильных объектов
использование фотографических изображений	3-5см	мониторинг состояния объектов, 3D – моделирование зданий и памятников архитектуры, топографическая съёмка

Возможна полная или частичная комбинация данных методов в зависимости от конкретных условий проекта и применения сканирования. Многообразие методов обуславливается отсутствием оптимального, поиск которого становится одной из основных задач при сканировании.

Обработка облака точек на примере создания цифровой модели рельефа

К настоящему времени аппаратные, и программные средства определения местоположения позволяют получать с высокой точностью трехмерные геопространственные данные в режиме реального времени. В получении и использовании подобного рода информации заинтересованы не только все отрасли народного хозяйства, но и органы власти и управления всех уровней. [52] Создание геотехнической документации связано с использованием технологии лазерного сканирования. Лазерное сканирование (ЛС) — технология дистанционного исследования объектов с помощью активных оптических систем, основанная на принципе регистрации времени (или разницы фаз) между посылаемым и отраженным световым сигналом, позволяет за короткие сроки получать высокоточные, детальные трехмерные данные о поверхности [52] Один и тот же набор данных можно применять для исследований в разном масштабе — сверхкрупном, крупном и среднем.

Трехмерные цифровые модели территорий обладают рядом преимуществ: объекты привязаны непосредственно к физической поверхности Земли; возможность учета кривизны Земли и рельефа местности при вычислении площадей земельных участков; высокое и наглядное качество визуализации состояния территории за счет объемного изображения ситуации; расширение возможностей принятия эффективных архитектурных и градостроительных решений, разработки генеральных планов и планов территориального развития. [58]

На объекте необходимо иметь минимум три точки (опорные) с известными геодезическими координатами для контроля. Координаты точек из сканера передаются в компьютер и накапливаются в базе данных. Векторизация, или моделирование, осуществляется в специализированном программном обеспечении или САД-системах. [29]

Далее на примере построения цифровой модели рельефа, с целью определения оседания поверхности, методом наземного лазерного сканирования, описана технология съемки и обработки данных, которая включает в себя комплекс полевых и камеральных работ, выполненная автором исследования.

Полевой этап

Для создания местной сети планово-высотного обоснования перед началом сканирования территории была проведена рекогносцировка местности для уточнения объемов работ. Работы выполнялись в местной системе координат МСК-70 и в Балтийской системе высот.

По результатам обследования территории выбираются места для закладки опорной геодезической сети, определяются места расположения и количество точек стояния сканера, достаточного для получения достоверных данных и участков перекрытий облаков точек для дальнейшей сшивки их в единое трехмерное облако точек.

На местности закладываются 2 временных репера. Пункты опорной геодезической сети (ОГС) закрепляются на участке работ металлическими уголками и маркируются масляной краской с указанием наименования знака, объекта, наименования организации, года установки. Координаты и отметки пунктов ОГС определены методом GPS-измерений.

Спутниковые определения координат и высот GPS-точек выполняются методом построения сети в режиме статики, с интервалом записи 5 сек., маской угла отсечения

15° и продолжительностью сеанса не менее 2-х часов. Измерения выполнялись в соответствии с «Руководством пользователя» и записывались в журнале установленного образца.

Время наблюдений на определяемых пунктах составляет от 30 до 60 минут, в зависимости от удалённости исходных пунктов, наличия определенного числа спутников, возникающих помех.

Центрирование антенны над пунктами производится при помощи оптического отвеса. Измерения выполнялись в режиме «статика».

Схема GPS измерений приведена (рисунок 2.10)

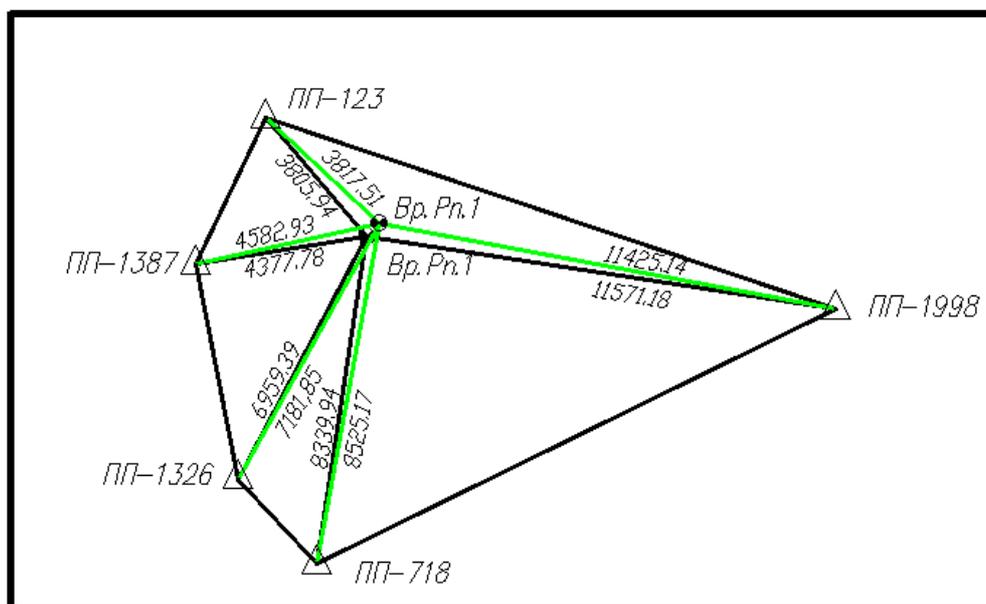


Рис. 2.10. Схема GPS измерений

При камеральной обработке вычисления производились в программе TopconTools. В обработку принимались наблюдения, удовлетворяющие следующим требованиям: минимальное количество спутников – 6, минимальное значение геометрического фактора понижения точности – $GDOP \leq 6$. Развитие съёмочной геодезической сети (СГС) выполнено проложением теодолитных ходов по точкам СГС, опирающихся на пункты ОГС.

Лазерное сканирование территории выполнялось в апреле 2018 г. в бесснежный период времени и при отсутствии травяного покрова проложением теодолитного хода, с помощью лазерного сканера Leica Scanstation C10.

Характеристика измерений GPS-приемником приведена в таблице 2.7

Таблица 2.7. Техническая характеристика GPS-измерений водосбора

Название точки	Δx (север), м	X ошибка, м	Δy (восток), м	Y ошибка, м	ΔH , м	H ошибка, м
Вр.Рп.-1-пп123	3817,40	0,023	-2621,67	0,012	-217,17	0,016
Вр.Рп.-2-пп123	3694,86	0,017	-2586,42	0,021	-217,57	0,013
Вр.Рп.-1-пп1998	2384,03	0,024	-4043,58	0,014	-214,17	0,017
Вр.Рп.-2-пп1998	2261,49	0,011	-4008,33	0,019	-214,57	0,014
Вр.Рп.-1-пп718	-38,13,40	0,022	-966,04	0,015	63,40	0,014
Вр.Рп.-2-пп718	-3935,94	0,015	-930,79	0,024	63,00	0,012
Вр.Рп.-1-пп1326	442,40	0,018	3441,24	0,012	-214,47	0,016
Вр.Рп.-2-пп1326	319,86	0,022	3476,49	0,020	-214,87	0,012
Вр.Рп.-1-пп1387	2424,51	0,026	2986,96	0,009	-213,67	0,015
Вр.Рп.-2-пп1387	2301,97	0,018	3022,21	0,019	-214,07	0,014

Технические характеристики лазерного сканера Leica Scanstation C10 приведены на рисунке 2.11

HLLeica ScanStation C10 (технические данные)	
Точность единичного измерения	
Местоположение	6 мм
Расстояние	4 мм
Угол (гориз./вертик.)	60 мрад/60 мрад (12° / 12°)
Точность моделирования поверхности/шум	2 мм, 1 сигма
Точность определения центра марки	2 мм, 1 сигма
Двухосевой компенсатор	Положение вкл./выкл., разрешение 1", диапазон +/- 5", точность 1.5"
Дальность измерений	300 м при 90% альbedo; 134 м при 18%. Минимальная дальность 0.1 м
Скорость сканирования	До 50,000 точек/сек
Поле зрения	
По горизонтали	360°
По вертикали	270°

Рис.2.11. Основные технические характеристики лазерного сканера Leica Scanstation C10

При центрировании прибора и визирной цели каждый раз на всех точках хода возникает неоднозначность измерения углов и высот, которая повлечет за собой угловую и высотную невязку хода.

Для исключения этих ошибок в наземном лазерном сканировании применяется трехштативный метод – при котором, на каждой точке хода штатив со стандартным трегером центрируется один раз и в этот трегер поочередно устанавливают переднюю визирную цель (марку), прибор и заднюю визирную цель (марку), между которыми и выполняют измерения.

В полученном при этом “воздушном” полигоне при условии отсутствия всех ошибок, кроме ошибки центрирования, невязка при уравнивании полигона будет равно 0 (нулю). Тогда координаты каждой точки хода будут получены с ошибкой, полученной при центрировании именно в этой точке.

Данный метод по мимо исключения высотных и угловых ошибок при центрировании и визировании цели, имеет преимущество в повышение производительности труда за счет экономии времени на центрирование.

Высота инструмента и высота визирных целей измерялась с точностью до 0,2 см. Максимальное отклонение от центра точки при центрировании прибора не превышало 0,2 см. Так как цель нашей работы было получение цифровой модели рельефа плотность сканирования мы устанавливали среднюю 15*15 см на удалении 100 метров. За счет малого расстояния между точками стояния сканера и дальности действия в 300м, мы получаем перекрытие сканов до 50 процентов, соответственно в общем облаке плотность точек на много выше чем на одной станции.

Перед началом сканирования на каждой точке стояния инструмента, сканер автоматически калибруется по вертикальной и горизонтальной оси.

Процесс сканирования местности так же происходит автоматически, за исключением некоторых установок в программном обеспечении в сканере на сенсорном экране, таких как создание проекта, данных по номеру станции, марки, высот инструмента и плотности сканирования. (рисунок 2.12) Программные настройки перед процессом сканирования).

Время сканирования на одной точке стояния при средней плотности сканирования составляет порядка 3,5 минут. Время сканирования на одной станции с учетом перестановки прибора и программными настройками составляет примерно 15 минут.

Данный тип сканера так же имеет функцию автоматического фотографирования на 360 градусов, что в дальнейшей камеральной обработке позволяет наложение облака точек фото со сканера и получение облака точек в реальных цветах местности.

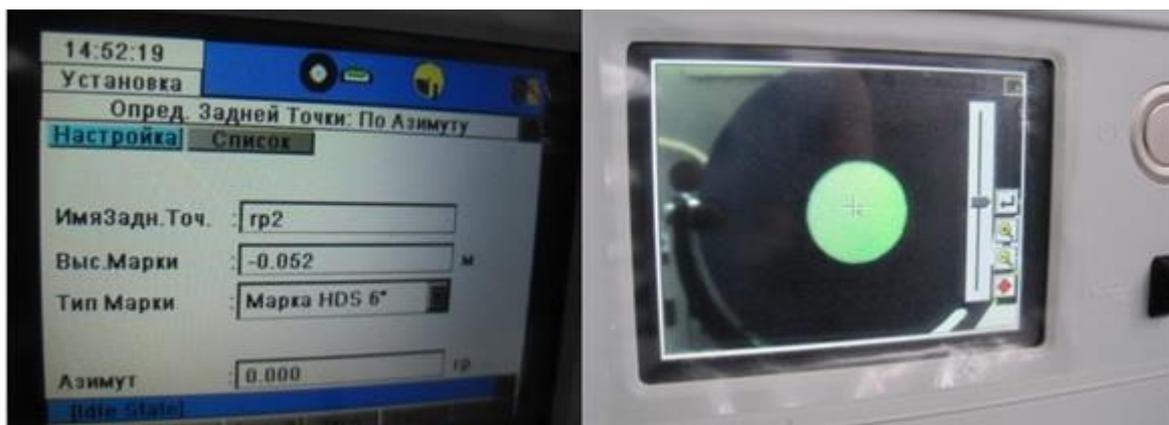


Рис. 2.12. Программные настройки перед процессом сканирования.

Поскольку в данной работе преследовались другие цели, фотографирование не выполнялось. Данные в процессе сканирования и фотографирования записываются во внутреннюю память сканера LeicaScanstationC10 в формате imp.

Этап камеральной обработки

Камеральная обработка материалов полевых измерений выполнялась в специализированном программном комплексе Cyclone 9.0. (производитель компания Leica Geosystems, Швейцария).

В дереве навигатора автоматически создается ScanWorld [Registration 1].

В данном модуле происходит обработка хода и увязка всех точек стояния в единое облако точек. В Registration можно посмотреть каждую станцию сканирования отдельно, связи между станциями и их ошибки. Модуль Cyclone REGISTER предназначен для сшивания данных, полученных с нескольких пунктов стояния сканера, в единое облако точек. Это можно сделать как с помощью специальных визирных марок HDS, отсканированных в процессе полевых работ, так и без них, используя перекрывающиеся у соседних станций области сканирования. Также в программе реализована возможность привязки данных сканирования к какой-либо известной системе координат.

Уравнивание хода производится в автоматическом режиме по точкам хода сканирования. Если результат не удовлетворяет заданной точности, уравнивается в полуавтоматическом режиме по облаку точек, задаем три и более общих характерных точек между сканами, далее программа, ориентируясь на указанные общие точки,

распознает в областях перекрытия общие характерные элементы и по ним сшивает
 общее облако точек (рисунок 2.13)

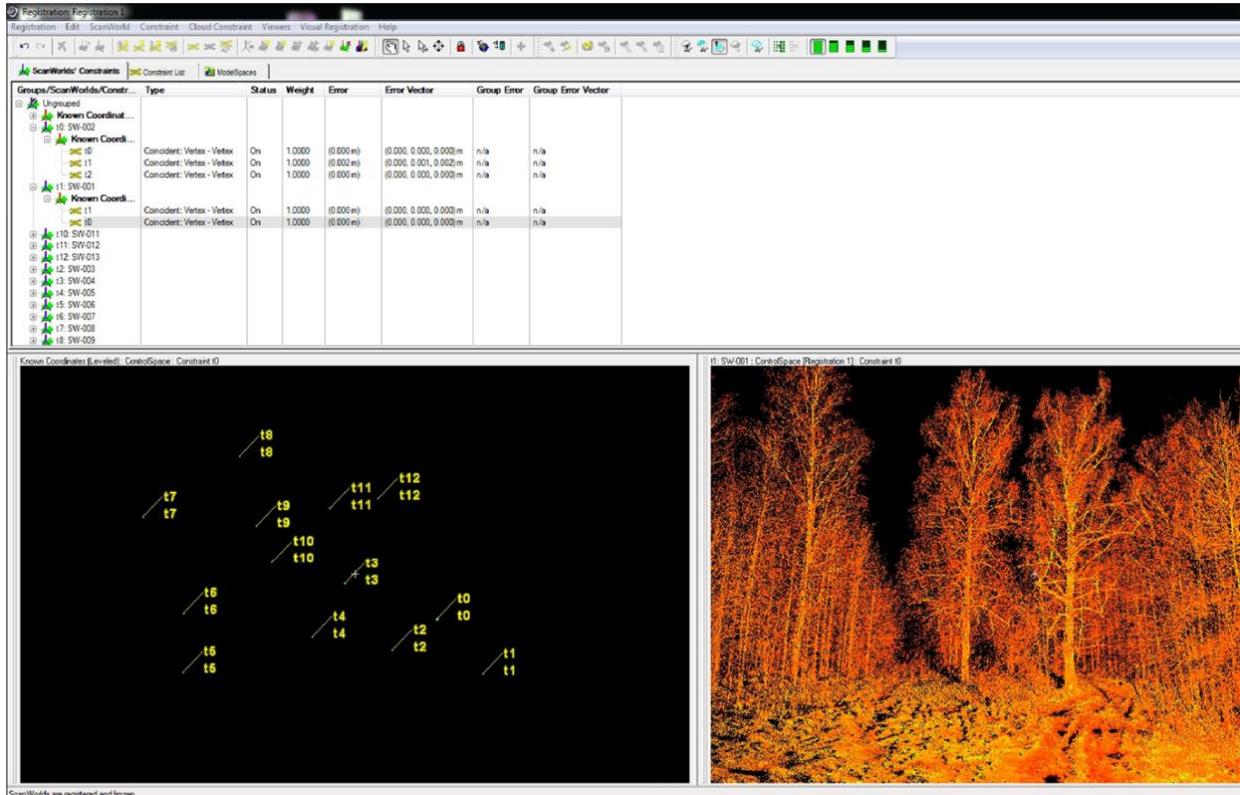


Рис. 2.13. Интерфейс меню «Registration» в Cyclone 9.0

Отчет по уравниванию точек сканирования приведен на рисунке 2.14.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Gr
10	Known Coord...	10: SW-002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
11	Known Coord...	10: SW-002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.002 m)	(0.000, 0.001, 0.002) m	n/A
12	Known Coord...	10: SW-002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
11	Known Coord...	11: SW-001	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
10	Known Coord...	11: SW-001	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
110	Known Coord...	110: SW-011	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
19	Known Coord...	110: SW-011	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.001 m)	(0.000, 0.000, -0.001) m	n/A
111	Known Coord...	110: SW-011	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
111	Known Coord...	111: SW-012	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
110	Known Coord...	111: SW-012	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
112	Known Coord...	111: SW-012	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
112	Known Coord...	112: SW-013	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
111	Known Coord...	112: SW-013	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.001 m)	(0.001, -0.001, -0.001) m	n/A
12	Known Coord...	12: SW-003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
10	Known Coord...	12: SW-003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.003 m)	(0.001, 0.000, -0.003) m	n/A
13	Known Coord...	12: SW-003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
13	Known Coord...	13: SW-004	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
12	Known Coord...	13: SW-004	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.004 m)	(0.000, -0.001, -0.003) m	n/A
14	Known Coord...	13: SW-004	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
14	Known Coord...	14: SW-005	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
13	Known Coord...	14: SW-005	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.001 m)	(-0.001, 0.000, -0.001) m	n/A
15	Known Coord...	14: SW-005	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
15	Known Coord...	15: SW-006	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
14	Known Coord...	15: SW-006	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.004 m)	(0.000, 0.000, -0.004) m	n/A
16	Known Coord...	15: SW-006	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
16	Known Coord...	15: SW-007	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
15	Known Coord...	16: SW-007	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.002 m)	(-0.001, -0.001, -0.001) m	n/A
17	Known Coord...	16: SW-007	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
17	Known Coord...	17: SW-008	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
16	Known Coord...	17: SW-008	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.003 m)	(0.000, 0.000, -0.003) m	n/A
18	Known Coord...	17: SW-008	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
18	Known Coord...	18: SW-009	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
17	Known Coord...	18: SW-009	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.002 m)	(0.000, 0.000, 0.002) m	n/A
19	Known Coord...	18: SW-009	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
19	Known Coord...	19: SW-010	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A
18	Known Coord...	19: SW-010	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.006 m)	(0.000, -0.001, 0.006) m	n/A
110	Known Coord...	19: SW-010	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	(0.000 m)	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/A

Рис. 2.14. Отчёт по уравниванию точек теодолитного хода

После того как облако точек уравнено регистрация сохраняется и создаётся в графическом виде в окне Cyclone-Navigator файл Model Spaces, в котором находится общее облако точек (рисунок 2.15). Качество съемки позволяет рассматривать все детали рельефа, например, полевую дорогу (рисунок 2.16), небольшой ручей (рисунок 2.17), а также профиль местности (рисунок 2.18)

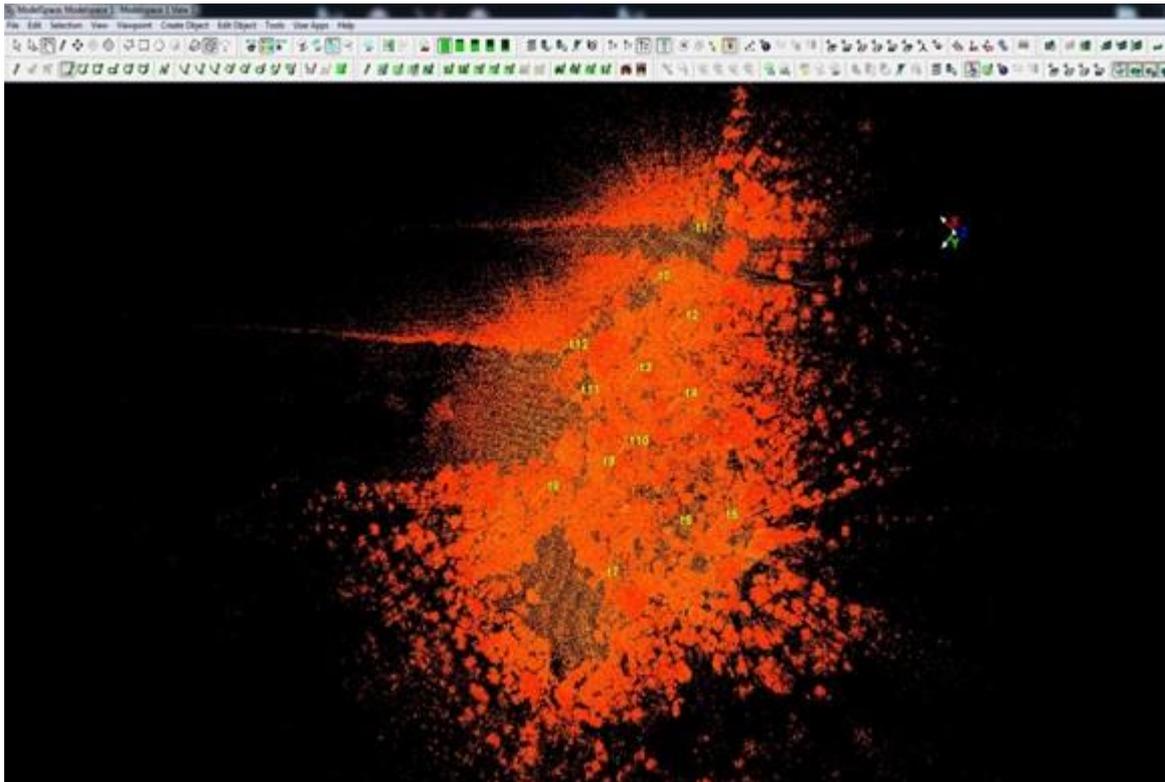


Рис. 2.15. Графическое представление облака точек в Model Spaces вид сверху.



Рис. 2.16. Графическое представление полевой дороги на облаке точек в Model Spaces.



Рис. 2.17. Графическое представление ручья на облаке точек в Model Spaces.



Рис. 2.18. Графическое представление профиля рельефа территории в Model Spaces.

Для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) по данным НЛС разработана следующая методика:

1) удаление точек, избыточной информации (стволы древесно-кустарниковой и травянистой растительности, антропогенных объектов и т.д.) не принадлежащих поверхности земли, с помощью топографического фильтра. Для достижения удовлетворительного результата необходимо несколько раз воспользоваться данным фильтром, при этом каждый раз увеличивая размер анализируемого участка;

2) удаление точек, в ручном режиме, которые не обработал фильтр, не принадлежащих поверхности земли;

- 3) построение регулярной сетки высот методом Kriging в ПО Surfer для разрежения точечной модели и создания регулярной матрицы высот;
- 4) построение ЦМР в виде TIN-поверхности (поверхности, представленной нерегулярной сетью треугольников).

Этап первый.

В ModelSpaces на облаке точек мы выбираем несколько характерных точек и с помощью инструментов Cyclone задаем автоматическое распознавание точек поверхности земли CreatObject - RegionGrow – Smooth Surface запуск процесса автоматической выборки точек (рисунок 2.19)

В ходе работ были апробированы различные методы очистки поверхности для выбора оптимального с учётом критериев – затраченного времени и точности отображения рельефа.

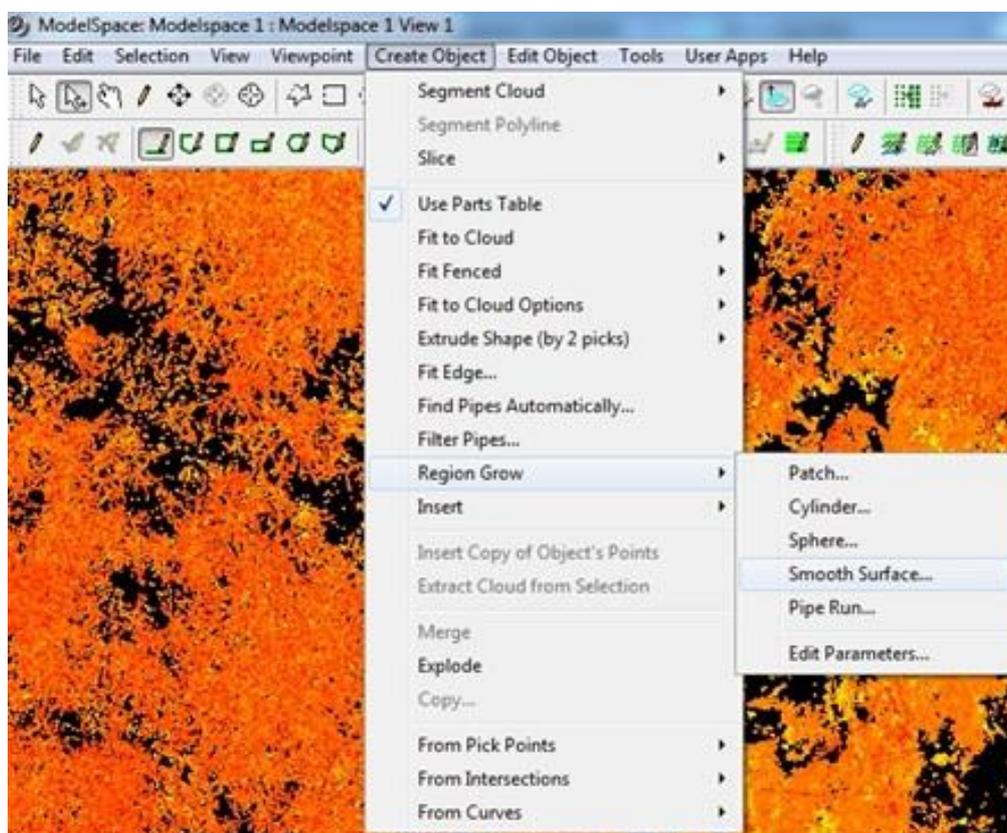


Рис.2.19. Запуск процесса автоматической выборки точек

Программа начинает распознавать точки характерные рельефу местности.

На следующем рисунке (рисунок 2.20) видны точки, выбранные программой, они отображаются белым цветом.

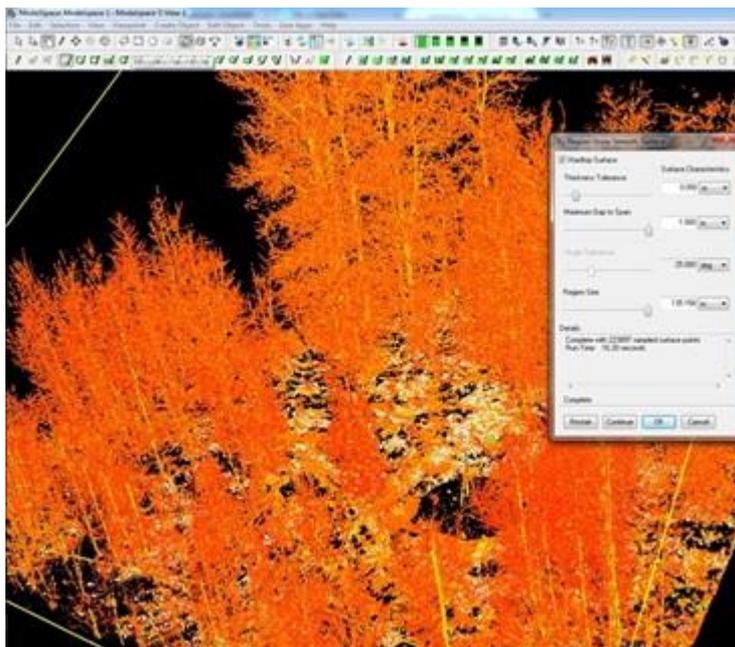


Рис. 2.20. Графическое представление выборки точек рельефа в автоматическом режиме

Процесс выборки точек по поверхности не идеален, поэтому данный процесс повторяем несколько раз и выбранные точки помещаем в отдельный слой, а основной слой с растительностью и шумами отключаем.

В выбранном облаке по поверхности рельефа, обрезаем по краям избыточную информацию и вручную проводим очистку оставшихся шумов и растительности.

Удаление шумов вручную можно проводить двумя способами:

- выделением облака в отдельное сечение с заданной шириной и последующим удалением лишних точек (поперечное сечение облака, результат удаления шумов (рисунок 2.21));

- Выделением облака точек инструментом limitbox с заданной длиной шириной и высотой, с последующим удалением лишних точек.



Рис.2.21. Поперечное сечение облака.

На следующем рисунке (рис. 2.22) представлен результат удаления шумов на участке длиной 20 метров, и шириной в 2 метра.

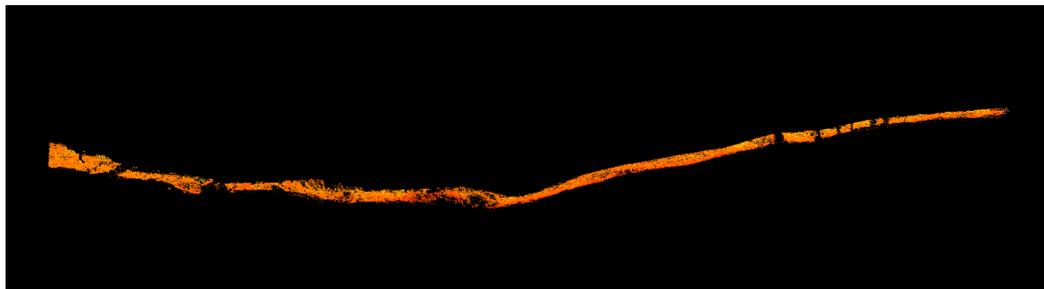


Рис. 2.22. Результат удаления шумов с поперечного сечения облака точек.

В зависимости от рельефа, ширину сечения для удаления шумов можно менять. Чем ровней поверхность, тем больше устанавливается ширина сечения, соответственно увеличивается площадь обработки данных за единицу времени, результат уменьшение времени на обработку облака точек по удалению лишней информации.

Обработка облака точек по удалению шумов и лишней информации данным способом, в среднем занимает 30 мин. на 1 га территории и представлена на рисунке 2.23-2.24.

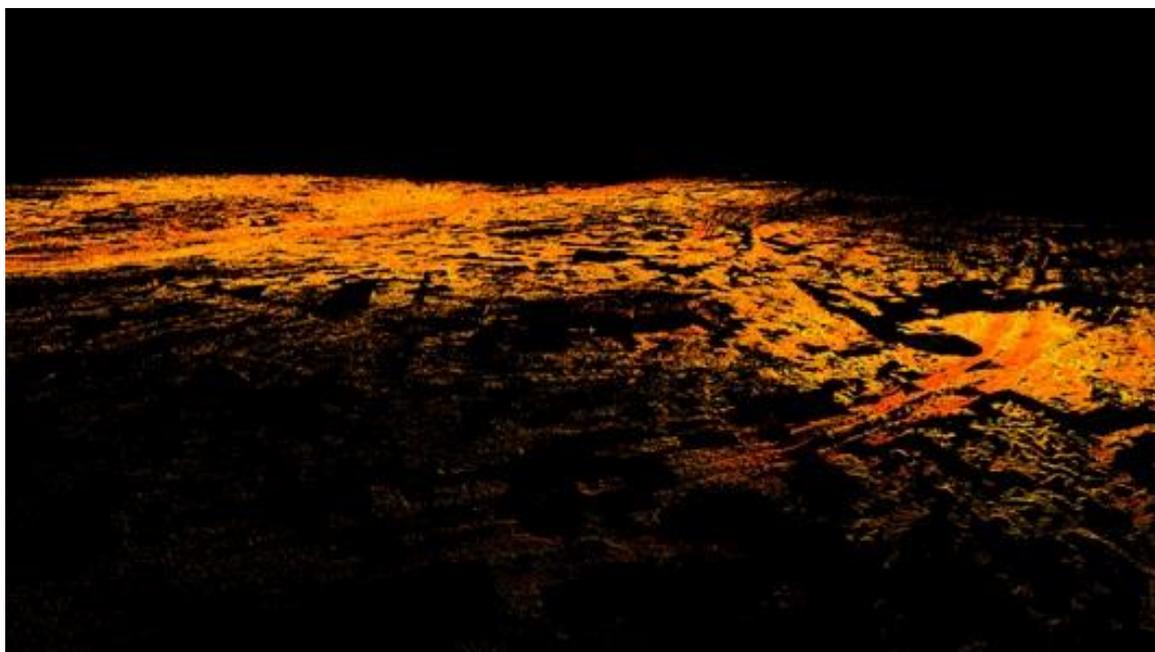


Рис. 2.23. Облако точек поверхности земли после удаления шумов.

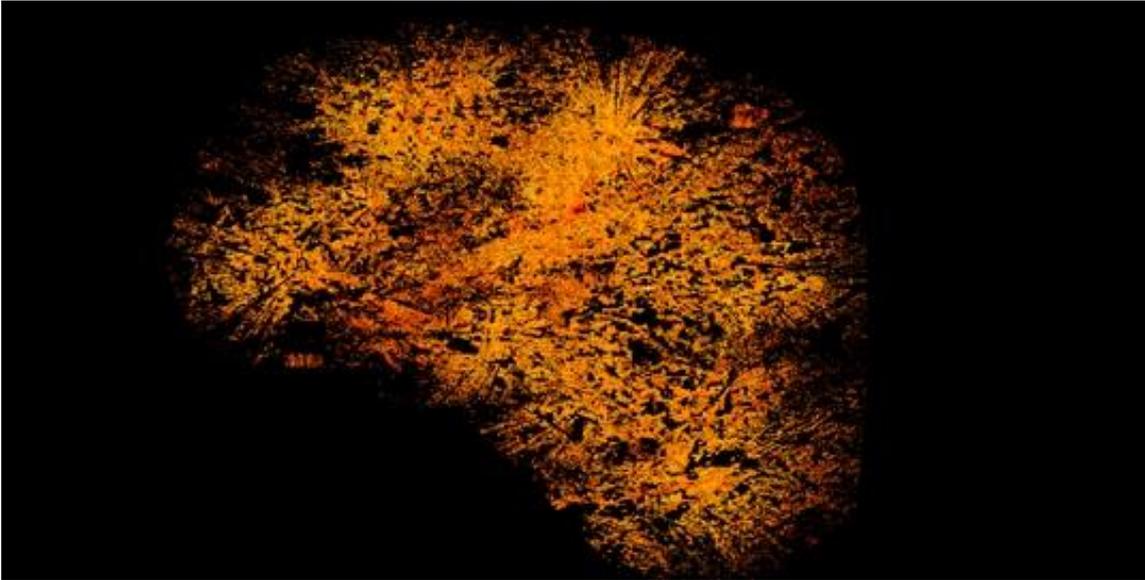


Рис. 2.24. Облако точек поверхности земли вид сверху.

Теперь наш материал готов для построения ЦМР, но так как, облако точек даже после удаления лишней информации имеет большой вес и не все сторонние программы способны принять такой объем, мы разряжаем облако точек до нужных нам параметров.

В данном случае разряжаем с 3 845 335 точек до 241537 точек.

Далее экспортируем в удобном для нас формате точки для построения ЦМР в сторонней программе XYZ, TXT, DXFi т.д.

Для построения ЦМР наиболее всего подходит программный продукт Surfer 10.0.

Программное обеспечение: Surfer (Golden Software) Производитель: GoldenSoftware, Inc. (США). Назначение: Создание карт изолиний, трёхмерных, теневых и др. карт; регуляризация и анализ пространственных данных.

Над файлами поверхности могут выполняться различные математические операции. Например, есть возможность построить разностную карту, отображающую различия между двумя поверхностями [34]

Источником исходной информации для программы Surfer является массив данных, который в табличном виде описывает поведение функции $Z=f(X,Y)$.

Имеющиеся данные представлены в виде текстового файла *txt*.

Для создания на основе этих данных регулярной сетки идём в меню Grid>Data (рисунок 2.25):

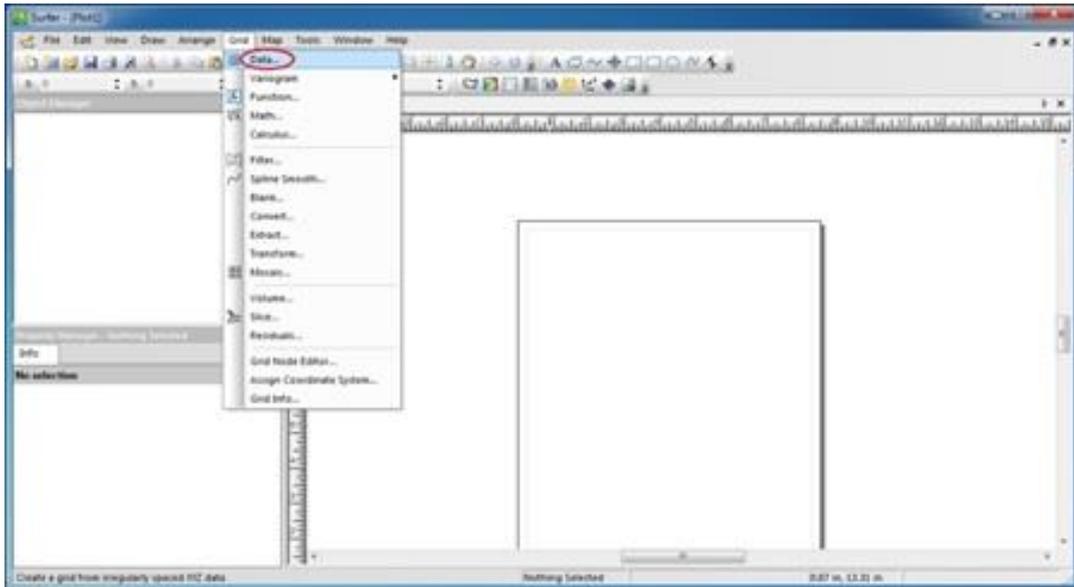


Рис. 2.25. Окно меню Grid>Data.

и загружаем заранее подготовленный текстовый файл (рисунок 2.26):

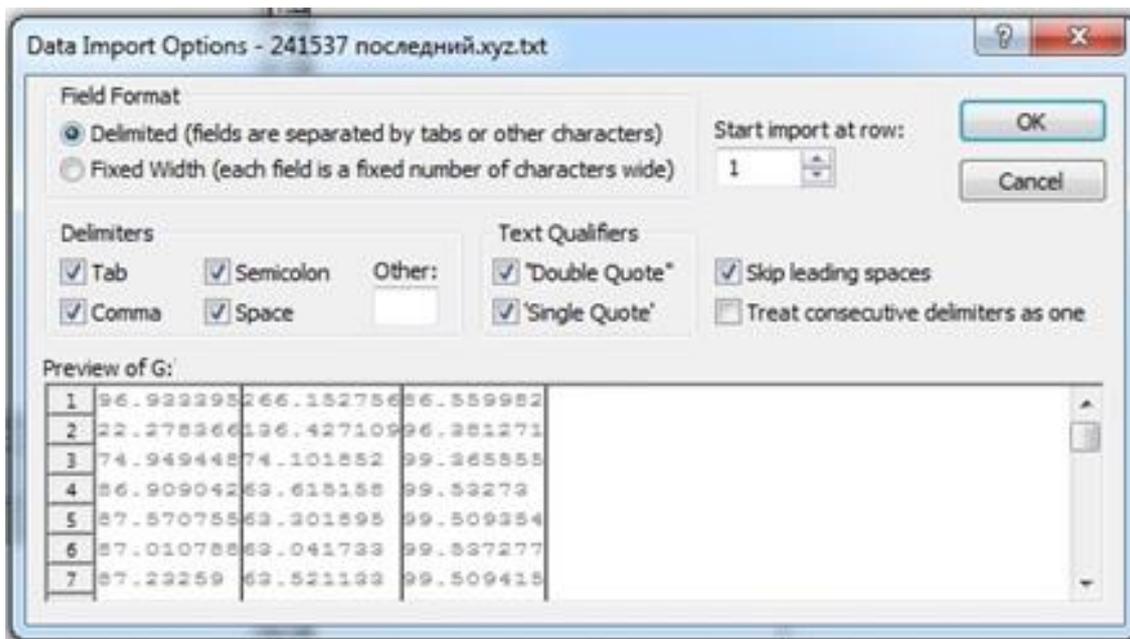


Рис.2.26. Окно импорта данных.

Нажимаем кнопку ОК и выбираем метод интерполяции и задаём имя файла сетки.

Теперь на основе этой сетки строим карту Map>New>CounterMap (рисунок 2.27):

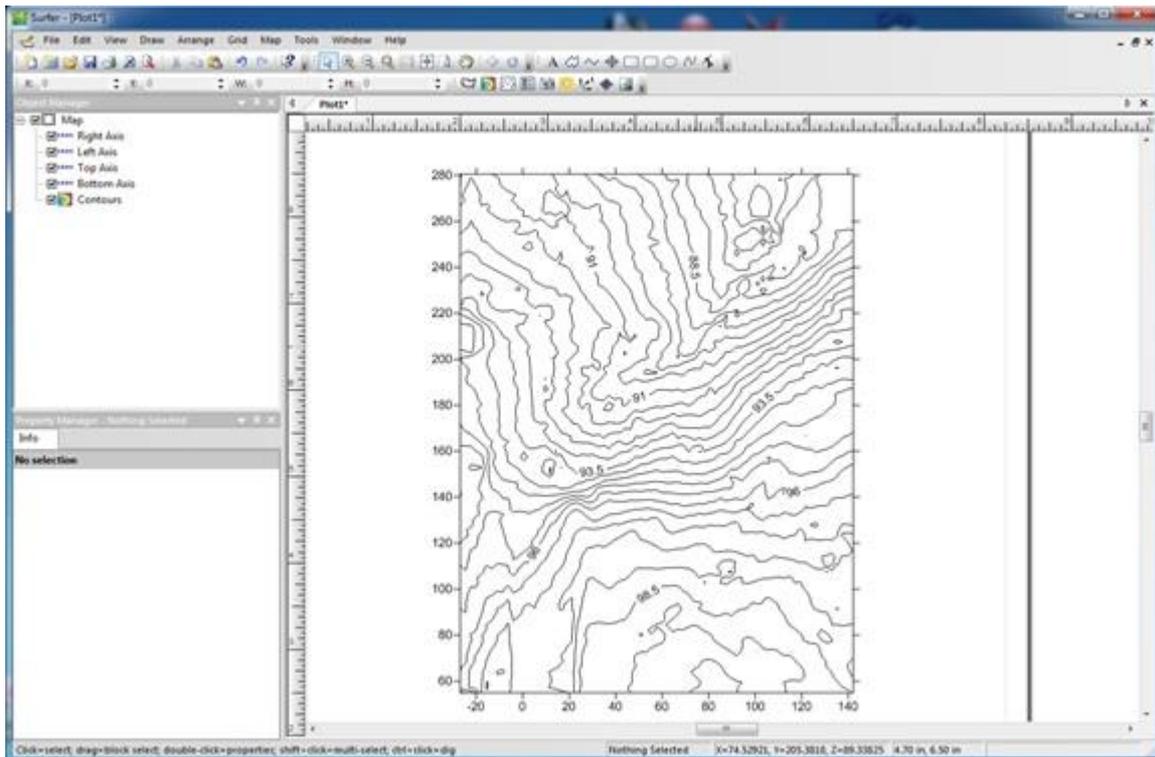


Рис. 2.27. Отображение рельефа в горизонталях.

Строим карту с отмывкой - меню Map>New>ShadedReliefMap (рисунок 2.28):

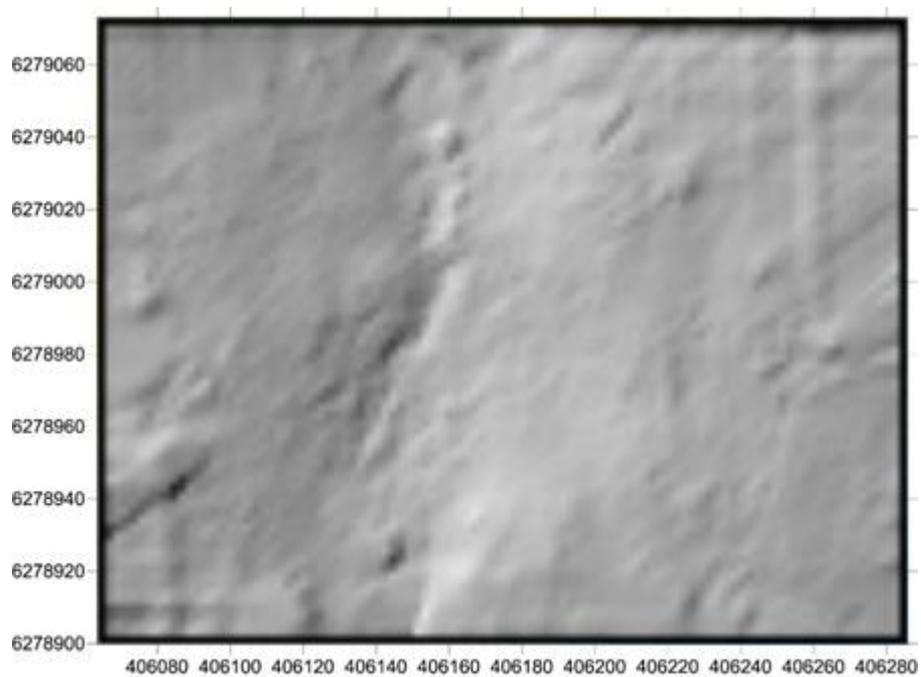


Рис.2.28. Графическая отмывка карты.

Теперь поднимем слой с горизонталями выше слоя-отмывки и в свойствах слоя (PropertyManager) выставляем опцию FillContours (рисунок 2.29):

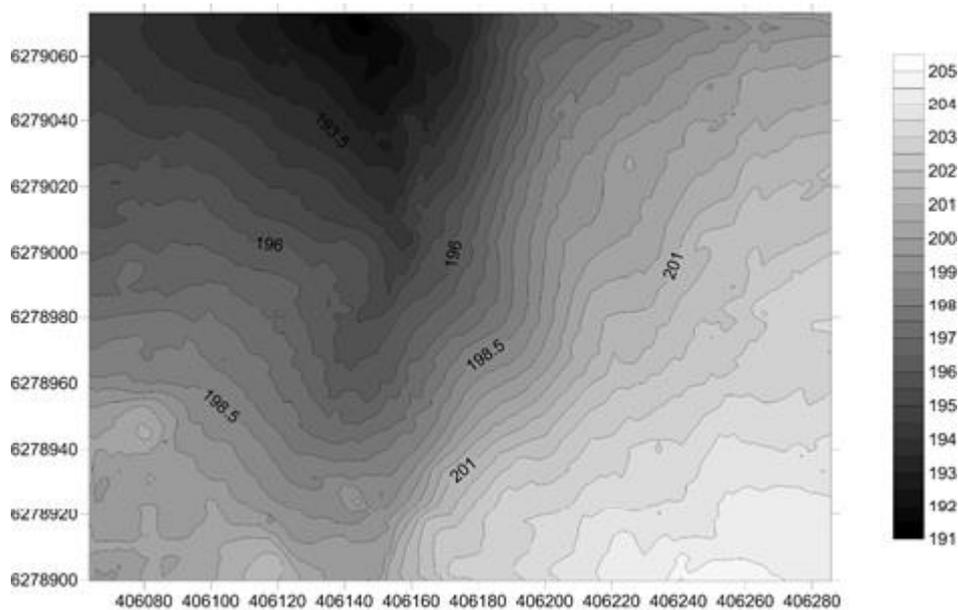


Рис.2.29. Графическое представление рельефа в монохромном отображении.

Следующий шаг - придаём нашей карте более привлекательный цветной вид. Для этого на слое изолиний на вкладке Levels выбираем подходящую цветную палитру - например, Terrain. Теперь наша карта будет выглядеть так (рисунок 2.30):

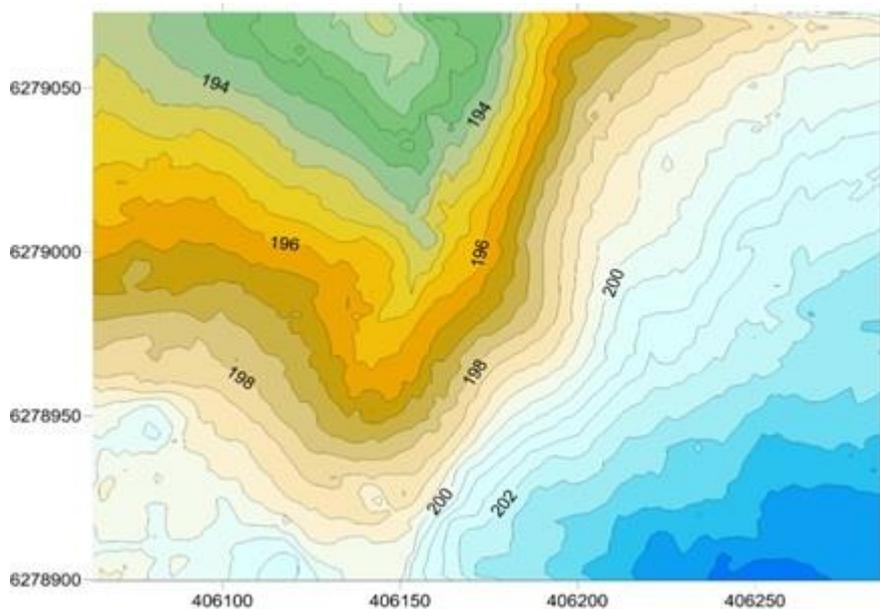


Рис.2.30. Цветное представление рельефа местности

Далее "заставим" работать слой-отмычку. Для этого на карте контуров идём на вкладку Layer и выставляем параметр Opacity (Прозрачность) 50 - 60 % (рисунок 2.31):

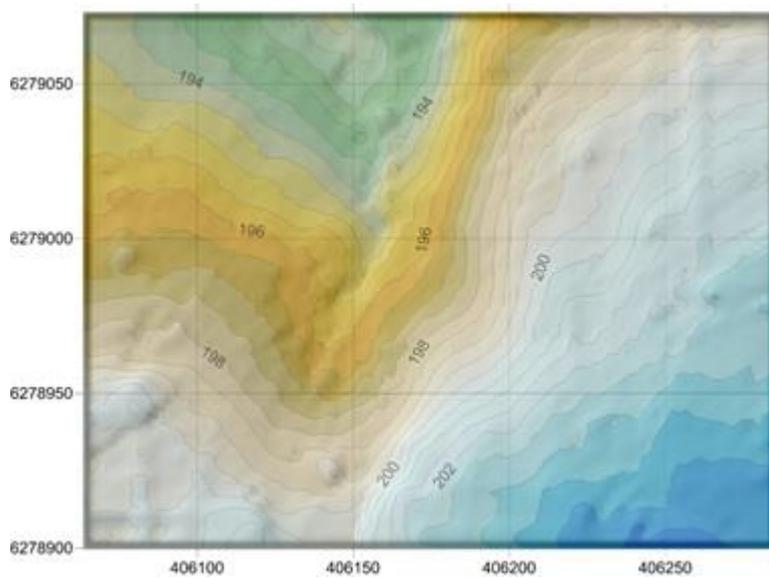


Рис. 2.31. Цветное графическое представление рельефа с наложением слоя отмывки.

Сначала нужно вставить новый чертёж (Ctrl+N). Затем в меню Map>New>3D Surface или щёлкаем в соответствующую кнопку:

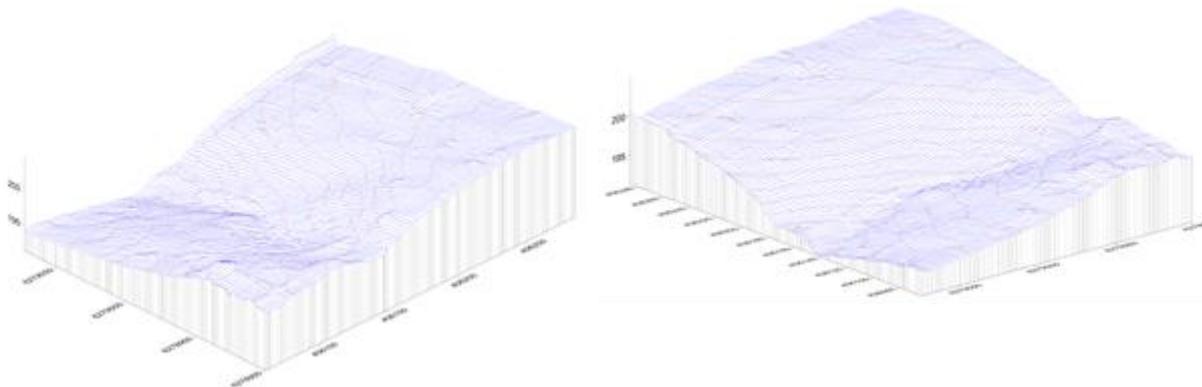


Рис. 2.32. Графическая 3D-модель рельефа местности в горизонталях.

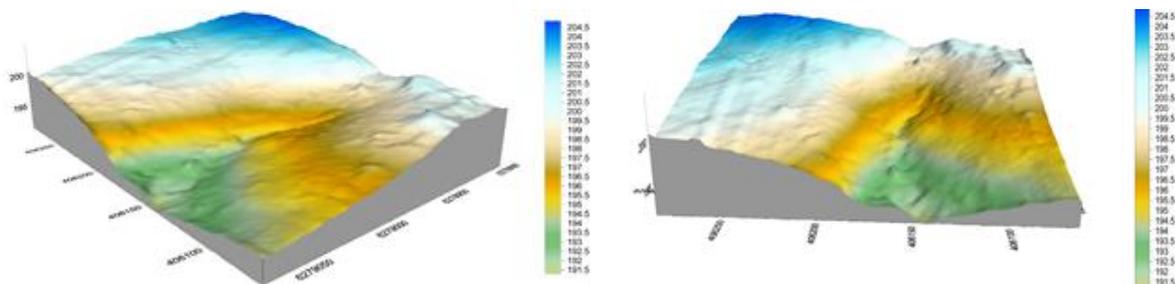


Рис. 2.33. 3D-модель рельефа местности.

В результате построенной 3D-модели рельефа местности (рисунок 2.32-2.33), появляется возможность вести наблюдения за изменением уровня грунтового массива. Далее в работе будут рассмотрены методики обработки данных наземного лазерного сканирования для задач деформационного мониторинга инженерных сооружений.

2.4. Метод конечных элементов в решении задач геотехнического мониторинга

Метод конечных элементов является численным методом решения дифференциальных уравнений. Для нелинейных задач метод конечных элементов является наиболее эффективным и доминирующим. Термин метод конечных элементов в действительности определяет широкий спектр вычислительных технологий в соответствии с некоторыми общими свойствами. МКЭ по отношению к геотехническому мониторингу может быть рассмотрен в перемещениях. Объектами изучения аналитической механики являются модели механических систем от отдельных частиц, состоящих из достаточно большого числа молекул, до сложных инженерных конструкций и тел солнечной системы. Пространственная конфигурация любой из таких систем описывается числом степеней свободы системы, или, другими словами, обобщенными координатами. В математически ориентированных курсах для их обозначения используются также термины переменные состояния и главные переменные [52].

Для численного моделирования необходимо уменьшение числа степеней свободы до конечного значения – дискретизация. Результатом этого процесса является дискретная модель. В противном случае она будет непрерывной или континуальной. Поскольку МКЭ представляет собой один из методов дискретизации, то число степеней свободы конечно-элементной модели необходимо конечно. Полученное численное решение для дискретной модели в общем является аппроксимацией, или приближением, точного решения математической модели.

Основные шаги МКЭ можно представить в виде схемы (рисунок 2.34)

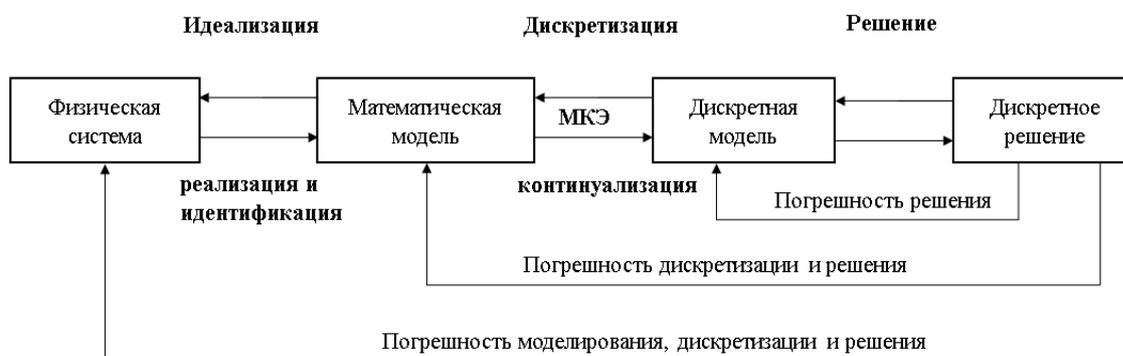


Рис. 2.34. Последовательность моделирования [100]

Идеализация это процесс перехода от исходной физической системы к математической модели. Этот процесс является наиболее важным шагом при решении технической или инженерной задачи. Дискретизацию можно рассматривать как математическое моделирование т.е. первый упрощающий шаг при решении реальных инженерных задач. Математические модели физических систем часто описываются связанными системами уравнений в частных производных по пространству и времени и сложными граничными условиями. Такие модели имеют бесконечное число степеней свободы. Решение полученных уравнений может быть аналитическим или численным. Аналитические решения, называемые также решениями в замкнутой форме, могут быть применены к широкому классу задач, поскольку выражаются в символической форме. Однако, к сожалению, возможность их получения ограничена простыми уравнениями, регулярными областями и постоянными граничными условиями [52].

Основа физической концепции МКЭ – это разбиение математической модели конструкции на непересекающиеся компоненты (подобласти) простой геометрии, называемые конечными элементами или просто элементами для краткости. Множество элементов, на которые разбита конструкция, называется конечноэлементной сеткой. Механическое поведение каждого элемента выражается с помощью конечного числа степеней свободы или значений искомых функций во множестве узловых точек. Поведение математической модели, таким образом, аппроксимируется поведением дискретной модели, полученной путем сборки всех элементов.

Существующее программное обеспечение в области математического моделирования и численных методов решения задач механики грунтов позволяет решать основные задачи, но обладает рядом указанных недостатков.

1. Параметры расчетной модели зачастую являются величинами не точными. Часто эти параметры по существу случайные величины. Например, параметры жесткости упругого основания могут иметь разброс значений порядка от 15 до 30%. [58]

2. Поведение грунтов основания различается при длительных и кратковременных, статических и динамических нагрузках, а поиск решений с учетом всего множества значений неопределенных параметров является очень трудоемкой операцией, при варьировании не одного, а нескольких параметров варианты угрожающе возрастают.

3. Большинство критериев оценки грунтов принадлежит к категории слабо формализуемых понятий, таких как «категория сложности инженерно-геологических условий», «степень водонасыщения», «степень неоднородности гранулометрического

состава» и так далее. Их измерение осуществляется с использованием словестных оценок типа «хорошая», «плохая», «средняя», которые сложно учесть в общей оценке поведения грунтов.

Рекомендации по выбору модели для специальных расчетов

Фундаменты мелкозаложенного

При рассмотрении допустимой нагрузки на фундамент, модель, прежде всего, должна правильно моделировать прочностные свойства основания. Для фундаментов на глинистых грунтах желательно использовать моделирование изменения допустимой нагрузки со временем из-за процесса консолидации [99].

При рассмотрении допустимой осадки можно выбрать линейно-упругую модель, однако этот подход не обеспечивает точные предсказания разности осадок, деформации грунта при комбинированном нагружении, или перемещениях в массиве, прилегающих к фундаменту. Если эти факторы значимы, необходимо использовать нелинейно-упругую модель. Если нагружение превысит остаточную прочность грунта необходимо использовать модели, способные моделировать временные эффекты в поведении грунта.

Земляные плотины, насыпи, дамбы

«Если допустимы пластические деформации, не затрагивающие эксплуатационную надежность сооружения, рекомендуется» [99] использовать для расчета основания нелинейно-упругую модель с оценкой перемещений. Простой линейно-упругий анализ может значительно недооценить перемещения, из-за значительного числа траекторий напряжения, вызванных ротацией главных напряжений в период возведения сооружения.

При разработке глинистого грунта выбор модели, главным образом, зависит от типа глины:

- глины твердой и полутвердой консистенции проявляют хрупкие свойства. Для моделирования механизмов разрушения, необходимо использовать упругопластические модели с разупрочнением.

- глины тугопластичные. Их поведение целесообразно моделировать с помощью упругих идеально-пластичных моделей.

- глины мягкопластичные нормально-консолидированные или слегка переуплотненные. Для описания их поведения лучше использовать упругопластические модели с упрочнением.

Ползучесть одна из важных проблем, при устройстве дамб, плотин на слабых, неуплотненных илах в прибрежной зоне. В этих случаях обязательно использовать модели, учитывающие временные эффекты.

Для оценки поведения тела насыпи разумно использовать упругую модель с идеальной пластичностью. Для оценки устойчивости земляных сооружений можно выбрать модель Мора-Кулона.

Разработка котлованов и устройство подпорных стен

Идеально использовать модель, сочетающую нелинейность поведения грунта при небольших напряжениях и пластичность. Кроме того, обязательно определение перемещений и величин активного и пассивного давления. В подавляющем большинстве случаев линейные упругие модели не допустимы при исследованиях, т. к. не учитывают совместную работу растягивающих и сжимающих усилий, действие касательных напряжений.

Могут использоваться линейно-упругие модели с идеальной пластичностью, т. к. позволяют учитывать растягивающие усилия, величину активного и пассивного давлений. Однако расчеты перемещений дают не всегда надежные результаты, поскольку модули упругости при нагружении и разгрузке совпадают, что не всегда верно при экскавации грунта, сопровождающейся уменьшением напряжения.

Для капитальных сооружений полезен двойной анализ консолидации – разуплотнение. Это требует оценки изменения порового давления в течение деформации.

Туннели

При проектировании туннелей необходимо использовать трехмерные модели с учетом анизотропии. Важно выбрать модели, способные отражать процесс проходки. В ситуациях, когда напряженно-деформированное состояние характеризуется положением, далеким от предела текучести возможно использование упругой нелинейной модели при небольших деформациях.

Фундаменты глубокого заложения

При вертикальном нагружении часто используются упругие идеально-пластические модели. Иногда их можно использовать и при оценке ползучести. Для несвязных грунтов особое значение имеет явление дилатансии.

Для анализа работы одиночной сваи при осесимметричном нагружении подходит упругопластическая модель с идеальной пластичностью (например, Мора-Кулона). При напряженном состоянии на пределе текучести применение модели невозможно.

Большинство моделей не учитывает избыточное поровое давление, проявляющее при сдвиге, которое изменяет напряженное состояние и силы трения вокруг сваи.

Рекомендации по выбору модели для основных видов грунтов

Модель *Cam Clay*, с правильным выбором входных параметров входа, достоверно отражает прочностные и деформационные свойства слабых водонасыщенных глинистых грунтов, торфов, илов. В модели учтены многие особенности поведения грунтов – изменение модулей упругости при сжатии, упрочнение и разупрочнение, дилатансия и контракция, и, в конечном счете, тенденции достигать критического состояния, при котором прочность и объем становятся постоянными. Модель является подходящей для слегка переуплотненных глин, илов и торфов.

При напряжениях близких к критическим, полезно учитывать вязкие эффекты – ползучесть, релаксацию напряжений.

При анализе поведения глин желательно использование сложных моделей, учитывающих анизотропию.

Для жестких переуплотненных глин наиболее предпочтительны упругопластические модели с упрочнением типа HSS, BRICK.

Для описания поведения песков подходят модели, учитывающие их способность расширяться при сдвиге. Поведение плотных песков часто удовлетворительно описывается упругими идеально-пластическими моделями [99].

Среди самых общих требований следует отметить следующие. Выбор модели должен ориентироваться на прогнозируемое состояние системы сооружение – основание. Модель должна быть по возможности простой, но настолько, насколько это необходимо. Поскольку выбор модели и результаты расчетов зависят от параметров грунта, они должны определяться с достаточной надежностью и с приемлемыми издержками. Следует обязательно проводить калибровку модели при помощи последующих наблюдений за объектом.

2.5. Выводы по главе 2.

1. Появляющиеся деформации различных инженерных сооружений, в основном возникают по причинам природно-техногенного характера, и в целом развиваются в течение достаточно продолжительного времени, поэтому могут достаточно хорошо фиксироваться и находиться под контролем в ходе периодического мониторинга.

2. Неравномерные деформации основания в большинстве случаев носят сложный многомерный характер, от которого зависят и возникающие многомерные деформации всего сооружения, это важно учитывать для понимания полной картины их воздействия на жизненный цикл инженерного сооружения.
3. Существующие в настоящее время методики оценки воздействия неравномерных деформаций основания грунтового массива на техническое состояние конструкций являются не полными так как не учитывают высотность, всю сложность и разноплановость инженерных сооружений. А этого недостаточно для всесторонней оценки и прогнозирования изменений технического состояния конструкций наблюдаемых объектов.
4. Ограниченность существующих методик в области геотехнического мониторинга инженерных объектов являются причиной разработки усовершенствованной методики оценки влияния неравномерных деформаций основания на их техническое состояние по средствам процедуры мониторинга.
5. Важной составляющей разрабатываемой методики должно быть обследование технического состояния инженерного сооружения, которое позволяет в полной мере выявлять происходящие изменения за счет визуального и инструментального контроля. Главными параметрами, которые должны контролироваться в ходе геотехнического мониторинга, являются множественные деформации сооружения.
6. Наиболее информативным способом мониторинга определения многомерных деформаций инженерного сооружения в условиях неравномерных деформаций основания является лазерное сканирование объекта в результате которого фиксируется пространственно-координатное перемещение всего массива точек сооружения.
7. В сложных высотных сооружениях могут происходить деформации на разных ярусах при отсутствии деформирования основания. В этих условиях целесообразно использовать технологию НЛС, ориентированную на подход, при котором возможно проводить оценку изменений деформаций по всему объекту наблюдения во всех спектрах возможных деформаций, что поможет повысить качество решений по обеспечению безопасного функционирования инженерных сооружений.
8. Важным моментом при мониторинге объектов, имеющих опасные деформации, является комплексирование методов численного анализа изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива, а также фиксирование деформаций при помощи наземного лазерного сканирования.

ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Под инженерно-геологическими условиями территории понимают совокупность особенностей геологической среды, определяющих специфику изысканий, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Наиболее важными из них являются геологическое строение местности, характер слагающих ее пород (состав, состояние, свойства и др.), рельеф (в первую очередь, его морфологические и морфометрические особенности), мерзлотные условия (распространение мерзлых, талых и намёрзлых толщ, их температура, мощность мерзлых толщ, их криогенное строение, глубина сезонного протаивания-промерзания и пр.), гидрогеологические особенности (типы, закономерности распространения, глубины залегания, водообильность и режим подземных вод, их состав и минерализация, агрессивность по отношению к строительным материалам и др.) и современные геологические процессы и явления. Закономерное сочетание, взаимодействие этих основных параметров формирует инженерно-геологическую обстановку любого района и участка. Следовательно, инженерно-геологические условия следует рассматривать как сложную многофакторную систему, изменяющуюся как во времени, так и в пространстве. Поэтому в процессе наблюдения за деформациями различных инженерных сооружений необходимо изучение причинных закономерностей формирования и пространственной изменчивости всех компонентов инженерно-геологических условий. Только на основе этого можно понять основные причины закономерностей пространственных изменений инженерных сооружений и в последствии принять правильные управленческие решения по сохранению стабильного положения объекта.

Важно также отметить, что целью геотехнического мониторинга согласно [80] является обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности объектов нового строительства или реконструкции, включая здания и сооружения окружающей застройки, за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к переходу объектов в ограниченно работоспособное или аварийное состояние. А к контролируемым параметрам при геотехническом мониторинге массива грунта, окружающего вновь возводимые и реконструируемые сооружения, относятся

вертикальные и горизонтальные перемещения поверхностных грунтовых марок. Наблюдая и фиксируя перемещения сооружения, не изучая инженерно-геологические условия мы не можем в полной мере ответить на вопрос в результате чего происходят опасные деформации объекта.

Наблюдая за опасными деформациями при помощи традиционного геодезического оборудования, а также наземного лазерного сканирования на различных сложных инженерных сооружениях, автор исследования, сталкивалась с тем, что организации, заказывающие мониторинг, не ставят задачей установить причину перемещений объекта, а только определяют сам факт наличия деформаций, что в свою очередь при временном их устранении не решит проблему дальнейшего развития.

При ведении мониторинга за инженерными сооружениями важно рассматривать не только наличие самих деформаций, но также выявлять причину их развития при помощи комплексного подхода, который учитывает и инженерно-геологическое обследование для определения напряженно деформированного состояния грунтов, а также современные методы наблюдения за деформациями. В настоящее время в геотехнических нормативах, базы которая бы основывалась на комплексном подходе нет.

На примерах сооружений, претерпевших деформации выше нормативных, разных по назначению, таких как железнодорожный мост, историческое здание и прожекторная мачта, расположенных в разных ландшафтно-климатических зонах со сложными инженерно-геологическими условиями, была проведена экспериментальная апробация методики комплексной оценки деформаций при помощи наземного лазерного сканирования и напряженно-деформированного состояния грунтов.

3.1. Козинский виадук в Восточном Саяне

Характеристика инженерного сооружения

В рамках государственной программы модернизации железнодорожной инфраструктуры с 2011 г. начались работы по реконструкции виадука на участке магистрали Абакан-Тайшет между станциями Джебь и Щетинкино в Восточном Саяне (Курагинский район Красноярского края). Идея строительства железной дороги через Саяны появилась еще в XIX в. Проектирование магистрали началось в 1930-х гг. Трасса должна была обеспечить доставку транзитных грузов из Средней Азии, Казахстана, Кузбасса в Восточную Сибирь и на Дальний Восток страны. В 1935 г.

начались поиски наилучшего варианта трассы через Саяны. Исследователи прорабатывали пять линий трассы [114]. При изысканиях в ноябре 1942 г. погибла изыскательская экспедиция в составе Кошурникова А.М. (выпускника ТТИ-ТПУ 1930 г.), Стофато К.А, Журавлева А.Д., обследовавших наиболее перспективное - Нижнеудинское направление. В 1948–1949 гг. была произведена аэрофотосъемка горной части местности. В 1953–1955 гг. была завершена съемка всей трассы и проведены наземные привязочные работы на площади свыше 15 тыс. км². В 1959 г. был утвержден проект строительства трассы. Одним из самых сложных участков является перегон Джебь - Щетинкино. Расстояние между станциями Джебь и Щетинкино по прямой 5,6 километра, однако перепад высот между ними составляет 220 метров. Проектировщики сумели снизить максимальный уклон до 15%, придумав поистине изящное решение: для набора высоты использовали две соседние вершины, закрутив два полукольца (т.н. Джебская петля) и соединив трассу между горами Козинским виадуком. Для набора высоты длина перегона была увеличена до 14 километров, заложено три тоннеля. Железная дорога Абакан — Тайшет, носящая второе название «Трасса мужества» была принята государственной комиссией в постоянную эксплуатацию 20 декабря 1965 г. На рисунке 3.1, в центре виден виадук, слева вверху - портал второго Джебского туннеля. Дорога уходит в тоннель, огибает гору и через виадук переходит на соседний склон.



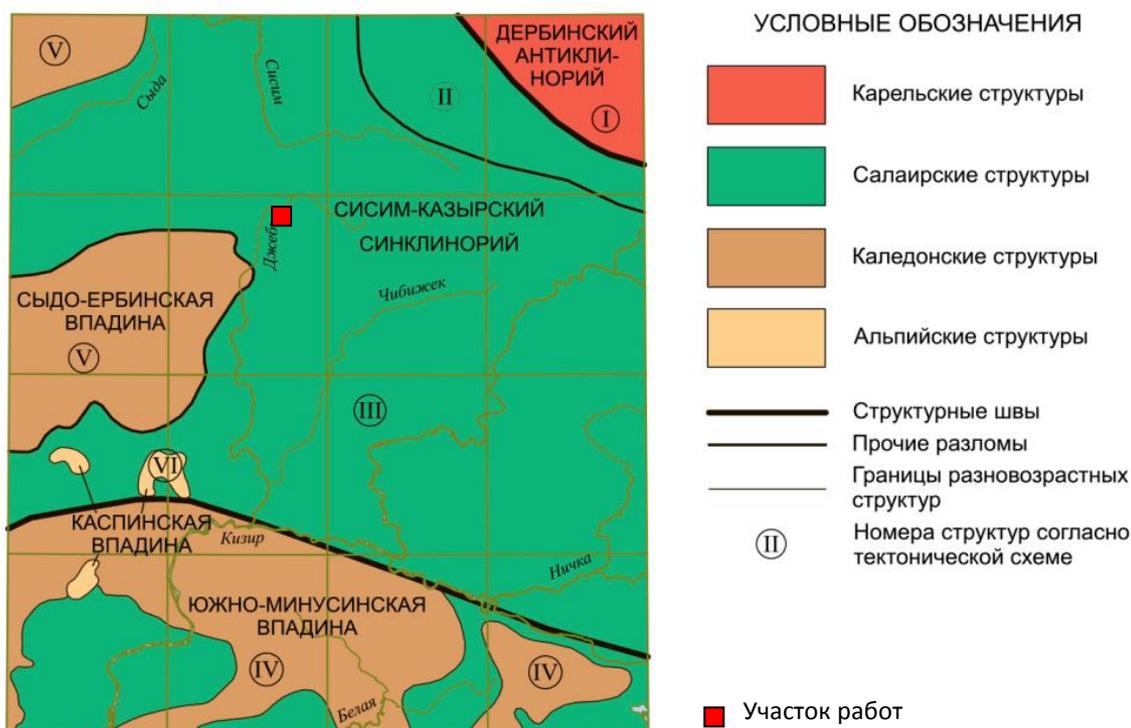
Рис. 3.1. Фотографии участка объекта

Козинский виадук (длиной 355 метров, пролетные строения опираются на бетонные опоры, высота которых достигает 65 метров) после 50-летней эксплуатации выработал свой ресурс, потребовалось его модернизация, на первом ее этапе, в 2015 г. укреплены опоры виадука методом инъекций специальными смесями, они стали иметь повышенную прочность, морозостойкость и водонепроницаемость. Кроме того, опоры

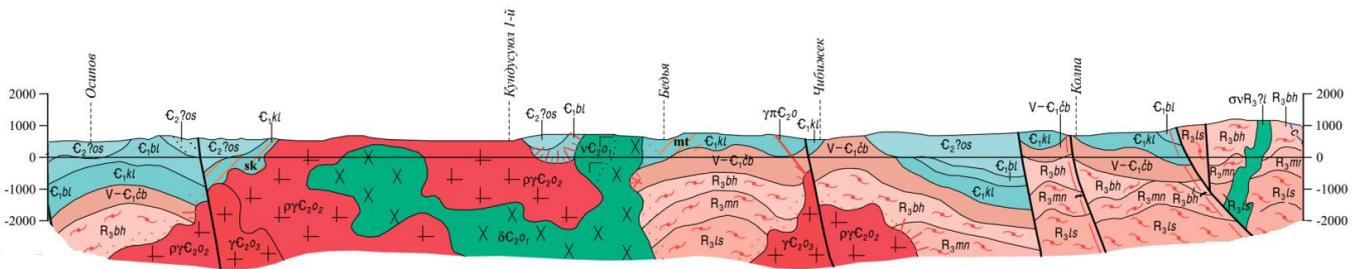
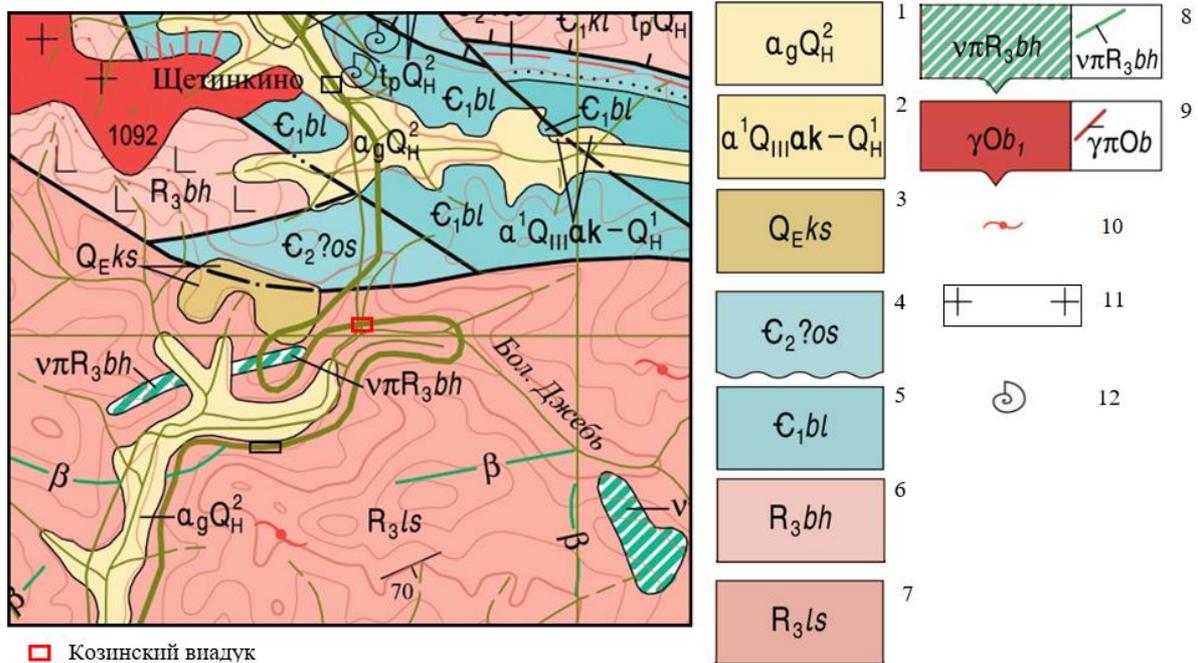
виадука дополнительно обернуты особым защитным материалом. Вторым этапом, в 2016 г., стала замена 9 пролётных строений виадука. Железобетонные конструкции длиной 34 м и весом 260 тонн демонтируют, а на их место устанавливают металлические весом 107 тонн, при монтаже которых используют современные композитные материалы, они вдвое легче прежних, но гораздо прочнее: их установка позволит пропускать грузовые поезда весом более 7 тысяч тонн [62]. Весной 2017 г. приступят к торкретированию опор моста. Опоры будут обрабатываться специальным составом, что даст им дополнительную защиту и усилит прочность бетона.

Инженерно-геологическая характеристика района

Обобщение региональных геологических данных. В тектоническом отношении Восточно-Саянский регион отвечает области докембрийской (байкальской) складчатости (Рис. 3.2). Он сложен наиболее древними архейскими и протерозойскими породами, испытавшими глубокий метаморфизм и интенсивную дислоцированность. В толще метаморфические породы в разрезах Восточного Саяна широко распространены интрузивные породы, представленные гранитами и габбро (рис. 3.3, 3.4) [18].



*Рис. 3.2. Схема тектонического районирования района работ.
Масштаб 1:1 000 000 [18]*



Масштабы горизонтальный и вертикальный 1 : 200 000

Рис. 3.3. Фрагмент геологической карты района работ и геологический разрез [18]

Условные обозначения: 1 – Голоценовые аллювиальные отложения пойм горных рек – валунно-галечниковые отложения с гравием, песком (1-12 м). 2 – Верхнечетвертичные аллювиальные отложения первой террасы – галечники, пески, суглинки (3,5-15 м). 3 – Эоплейстоценовые отложения каспийской свиты. Делювиальные и пролювиальные отложения карстовых западин, пологих склонов. Красноцветные пластичные глины, суглинки с обломками различных пород, оолитовыми стяжениями гидроокислов марганца и железа (1-30 м). 4 – Ордовикские интрузивные образования. Ольховский габбро-диорит-гранодиоритовый комплекс. Граниты. 5 – Среднекембрийские вулканогенно-осадочные образования осиновской свиты. Конгломераты, туфоконгломераты, туфы, туфопесчаники, реже андезиты, дациты, песчаники (менее 1800 м). 6 – Нижнекембрийские отложения балахтисонской свиты. Известняки рифогенные, песчаники, сланцы известково-глинистые, конгломераты (менее 700 м). 7 – Позднерифейский Бахтинский вулканический комплекс. Бахтинская свита. Лавы и лавобрекчии базальтов, их туфы, прослои известняков (более 1800 м). 8 – Бахтинский вулканический комплекс. Субвулканические образования. Силлы, дайки, габбро-порфиринов. 9 – Позднерифейский вулканический комплекс. Лысанская свита. Сланцы серицит-хлоритовые, углеродисто-кремнистые, потоки базальтов, их туфы, прослои и линзы мраморов (менее 2500 м). 10 – Граниты. 11 – Зеленосланцевая фация регионального метаморфизма. 12 – Места находок ископаемых остатков морских беспозвоночных.

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОЛОНКА

Система	Отдел	Ярус	Горизонт	Индекс	Литологическая колонка	Мощность, м	Характеристика подразделений
НЕОГЕН	НИЖНИЙ			N_1-N_2, sl		8-15	Спосаревская свита – лигнитовые глины с прослоями торфяников и бурых углей
				$D, ll?$		менее 300	Минусинская СФЗ Толтаковская свита. Красноцветные известковистые песчаники и алевролиты
ДЕВОН	НИЖНИЙ			D, sd		более 820	Сыдинская свита. Базальты, андезибазальты, трахибазальты, андезиты, туфы среднего и основного состава, туфопесчаники
				$O?im_2$		менее 1800	Минусинско-Восточно-Саянская СФЗ Верхнеимирская подсвита. Дациты, риодациты, трахидациты, трахиты, трахириолиты, риолиты, их туфы, андезиты, туфоконгломераты, туфопесчаники, песчаники, единичные потоки базальтов
ОРДОВИК				$O?im_1$		менее 2500	Нижнеимирская подсвита. Андезибазальты, базальты, туфы основного, среднего, редко кислого состава, прослой и линзы песчаников, туфопесчаников, туфоалевролитов
				$C_2, ?os$		менее 1800	Восточно-Саянская СФЗ Основная свита. Пестроцветные конгломераты, туфоконгломераты, туфопесчаники, риодациты, их туфы, реже андезибазальты, андезиты, дациты, песчаники
КЕМБРИЙ	НИЖНИЙ	БОТОМ-СКИЙ	САНАШ-ТЯГТО-ЛЬСКИЙ	C, bl		менее 700	Кузнецко-Восточно-Саянская СФЗ Балахтинская свита. Известняки рифогенные, песчаники, сланцы известково-глинистые, конгломераты Археоцитаты: <i>Thalattocyathus howelyi Osad.</i> , <i>Dokidocyathus regulans Vol.</i> , <i>Porocyathellus cf. curioflexus Bojaret Osad.</i> , <i>Anthomorpha rachkovskii Vol.</i> , <i>Irinaecyathus ratus (Vol.)</i> и др. Трилобиты: <i>Polellina lemontovae Polet.</i> и др.
				C, kl		более 1100	Колпинская свита. Преимущественно темно-серые алевролиты, песчаники, известняки, сланцы углистые, конгломераты, гравелиты. Археоцитаты: <i>Archaeofungia sp.</i> , известковые водоросли
КЕМБРИЙ	СРЕДНИЙ	АТДАБАНСКИЙ	КАМЕШ-КОВСКИЙ	$V-C, zb$		более 1000	Чибиковская свита. Доломиты, известняки, прослой силлицилитов, доломитовых брекчий, пестроцветных сланцев, песчаников. В низах микрофитолиты: <i>Vesicularites lobatus Reiff.</i> , <i>Vesicamassulatus sp.</i> Водоросли: <i>Girvanella sp.</i> , <i>Koriphyton (?) sp.</i> , <i>Gemma (?) sp.</i> В верхней части мелкоракнинная фауна: <i>Torellia tentiformis Miss.</i> , <i>Colecloides sp.</i> , <i>Anabarites sp.</i> , <i>Glauderia sp.</i> и др. Археоцитаты: <i>Ajaecyathus sp.</i> , известковые водоросли
				$V-C, zb$		более 1000	
ПРОТЕРОЗОЙ	НИЖНИЙ			R_3, bh		более 1800	Бахтинская свита. Лавы и лавобрекчи базальтов их туфы, прослой известняков
				R_3, ms		более 750	Манская свита. Известняки темно-серые, черные кристаллические, прослой известковистых доломитов, доломитовых известняков, силлицилитов, кремнистых сланцев
ПРОТЕРОЗОЙ	РИФЕЙ ВЕРХНИЙ			R_3, ls		менее 2500	Лысьинская свита. Сланцы серицит-хлоритовые, углеродисто-кремнистые, потоки базальтов, их туфы, прослой и линзы мраморов
				$PR_1, ?dr$		менее 2000	Дербинская СФЗ Верхнедербинская подсвита. Мраморы графитистые, сланцы кристаллические амфибол-биотит-плагиоклазовые, прослой кварцитов
ПРОТЕРОЗОЙ	НИЖНИЙ			$PR_1, ?dr$		менее 1500	Нижнедербинская подсвита. Ритмичное чередование сланцев кристаллических амфибол-биотит-плагиоклазовых, кальцифиров, плагиогнейсов, мраморов графитистых
				$PR_1, ?ot$		700	Альдджерская свита. Гнейсы биотитовые, амфиболовые, плагиогнейсы кристаллические сланцы

Примечание: Колонка составлена в разных масштабах: PR – 1:100 000, V-C₂-D₁ – 1:50 000, N, N₂ – показана вне масштаба

Рис. 3.4. Стратиграфическая колонка района [18]

Мраморы и мраморизованные известняки – крупнокристаллические, массивные, залегают в виде слоев мощностью до 100-250 м, также обладают повышенной прочностью и относятся к категории средней устойчивости. Песчаники представлены кремнистыми разновидностями, характеризующимися повышенной прочностью (50-80 МПа). Алевролиты и аргиллиты с известковым и глинистым цементом в верхней зоне интенсивно выветрены, на склонах образуют осыпи. Прочность их составляет 28-35 МПа. К категории совершенно неустойчивых относятся дисперсные грунты на склонах, представленные щебнем с песчано-глинистым заполнителем и глыбами.

Гидрогеологические условия региона определяются распространением трещиновато-грунтовых и трещинно-карстовых вод в кристаллических сланцах и грунтах карбонатного состава. В зонах тектонических нарушений распространены трещинно-жильные воды.

Геологические процессы. Для региона характерна относительно высокая сейсмичность, до 8-9 баллов по шкале MSK-64. Активность Главного Саянского разлома подтверждается многочисленным количеством эпицентров землетрясений интенсивностью от 5 до 7 баллов. Широкое распространение карбонатных пород обусловило развитие карстовых процессов, как древних, так и современных. Развита поверхностные карстовые формы: воронки, поноры, котловины; и подземные формы карста: пещеры, находящиеся на стадии активного развития. Карстовые полости заполнены водой, обладают значительными статическими запасами воды. По склонам долин широко развиты обвалы, осыпи и курумы, обусловленные скоплением крупнообломочного материала на отлогих участках хребтов.

Инженерно-геологическое строение площадки. Полевые работы на объекте проводились в августе 2011 г. В процессе работ пробурено 11 скважин, пройдено 9 шурфов, отобрано 17 монолитов и 35 проб нарушенной структуры. Выполнено рекогносцировочное обследование участка [104].

Естественным основанием мостовых опор являются скальные грунты, представленные кристаллическими слюдяными сланцами, песчаниками и алевролитами, залегающими ниже зоны выветривания.

Глубина заложения различных частей фундаментов различна. В зоне выветривания, в пределах исследованной глубины (12 метров от дневной поверхности), выделяются следующие инженерно-геологические элементы:

ИГЭ-1т Насыпной техногенный грунт, представленный загрязненным щебнем путевого балласта, осыпью выветрелых аргиллитов и алевролитов, в верхней зоне с

включением почвенно-растительных остатков (неперегнившая листва, корни кустарника и т.п.), глыб и песчано-глинистого заполнителя. Мощность слоя составляет от 0,5 до 3,6 м.

РГЭ-2 Супесь и суглинок легкий твердой консистенции дресвяные (аргиллитовая дресва). Вскрыт в виде незначительного по мощности пласта на левом борту долины ручья, а также в виде отдельных линз в слое крупнообломочного дресвяного грунта. Мощность слоя составляет от 0,8 до 2,2 м.

ИГЭ-3 Грунт крупнообломочный дресвяный (алевролитовая дресва). Вскрыт в верхней части долины ручья. Вскрыт при проходке шурфа под подошвой опоры ОП2. Мощность слоя изменяется от 1,6 до 3,7 м.

ИГЭ-4 Грунт крупнообломочный щебенистый. Слагает правый борт долины ручья и залегает под слоем насыпного грунта. Мощность слоя составляет от 0,6 до 3,9 м.

ИГЭ-5 Суглинок легкий от тугопластичной до мягкопластичной консистенции. Грунты данного ИГЭ залегают с поверхности в виде пласта и являются современными аллювиальными отложениями ручья. Мощность слоя составляет от 2,4 до 2,7 м.

ИГЭ-6 Грунт крупнообломочный дресвяный (аргиллитовая дресва) с супесчаным заполнителем от твердой до пластичной консистенции. Мощность слоя составляет от 2,1 до 3,9 м. При проходке скважины №5 в составе данного ИГЭ вскрыт единичный прослой грунта дресвяного с супесчаным заполнителем пластичной консистенции.

ИГЭ-7 Метаморфические и осадочные скальные грунты средней прочности, слабовыветрелые, неразмягчаемые, представленные крепкими кристаллическими тёмно-зелёными сланцами, алевролитами, реже мраморизованными известняками и песчаниками. Подошва слоя при бурении не вскрыта.

После анализа физико-механических характеристик грунтов ИГЭ-3, ИГЭ-4 и ИГЭ-6, в соответствии с рекомендациями ГОСТ 20522, а также учитывая тот факт, что грунты данных ИГЭ в основной массе залегают выше подошвы фундаментов, можно уверенно утверждать о целесообразности объединения их в один РГЭ-3 грунт крупнообломочный дресвяный (алевролитовая дресва) с песчано-глинистым заполнителем (коэффициент вариации по гранулометрическому составу составляет $V_{cp}^{>10}=0,17$, $V_{cp}^{>2}=0,18$, $V_{cp}^{>2-0,05}=0,57$, $V_{cp}^{<0,05-0,005}=0,72$, $V^{<0,005}=0,20$). При этом выборка частных значений физико-механических характеристик будет более представительной.

Ввиду малой изученности района расположения мостового перехода, данных о многолетнем наблюдении за глубиной сезонного промерзания обнаружить не

представляется возможным, поэтому нормативную глубину сезонного промерзания грунта определена ориентировочно, на основе теплотехнических расчетов, и она составила 2,95 м.

Следует отметить, что прочностные характеристики всех ИГЭ приняты по СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», т.к. наличие в них крупного заполнителя не позволило произвести полный комплекс лабораторных исследований их механических характеристик [88].

Физико-механические характеристики грунтов основания. Согласно инженерно-геологическим изысканиям на площадке расположения железнодорожного моста в геологическом строении до исследованной глубины 12,0м принимают участие сверху – четвертичные отложения аллювиального генезиса, ниже – архейские и протерозойские породы, представленные грунтами различного литологического состава: кристаллическими сланцами, мраморизованными известняками и алевролитами.

Ниже приводится описание выделенных в пределах исследуемой глубины инженерно-геологических и расчетно-геологических элементов:

ИГЭ-1т Насыпной техногенный грунт, представленный загрязненным щебнем путевого балласта, осыпью выветрелых аргиллитов и алевролитов, в верхней зоне с включением почвенно-растительных остатков (неперегнившая листва, корни кустарника и т.п.), глыб и песчано-глинистого заполнителя. Мощность слоя составляет от 0,5 до 3,6 м.

РГЭ-2 Супесь и суглинок легкий твердой консистенции дресвяные (аргиллитовая дресва). Нормативное значение плотности грунта (ρ^H) составляет 2,23 г/см³. Значение коэффициента пористости (e) равно 0,373, показатель пористости грунта составляет (n) 27 %. Коэффициент водонасыщения (S_r) равен 0,94 д.е. – грунт насыщен водой. Нормативное значение показателя влажности грунта (W) составляет 0,13 д.е. Значение модуля деформации принято по СП 22.13330.2016 и составляет 32,0 МПа. Среднее значение удельного сцепления (C^H) и угла внутреннего трения грунта (φ^H) для грунта в водонасыщенном состоянии также принято по СП и составляет, соответственно, 21 кПа и 30°.

РГЭ-3 Грунт крупнообломочный дресвяный (алевролитовая дресва) с песчано-глинистым заполнителем. Нормативное значение плотности грунта (ρ^H) составляет 2,09 г/см³. Нормативное значение показателя влажности заполнителя (W) составляет 0,13 д.е. Значение модуля деформации принято по СП 22.13330.2016 и составляет 50,0 МПа. Среднее значение удельного сцепления (C^H) и угла внутреннего трения грунта (φ^H) для

грунта в водонасыщенном состоянии также принято по СП и составляет, соответственно, 2 кПа и 43°.

ИГЭ-5 Суглинок легкий от тугопластичной до мягкопластичной консистенции. Нормативное значение плотности грунта (ρ^H) составляет 1,92 г/см³. Значение коэффициента пористости (e) равно 0,750, показатель пористости грунта составляет (n) 43 %. Коэффициент водонасыщения (S_r) равен 0,87 д.е. – грунт насыщен водой. Нормативное значение показателя влажности грунта (W) составляет 0,24 д.е. Значение модуля деформации принято по СП 22.13330.2016 и составляет 12,0 МПа. Среднее значение удельного сцепления (C^H) и угла внутреннего трения грунта (ϕ^H) для грунта в водонасыщенном состоянии также принято по СП и составляет, соответственно, 25 кПа и 23°.

ИГЭ-7 Метаморфические и осадочные скальные грунты средней прочности, слабовыветрелые, неразмываемые. Подошва слоя при бурении не вскрыта.

Масштаб 1 : 100

Наименование : Скв. 3 Абс. отметка устья : 659.71 м
Общая глубина : 10.00 м

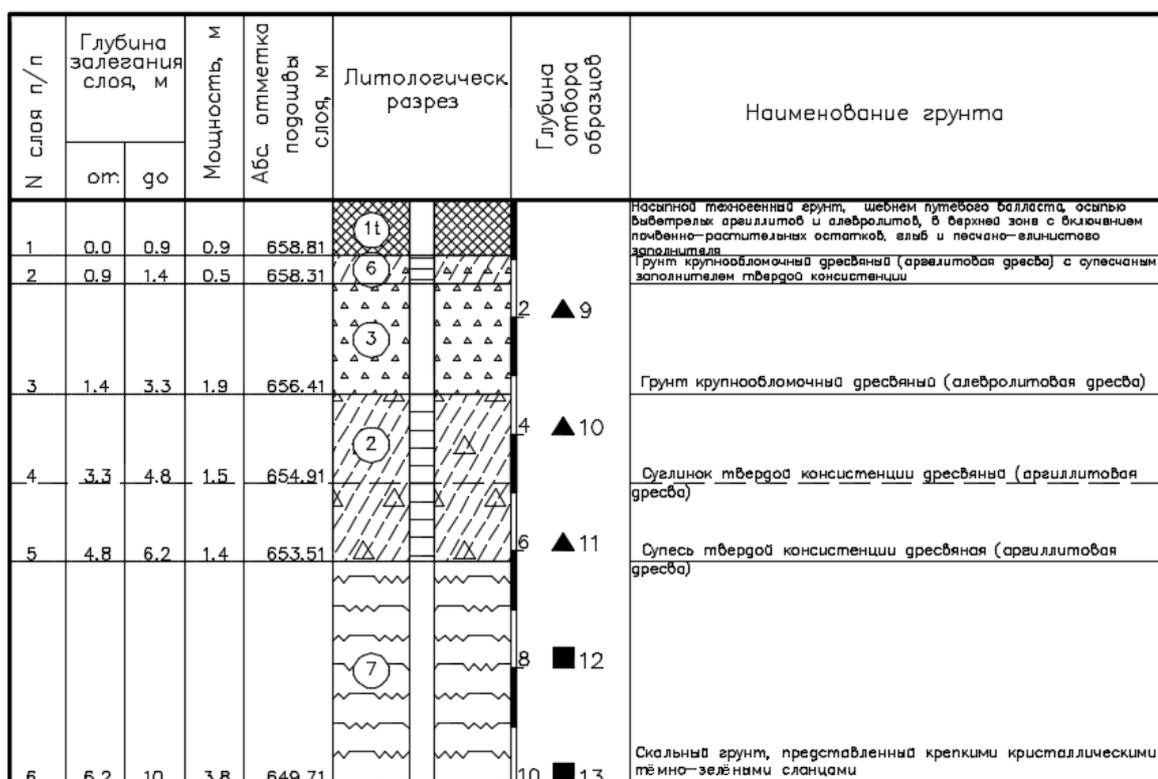


Рис. 3.5. Геолого-литологическая колонка скважины

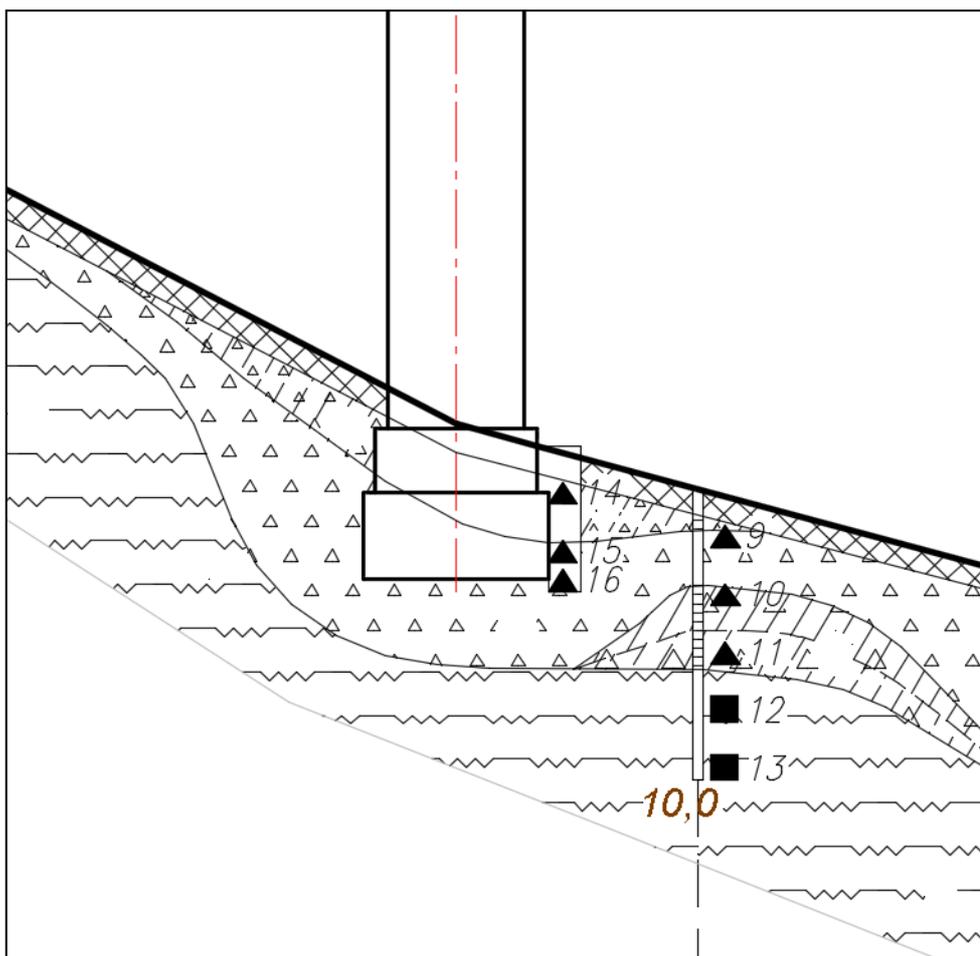


Рис. 3.6. Инженерно-геологический разрез

По нормативному значению предела прочности на одноосное сжатие грунты данного ИГЭ характеризуется как скальные грунты средней прочности ($R^H_{cl} = 33$ МПа). По коэффициенту выветрелости грунты можно отнести к слабыветрелым, по коэффициенту размягчаемости в воде грунты относятся к не размягчаемым, $K_{sof} > 0,75$ д.е.

Гидрогеологические условия площадки. На период проведения изысканий (середина августа 2011 г.) грунтовые воды были встречены на глубине 4,3-5,0 м (абс. отм. 643,25-643,58 м) от дневной поверхности.

По гидравлическим признакам воды на участке обследования – ненапорные, по степени минерализации – пресные. По химическому составу гидрокарбонатно-кальциевые, нейтральные (среднее значение pH = 6,8).

Грунтовая вода слабоагрессивна к марке бетона по водонепроницаемости W4 и не агрессивна к марке бетона по водонепроницаемости W6. По содержанию хлоридов

грунтовые воды не агрессивны к арматуре железобетонных конструкций при постоянном погружении и слабоагрессивны при периодическом смачивании.

Сезонные колебания уровня грунтовых вод зависят от времени года и количества среднегодовых осадков. Следует отметить, что на исследуемой площадке существует вероятность значительного поднятия уровня грунтовых вод в наиболее интенсивный период весеннего половодья.

Между опорами ОП4 и ОП5 протекает малый водоток (ручей). На период проведения изысканий максимальная глубина воды в ручье составляла 0,15-0,25 м. Данных о гидрометрических наблюдениях указанного водотока обнаружить не удалось, однако со слов сотрудников эксплуатирующей мост организации (ПЧ-10), максимальный подъем уровня воды в ручье приходится на весенний период и составляет около 0,5-0,8 м. Это говорит о том, что значительного влияния на размыв грунта у фундаментов опор данный водоток не оказывает.

Коэффициент фильтрации грунтов, по рекомендательным нормативным данным, составляет:

для грунта крупнообломочного дресвяного – 10-200 м/сут;

для грунта крупнообломочного щебенистого – 100-200 м/сут;

для суглинка легкого – 0,4-0,005 м/сут;

для супеси – 1,0-0,4 м/сут;

для гравийно-галечникового грунта со значительной примесью мелких частиц – 20-60 м/сут.

Инженерно-геологические процессы и явления. Грунты разреза непучинистые, ненабухающие, непросадочные, незасоленные, без значительного содержания органики, реакционно-способные минералы в составе грунтов отсутствуют.

Следов эрозии склона, вывалов, осыпей не обнаружено – поверхность склона покрыта травянистой растительностью и кустарником и на момент изысканий обсыпана мощным слоем загрязненного щебеночного балласта, сброшенного с пролетных строений при производстве ремонтных работ.

Обследование конструкций фундаментов объекта производилось методами неразрушающего контроля. Железнодорожный мост десятипролетный, двухпутный, сооружен по схеме 9х33+15,80 м. Фактический продольный уклон моста составляет около 14 ‰. Мост расположен на прямом участке пути между двумя тоннелями и перекрывает ручей. Подходы к сооружению находятся в выемках. Опоры моста двухпутные индивидуального проектирования. Устои выполнены массивными.

Промежуточные опоры имеют в надфундаментной части тонкостенчатую конструкцию из армированного бетона. Фундаменты выполнены массивные мелкого заложения, различной конфигурации из бутобетона, армированные каркасом. Глубина заложения фундаментов у различных опор различна. Прочность бутобетона конструкций фундаментов определялась методом неразрушающего контроля прибором ОНИКС-2.5 [104].

На основании обобщения региональных геологических данных и анализа результатов камеральной обработки материалов полевых и лабораторных исследований, можно сделать вывод, что участок работ относится к III (сложной) категории сложности инженерно-геологических условий.

3.2. Историческое здание: Томский областной театр юного зрителя

Характеристика инженерного сооружения

Инженерно-геологическими исследованиями исторических объектов, в т.ч. архитектурных памятников и ансамблей в России с 1970-х гг. занимается широкий круг исследователей: Г.С. Белова, М.В.Бондарев, О.Е. Вязкова, Р.Э. Дашко, И.А. Дёмкин, В.В. Дмитриев, О.В. Домарёв, Л.В. Заботкина, А.А. Никифоров, В.Л. Невечеря, В.М. Кувшинников, А.Г. Купцов, Л.В. Курделова, Е.М. Пашкин, В.О. Подборская, В.В. Пономарёв, Е.И. Романова, С.Н. Чернышёв, А.Г. Шашкин и другие [10,20,63]. Результатами этих исследований явилось установление особенностей взаимодействия исторических объектов с окружающей средой, комплексирования методов при изучении состава, состояния, физико-механических свойств компонентов литотехнической системы. К сожалению, анализ имеющихся исследований, позволяет констатировать слабую разработанность правовых и методических основ инженерно-геологических исследований таких объектов.

Здание (ТЮЗ) расположено по пер. Нахановича, 4 (бывший переулок Ямской до 20.05.1920 г., рис. 3.7). Площадка непосредственно примыкает к защитной дамбе г. Томска, находится на правом берегу р. Томь южнее устья р. Ушайки.



Рис.3.7. Местоположение объекта

История объекта началась в 1912 году. На Конной площади вблизи извозчицъей биржи, где велась торговля лошадьми, открылся крупнейший в Томске театр-кинематограф «Новый». Первым владельцем здания был известный томский купец А.Ф. Громов [3]. Проект здания выполнил архитектор Андрей Лангер в стиле модерн (рис. 3.8). Первоначальный объем включал в себя помещения самого кинозала и вестибюля (рис. 3.9). До 1926 года здание эксплуатировалось без надлежащего ремонта, что привело к ветхому аварийному состоянию. В 1930 году полуразрушенный кинотеатр был восстановлен, и с середины 30-х годов здание используется как театр, в 1937 году к основному зданию сделали пристройку сцены с восточной стороны.



Рис.3.8. Переулок Ямской в начале прошлого века

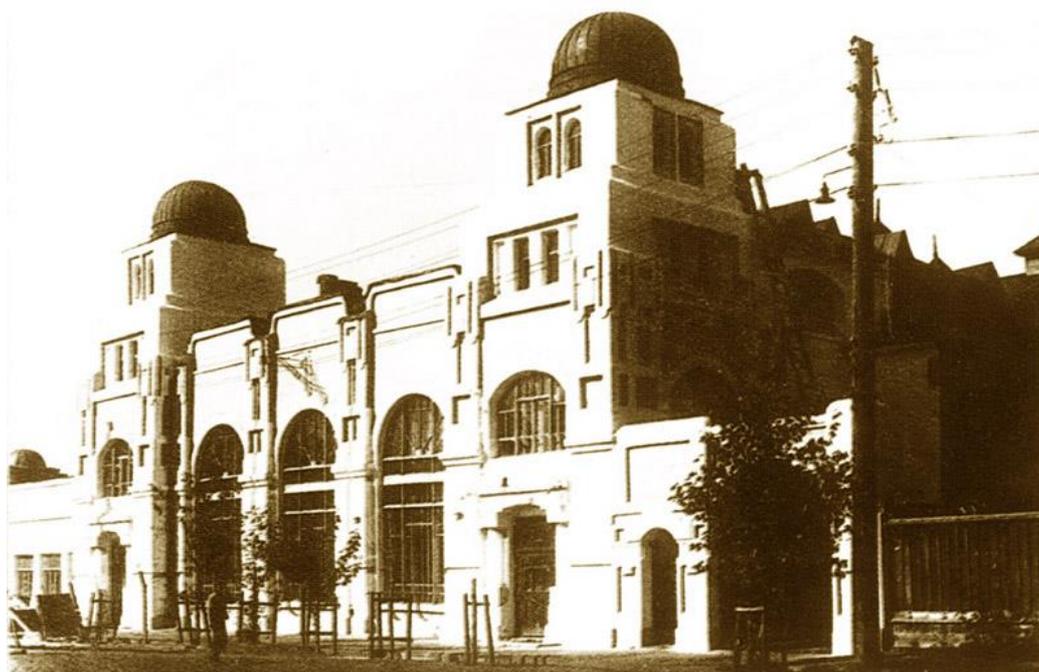


Рис.3.9. Первоначальный вид здания

В 1950-х годах была проведена реконструкция театра, в результате которой был изменён внешний вид здания. Были выполнены пристройки с северной и западной сторон, утрачены башни главного фасада с купольным завершением, а также лепнина на фасадах и в интерьере. Схема плана по периодам строительства здания показана на рис. 3.10.

Сегодня здание ТЮЗа представляет собой трехэтажное кирпичное оштукатуренное здание, переменной этажности: трехэтажное в основной части здания с двухсветным пространством в вестибюле и зрительном зале, двухэтажное с западного и восточного фасадов; без подвала, прямоугольное в плане, размером 58,85 x 40,71 м. Имеется техническое подполье. Планировочная схема здания выполнена с четко выраженной типологией размещения помещений для театра. Основное планировочное ядро – зрительный зал и сцена. Зрительный зал имеет балконы. Главные входы в здание ориентированы на пер. Нахановича. Основными помещениями 1-го этажа являются: вестибюль, зрительный зал и двухсветное фойе с витражами. Основными помещениями, разместившимися на 2-м этаже, стали: открытая галерея с буфетом и входами на балкон зрительного зала, а также малая сцена. На 3-ем этаже – репетиционный зал и входы на балкон. В объеме здания находятся 3 основных лестничных клетки открытого типа.

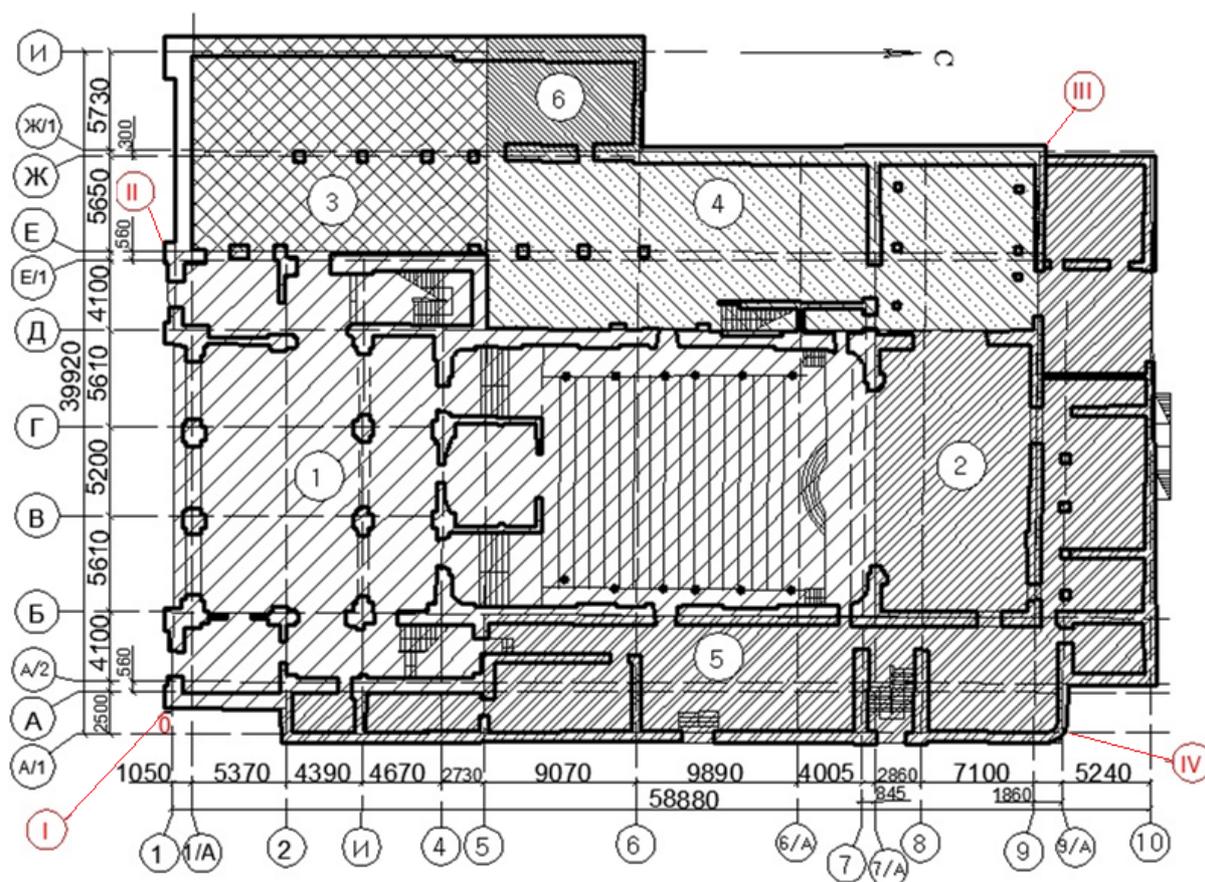


Рис. 3.10. Схема плана по периодам строительства:

1 - постройка 1912 года - бывший кинотеатр "Новый", выполненный по проекту архитектора А. Лангера; 2 – граница постройки 1937 года - пристраивается сцена; здание функционирует как театр; 3-6 - границы постройки после реконструкций 50-х годов (точные даты не установлены); I-IV – углы здания, взятые для расчета деформаций

В 2007 году начался последний капитальный ремонт всего сооружения без изменения границ, планировки и высотности. Проектная документация разработана в 2002 году НПЦ «Вогтехпроект». В последующие годы (2009-2011 гг.) документация была дополнена и откорректирована ООО «Генстройпроект». Проект по переоснащению сцены большого зала, систем свето- и звуко- оснащения разработан в 2011 году ООО «Система». Сложилось так, что ремонтно-реставрационные работы здания ТЮЗа выполнялись в несколько этапов: на первом этапе (2004-2010 гг.) были отремонтированы инженерные сети: отопление, водопровод и канализация, отремонтирована кровля и помещения, предназначенные для работы театральной труппы. На втором этапе (2011-2012 гг.) отремонтированы помещения вестибюля и малой сцены, выполнено полное техническое переоснащение сцены большого и малого залов, восстановлена лепнина в большом зале, отремонтировано главное фойе театра. Конструктивная схема здания смешанная, выполнена с несущими внутренними и наружными стенами как продольными, так и поперечными. В отдельных помещениях имеются столбы. Фундаменты здания преимущественно ленточные, мелкого заложения, бутовые и бетонные. Перекрытия деревянные, металлодеревянные и железобетонные. Крыша чердачная, скатная, разноуровневая, сложная в плане, с покрытием из оцинкованной кровельной стали. При реконструкции объекта проектировщики не занимались вопросами укрепления фундаментов и основания сооружения, поэтому специальные инженерно-геологические и геотехнические исследования не проводились, и такие вопросы как геометрические размеры фундамента, механические свойства горных пород в сфере взаимодействия остались не изученными. Подобные вызовы часто встречаются при реконструкции именно исторических сооружений, по сравнению с современными зданиями.

Изученность инженерно-геологических условий района

В начале прошлого века для возведения зданий в Томске специальные геологические исследования для расчетов фундаментов практически не проводились. Не было вплоть 50-х годов XX века и специальных изыскательских организаций в городе, способных дать квалифицированные заключения о геологических условиях строительства для обоснования типов фундаментов и их расчетов [24]. В 30-50-е годы сотрудники Томского политехнического университета (кафедры гидрогеологии и инженерной геологии (ГИГ) и методики разведки) проводили разведочные работы - бурение скважин, проходку шурфов. По результатам проведения работ сотрудниками

кафедры ГИГ – В.А. Нуднером, Ф.П. Нифонтовым, С.А. Левиным, а позже Г.А. Сулакшиной, Л.А. Рождественской выдавались заключения о несущей способности и деформируемости пород для выбора типа фундаментов зданий и их расчетов, а также разработки мероприятий, требуемых для обоснования инженерной подготовки территорий застройки. В 1966 г. в кандидатской диссертации Л.А. Рождественской, впервые детально охарактеризованы инженерно-геологические условия г. Томска, выполнена типизация геологической среды с целью выбора типов фундаментов сооружений, составлены инженерно-геологическая и геоморфологическая карты города масштаба 1:10 000 и сформулированы методические рекомендации по инженерно-геологическим исследованиям городских территорий для наземной застройки. Инженерно-геологическая карта была передана в отдел архитектуры Томского горисполкома для составления генерального плана застройки и реконструкции города, а также в проектные организации города - ТомТЭП, Томгипротранс, ТомскТИСИЗ, ТИСИ и использована в практической работе.

На прилегающей к объекту территории, начиная с 1960-х годов, выполнялись инженерно-геологические и гидрогеологические работы, большей частью связанные с защитой территории города от затопления [105].

1966 г. Институт «Гипрокоммунстрой» (г. Москва), подготовил «Заключение об инженерно-геологических условиях строительства набережной на р. Томи и р. Ушайки в г. Томске».

Этот участок входил также в площадь комплексных инженерно-геологических и гидрогеологических съемок М 1:200000 (Нелюбинская партия ТКГРЭ, 1973-1975 гг.) и М 1:50000 (Рыбаловская партия ТКГРЭ, 1978-1983 гг.).

В 1978-1981 гг. Институтом «Томскгипроводхоз» выполнена работа «Оценка последствий русловой добычи песчано-гравийной смеси на урвненный режим грунтовых вод поймы реки Томи и экологический ущерб на сельскохозяйственное производство». Результатом этой работы явилось установление бесспорного факта площадного снижения уровня грунтовых вод пойменных отложений реки Томи и снижения уровня реки Томи в черте города Томска в связи с добычей песчано-гравийной смеси из русла реки.

В 1989 г. Томский трест инженерно-строительных изысканий «ТомскТИСИЗ» подготовил Отчет о комплексных инженерных изысканиях для строительства набережной на р. Томи от устья р. Ушайки по ул. Береговой в г. Томске (Стадия: рабочий проект)

В 1994-1996 гг. Институтом проблем коммунального хозяйства районов Сибири, Севера и Дальнего востока выполнена тематическая работа «Оценка техногенных условий подтопления территорий Московского тракта, мкр. Черемошники г. Томска и разработка схемы защитных инженерно-технических мероприятий». В данной работе обобщены все имеющиеся материалы прошлых лет по инженерной геологии и гидрогеологии с составлением карт: почвенной, растительности, геолого-литологической и гидрогеологической М 1:10000.

В 2003 г. ОАО «Томскводпроект» выполнило изыскания «Реконструкция ограждающей дамбы г. Томска Томской области». Рабочий проект. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования.

В 2005 г. ОАО «Сибречпроект» выполнило изыскания по теме «Расширение моста и восстановление набережной реки Ушайки в г. Томске (2 этап). Рабочая документация. Отчет по инженерным изысканиям, выполненным в 2003 году».

В 2015 г. ОАО «Томгипротранс» выполнило изыскания по теме «Защита территорий г. Томска на правом берегу р. Томи от коммунального моста до устья р. Ушайки от негативного воздействия вод», в рамках государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов Томской области в 2013 – 2020 годах».

В перечисленных материалах обобщается имеющийся материал по инженерной геологии и гидрогеологии, включая физико-механические, фильтрационные и емкостные свойства грунтов района. При этом следует отметить, что некоторые материалы требуют корректировки.

Характеристика инженерно-геологических условий района

Рельеф и климатические характеристики

В геоморфологическом отношении район представляет террасированную озерно-аллювиальную равнину. Среднегодовая температура воздуха минус 0,5 °С. Самый холодный месяц – январь, со среднемесячной температурой воздуха минус 19,1 °С, самый теплый месяц – июль, со среднемесячной температурой плюс 18,3 °С. Количество осадков за холодный период (ноябрь-март) – 185 мм, за тёплый период (апрель-октябрь) – 406 мм. Суточный максимум осадков в тёплый период составляет 76 мм. Преобладающее направление ветра – южное [104]. Среднее число дней со снежным покровом – 178. Средняя дата появления снежного покрова – 15 октября, средняя дата образования устойчивого снежного покрова – 27 октября, средняя дата разрушения

устойчивого снежного покрова – 18 апреля, средняя дата схода снежного покрова – 30 апреля. Среднее число дней с метелью в год составляет 46.

Гидрография и гидрология

Главной водной артерией г. Томска является река Томь с ее притоками – Басандайкой, Ушайкой, М. Киргизкой, р. Керепеть. Река Томь – правый приток реки Оби относится к категории больших рек. Длина реки 840 км. Ширина до 400 м. Глубина реки составляет 2-8 м. Реки извилисты, с малыми уклонами. Режим рек равнинного типа, с характерным весенне-летним половодьем, которое начинается в конце апреля и редкими паводками в летне-осенний период. Питание рек в основном осуществляется за счет дождевых и снеговых осадков (около 50% водосбора) и подземных вод. Появление первых ледяных образований наблюдается в октябре (средняя дата приходится на 19 октября). При раннем похолодании они могут наблюдаться в первой декаде октября, при позднем наступлении зимы – в первых числах ноября. Средняя дата наступления ледостава приходится на 1 ноября. Средняя продолжительность ледостава – 170 дней, а всех ледовых явлений – 190 дней. Средняя дата вскрытия приходится на 20 апреля. Средняя дата окончания ледовых явлений приходится на 23 апреля, наиболее ранняя – на 12 апреля, наиболее поздняя – на 3 мая. Период реки свободной ото льда длится 167-204 дня.

Геологическое строение

В тектоническом отношении территория изысканий находится в пределах Колывань-Томской складчатой зоны (рис.3.11, 3.12).

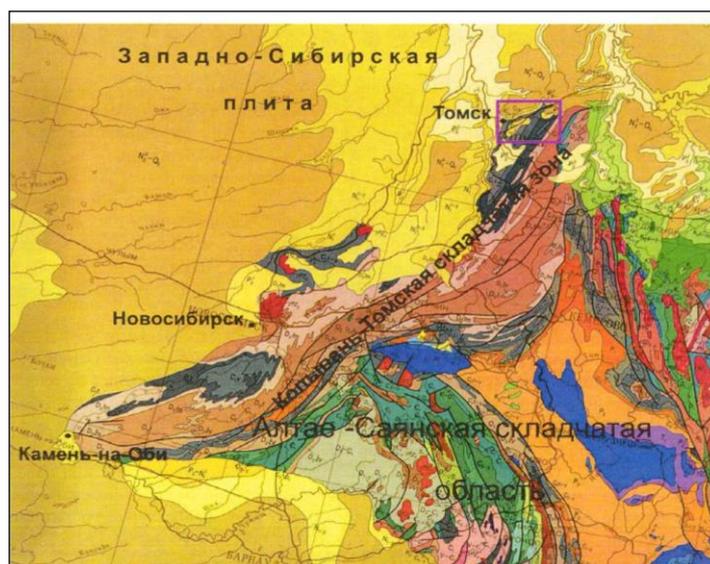


Рис. 3.11. Геологическая карта Колывань-Томской складчатой зоны и прилегающих территорий

Система	Отдел	Ярус	Индекс	Мощность, в м	Характеристика подразделений
Палеогеновая	Олигоцен		P ₃ lt	60	Лагернотомская свита. Пески, алевроиты
			P ₃ nm	142	Новомихайловская свита. Глины бурые, бурый уголь (6 м)
			P ₃ at	60	Атлымская свита. Пески кварцевые, глины опоковидные
	Эоцен		P ₂ ks	3	Яйский горизонт. Кремнистые песчаники
			P ₁₋₂ ll	50	Кусковская свита. Пески кварцевые с прослоями глин
Палеоцен			24	Люлинворская свита. Глины зеленые	
Меловая	Верхний	Коньяк-Маастрихт	K ₂ sm	560	Сымская свита. Пески кварцево-каолиновые с прослоями и линзами сероцветных глин
			K ₂ smn	540	Симоновская свита. Глины пестроцветные, пески кварцево-каолиновые. Включения янтаря. Платановые: <i>Pseudoprotophillum</i> , <i>Platanophillum</i>
			K ₂ ks	275	Кийская свита. Глины пестроокрашенные, галечник, песчаники
	Нижний	Алп	K ₂ il	700	Илекская свита. Глины пестроцветные, каолинизированные, ожелезненные, алевролиты, пески, песчаники, конгломераты
Каменноугольная	Средний	Серпухов-Башкирский	C ₁₋₂ bs	1100	Басандайская свита. Песчаники, алевролиты, сланцы углисто-глинистые. <i>Chonetes ex gr. dalmanianus</i> Kon., <i>Asterocalamites scrobiculatus</i> (Schlotheim)
	Нижний	Турне	Визе	C ₁ lg	500
Девонская	Верхний	Фамен	D ₃ sm	500	Саломатовская толща. Известняки песчанниковые, алевролиты, известковистые песчаники
			D ₃ jur	1000	Юргинская свита. Песчаники, сланцы глинистые и известково-глинистые. <i>Cyrtospirifer tshernyschevi</i> Half., <i>Sublepidodendron kasachstanicum</i> Radcl.
		Фран	D ₃ pс	1500	Пачинская свита. Сланцы глинистые, алевролиты, филлиты. Рифогенные массивы
	Средний	Жигет	D ₂ mt	1000	Митрофановская свита. Базальты, их туфы, сланцы хлорит-серицитовые, линзы известняков

Рис. 3.12. Сводная стратиграфическая колонка Колывань-Томской структурно-фациальной подзоны

Согласно карте инженерно-геологического районирования, Томского Приобья масштаба 1:500 000, составленной Л.А. Строковой (1996) на данной территории выделяют две крупные инженерно-геологические области, различающиеся по направленности и характеру неотектонических движений, рельефу, строению и мощности четвертичных отложений: А - область долины р. Оби и ее крупных притоков рек Томи и Шегарки; Б - Обь-Иртышская область [90]. В пределах областей по различиям в возрасте и генезисе геоморфологических типов выделены подобласти. Подобласти обособляют территории с принципиально различной дренированностью, гидродинамической характеристикой грунтовых вод и типом их режима, морфометрическими характеристиками мезорельефа, разновидностью и интенсивностью современных геологических процессов, характером почвенного покрова.

Территория участка согласно карте инженерно-геологического районирования, Томского Приобья входит в область А, внутри которой выделены 4 подобласти: три надпойменных и пойменная террасы.

Третья надпойменная терраса р. Томи развита локально, с абсолютными отметками 97-119 м, Густота расчленения 0.6-1.25 км/км², глубина расчленения 20-60 м/км². Уклоны поверхности более 6°. Наибольшее распространение имеет вторая и третья нерасчлененная надпойменная терраса, с абсолютными отметками 75-100 м. Над урезом воды ее поверхность возвышается на 12-32 м, имеет небольшой уклон 1.5-3° и ширину до 8-12 км. Глубина расчленения 20-40 м/км², густота расчленения 1.25-1.9 км/км². Терраса хорошо выражена в рельефе. От прилегающих к ней водоразделов и более низких террас она большей частью отделена пологим уступом.

У р. Томи вторая надпойменная терраса высотой 8-13 м по левобережью встречается почти повсеместно, шириной 0,5-8 км, по правобережью сохранилась фрагментарно. Геологический разрез, как и террас других уровней, обычно представлен переслаиванием суглинков, супесей, подстилаемых песками разной зернистости.

Первая надпойменная терраса сохранилась лишь отдельными фрагментами. Относительная высота террасы 10-12 м. Изучаемый объект расположен на первой надпойменной террасе р. Томи.

Правобережная пойменная терраса р. Томи на участке ограждающей дамбы имеет ширину от 0.6 до 3.5 км. Общая высота прируслового склона прирусловой террасы составляет при отметках меженного уровня воды р. Томи 67.7 м и бровки склона 78.5-81 м, при этом, на значительной части линия бровки склона представлена гребнем ограждающей дамбы. Склон сложен исключительно грунтами пойменной террасы р.

Томи и грунтами существующей насыпи земляной дамбы. Мощность отложений пойменной террасы колеблется от 12-15 м до 20-26 м, при этом уменьшение мощности происходит по направлению от русла к тыловой части террасы. Пойменные отложения подстилаются глинистыми сланцами палеозойского фундамента с абсолютными отметками их кровли 64.0-67.5 м. В литологическом отношении отложения поймы представлены преимущественно трехслойной толщей. Верхний слой практически повсеместно представлен техногенными грунтами площадной отсыпки мощностью от 0.6-1.0 м до 7-8 м при средней мощности 2-3 м. Средний слой сложен глинистыми грунтами, мощность которых колеблется от 2-4 м до 10 м при средней мощности 6-7 м. Нижний слой представлен гравийно-галечниковым грунтом с преимущественно песчаным заполнителем. Мощность слоя от 2 м (в южной части) до 11-17 м.

Гидрогеологические условия

Террасовый комплекс играет важную аккумулярующую и регулирующую роль в поверхностном стоке реки Томи. Гидрогеологические условия на рассматриваемой территории характеризуется распространением здесь единого четвертично-палеозойского водоносного комплекса. Песчано-гравийные отложения пойменной террасы залегают на глинистых сланцах нижнего карбона без глинистого разделяющего слоя. При этом имеющиеся материалы свидетельствуют так же (Ключевская партия ТКГРЭ, Саблин А.Ф., 1980-1988 гг.), что водопроницаемость палеозойского водоносного горизонта здесь не превышает 5 м²/сут. Коэффициент фильтрации глинистых сланцев при средней мощности трещиноватой зоны 25-30 м составляет 0,16-0,2 м/сут, т.е. глинистые сланцы для четвертичного водоносного горизонта пойменной террасы является водупором [94].

На участке ограждающей дамбы водовмещающими грунтами являются гравийно-галечниковые отложения. Пески и супеси здесь развиты лишь на отдельных участках и представлены небольшими маломощными линзами. Водоносный горизонт двухслойный с верхним суглинистым слоем мощностью до 3-5 м. Суглинки практически повсеместно обводнены, при этом статические уровни грунтовых вод суглинков совпадают с пьезометрическим (статическим) уровнем грунтовых вод гравийно-галечниковых отложений, образуя напорно-безнапорный горизонт подземных вод пойменной террасы.

Следует отметить, что длительная выборка гравийно-песчаной смеси из русла реки у г. Томска оказала заметное влияние на уровенный режим, так, отметка максимального паводкового уровня 1% обеспеченности в расчетном створе города

Томск (пристань) до 1962 г. составляла 80.71 м, а за период с 1962 по 2003 гг. стала 78.01 м, т.е. величина снижения максимального паводкового уровня составляет 2.7 м. Аналогическая ситуация наблюдается так же со среднегодовыми, минимальными, среднемаксимальными уровнями.

Геологические и инженерно-геологические процессы

Изучению основных закономерностей развития геологических процессов и различных аспектов их проявления на территории г. Томска посвящены работы А.А. Земцова (1970, 1972, 1976), Н.С. Евсеевой (1980, 1990), Т.Я. Емельяновой (1999), С.Б. Ершовой (1973, 1977), В.А. Льготина (1990), З.И. Ястремской (1980) и многих других.

В пределах города широким развитием пользуются различные неблагоприятные процессы и явления. К их числу относятся: суффозия, оползни, овраги, речная эрозия, заболачивание, морозное пучение, подтопление и другие [24, 90]. Широко распространены техногенные грунты (рис. 3.13).

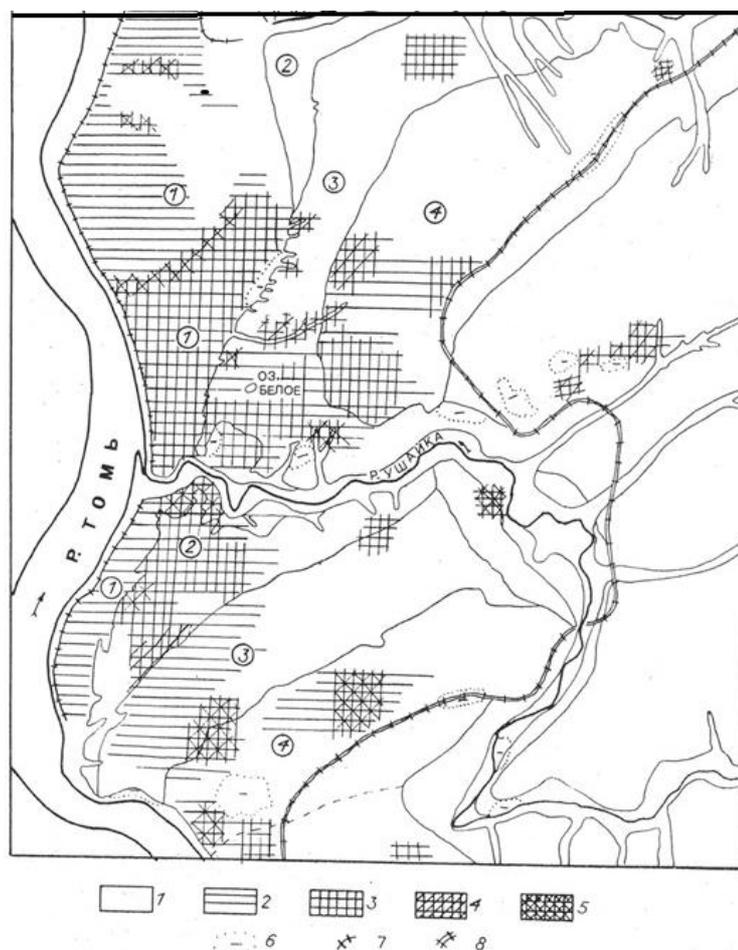


Рис. 3.13 Схема распространения техногенных отложений на территории г. Томска, [1992]. Условные обозначения: 1-5-мощность техногенных отложений в метрах: 1-0 м, 2-менее 2.0 м, 3- от 2 до 5 м, 4- от 5 до 7 м, 5- более 7.0 м; 6-понижения рельефа; 7-дамба; 8-железнодорожная насыпь. Цифры в кружках – номера террас.

Суффозионные процессы отмечаются на участках сосредоточенной разгрузки подземных вод в пределах долин р. Томи и Ушайки. В рельефе они выражены в виде суффозионных цирков с сосредоточенным выходом подземных вод.

Оползни имеют широкое развитие на территории г. Томска. Они приурочены к береговым склонам рек Томи и Ушайки. Основной причиной являются высота и крутизна склонов ($36-40^\circ$) их обводненность, подрезка, нагрузка, динамическое воздействие транспорта и др.

Речная эрозия наиболее активно проявляется в паводковый период.

Морозное пучение проявляется на переувлажненных участках с близким залеганием подземных вод и наличием пылевато-глинистых грунтов. Возникающие при глубоком сезонном промерзании нормальные и касательные силы морозного пучения способствуют деформации фундаментов и несущих конструкций сооружений.

Свойства горных пород

Характеристика свойств грунтов основания приводится по данным изысканий 2014 г. Участок сложен техногенными, аллювиальными, элювиальными и скальными грунтами. Изучена толща грунтов до глубины 21,0 м (рис. 3.14, 3.15).

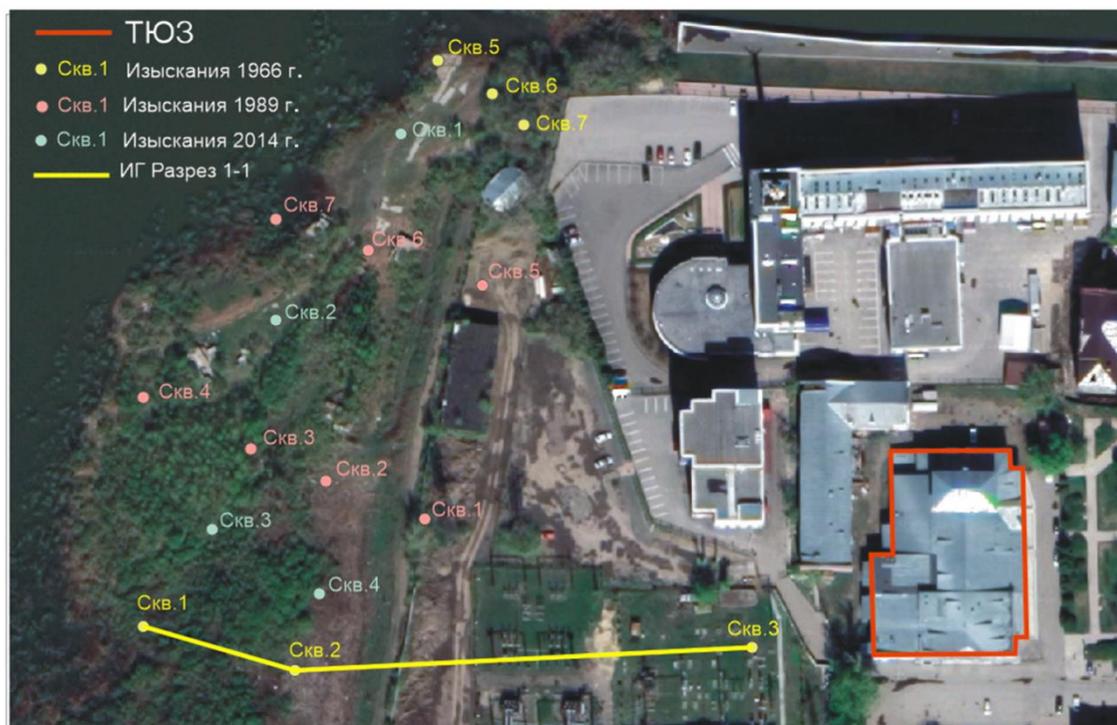
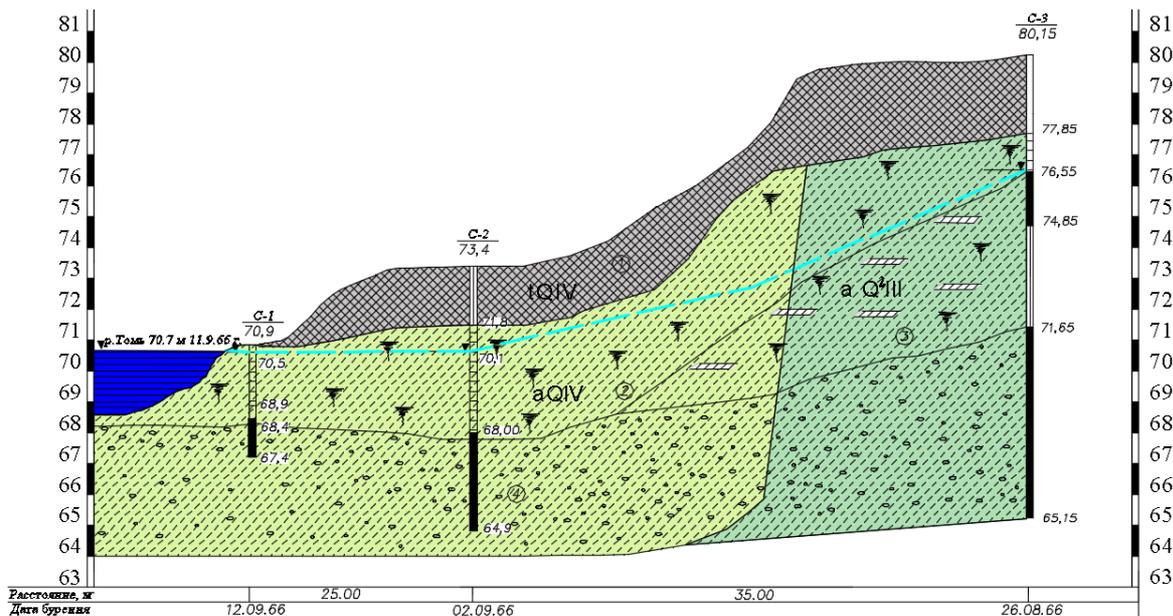


Рис. 3.14. Схема расположения скважин

По результатам полевых, лабораторных работ и последующей камеральной обработки в разрезе обследуемого участка выделено 5 инженерно-геологических элементов. Классификация грунтов принята по ГОСТ 25100-2011 г.



Условные обозначения:

- | | |
|--------------------------|---|
| tQIV | Техногенные четвертичные отложения:
ИГЭ 1 - насыпной грунт: суглинок полутвердый с содержанием гальки до 40% |
| aQIV | Озерно-аллювиальные четвертичные отложения:
ИГЭ 2 - супесь темно-серая, с большим содержанием органических веществ, сильно влажная
ИГЭ 3- супесь зеленовато-серая, пылеватая, с остатками органических веществ, полутвердая, с прослоями суглинка |
| aQ²III | Озерно-аллювиальные верхне-среднечетвертичные отложения:
ИГЭ 4- галечник мелкий с песчано-гравийным заполнителем, водонасыщенный |

Рис. 3.15. Инженерно-геологический разрез участка

Техногенные грунты (*t*) представлены гравийными грунтами (ИГЭ-1) влажными, с песчаным заполнителем до 40%, содержание фракции менее 2 мм колеблется от 12,3 до 49,3% при среднем значении 32,2%, удельное сцепление 3 кПа; угол внутреннего трения 36°; модуль деформации 43 МПа.

Скважинами 10 и 11, находящимися в 5 м на юго-запад и 7 м на северо-запад от здания, пробуренными в 1966 г. Институтом «Гипрокоммунстрой» в основании техногенных грунтов вскрыт слой навоза с плохо перегнившей соломой, древесиной, супесью, сильно влажный, мощностью 1,3 и 1,7 м соответственно. Биогенные отложения – сильноразложившийся навоз – мощностью до 2 м вскрыт также скважиной 8867, находящейся в 10 м на запад от здания, пробуренной в 1989 г. ТомскТИСИзом. Наличие этого слоя связано с историей участка в 18-19 веках, это была Конная площадь, где велась торговля лошадьми и размещалась извозчицья биржа.

Таблица 3.1. Данные разных лет о физико-механических свойствах грунтов участка

№ слоя	Глубина отбора проб, м	Описание грунтов	Влажность природная %	Число пластичности, %	Показатель текучести, д.ед.	Плотность ест. г/см ³	Коэффициент пористости, д.е.	Относит. содерж. орг. вещ.-ва, д.е.	Угол внутр трения, градус	Удельное сцепление, кПа	Модуль деформации, МПа
			W	I _p	I _L	ρ	e	I _r	φ	c	E
ОАО "Томгипротранс" 2014 г											
1	0.9-2.9	Гравийный грунт техногенный влажный с песчаным заполнителем до 40%	-	-	-	1.90	-	-	36	3	43
2	3,0-4,5	Суглинок аллювиальный легкий песчанистый тугопластичной консистенции с примесью органических веществ	24	11	0.30	1.96	0.73	0.096	22	33	12
3	4,5-6.6	Суглинок аллювиальный тяжелый пылеватый текучепластичной консистенции с примесью органических веществ	41	15	0.91	1.87	1.04	0.066	15	14	2.4
4	9.0-10.4	Щебенистый грунт элювиальный влажный с суглинистым заполнителем до 30%	22	9	0.56	2.22	0.49	-	35	5	40
«ТомскТИСИЗ» 1989 г.											
1	2.1	Суглинок мягкопластичный с примесью органических веществ	40	11	0.55	1.95	0.78	-	22	30	5
2	5.5	Супесь пластичная	30	6	0.66	1.94	0.72	-	23	23	8
3	7.5	Галечниковый грунт	-	-	-	-	-	-	38	-	30
4	10.5	Песчано-глинистые сланцы, выветрелые до суглинка тугопластичного с примесью органических веществ	32	9	0.37	1.98	0.68	-	22	35	11
Томск, ТПИ 1965 г.											
1	5.0	Суглинок с примесью органических веществ	31	12	0.70	-	0.78	-	14	17	32
2	8.3	Суглинок	26	10	0.80	-	0.71	-	10	21	78
3	9.2	Супесь лессовидная	20	5	0.80	-	0.72	-	19	15	41
4	12.0	Суглинок с примесью песка и органических веществ	25	12	0.50	-	0.78	-	16	38	71

Аллювиальные грунты (а): представлены глинистыми грунтами текучепластичной консистенции с содержанием органических веществ (ИГЭ-2) и гравийными грунтами (ИГЭ- 3).

ИГЭ-2 - суглинок аллювиальный текучепластичной консистенции с примесью органических веществ имеет ограниченное распространение, залегает с поверхности, мощность слоя колеблется от 1,5 до 6,0 м, характеризуется естественной влажностью от 27,9 до 51,0% при среднем значении 40,7%, плотность грунта естественного сложения от 1,79 до 2,06 г/см³, при среднем значении 1,87 г/см³, значение коэффициента пористости в пределах 0,97-1,0, при среднем значении 1,0. Содержание органического вещества от 0,03 до 0,095 д.е. при среднем значении 0,066 д.е., удельное сцепление 14 кПа; угол внутреннего трения 15°; модуль деформации 2,4 МПа. По степени морозной пучинистости, грунты относятся к чрезмернопучинистым.

ИГЭ-3. Гравийный грунт аллювиальный водонасыщенный с супесчаным заполнителем, характеризуется естественной влажностью от 23,5 до 33,2% при среднем значении 27,7%, содержание фракции менее 2 мм изменяется от 3,7 до 49,9% при среднем значении 30,6 %, удельное сцепление 3 кПа; угол внутреннего трения 36°; модуль деформации 46 МПа.

Элювиальные грунты (е): представлены тонко - и мелкообломочной зоной выветривания (ИГЭ-4). По ГОСТ 25100-2011 суглинок элювиальный легкий песчанистый полутвердой консистенции, имеет повсеместное распространение, пройденная мощность от 3 до 13 м. Характеризуется естественной влажностью от 17,0 до 31,3% при среднем значении 22,2%, плотностью грунта естественного сложения от 1,81 до 2,14 г/см³, при среднем значении 1,99 г/см³, значением коэффициента пористости в пределах 0,50-0,95, при среднем значении 0,63 д.е., удельное сцепление 30 кПа; угол внутреннего трения 23°; модуль деформации 17,6 МПа.

Скальные грунты: представлены глинистыми сланцами (ИГЭ-5) малопрочными, сильновыветрелыми, сильнотрещиноватыми, неразмягчаемыми. Они залегают в основании разреза, с поверхности перекрыты значительной мощностью аллювиальных и элювиальных отложений. Плотность грунта естественного сложения изменяется от 2,08 до 2,82 г/см³, при среднем значении 2,31 г/см³, предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии колеблется от 5,2 до 14,8 МПа, при среднем значении 9,9 МПа, коэффициент выветрелости изменяется от 0,48 до 0,79 при среднем значении 0,69.

3.3. Прожекторная мачта на Ванкорском нефтяном месторождении

Характеристика инженерного сооружения

Наблюдение за сложными техническими сооружениями при их эксплуатации является наиболее эффективным способом предотвращения аварийных ситуаций. Анализ отечественных и зарубежных [117,116,120,121,132,134] исследований показал, что в последние годы ведутся работы по разработке и усовершенствованию методов геотехнического мониторинга объектов. Объективная оценка технического состояния сооружения может быть получена при комплексировании методов по оценке геометрии объекта и метода конечных элементов (МКЭ) для выяснения причин деформаций, обусловленных инженерно-геологическими условиями участка.

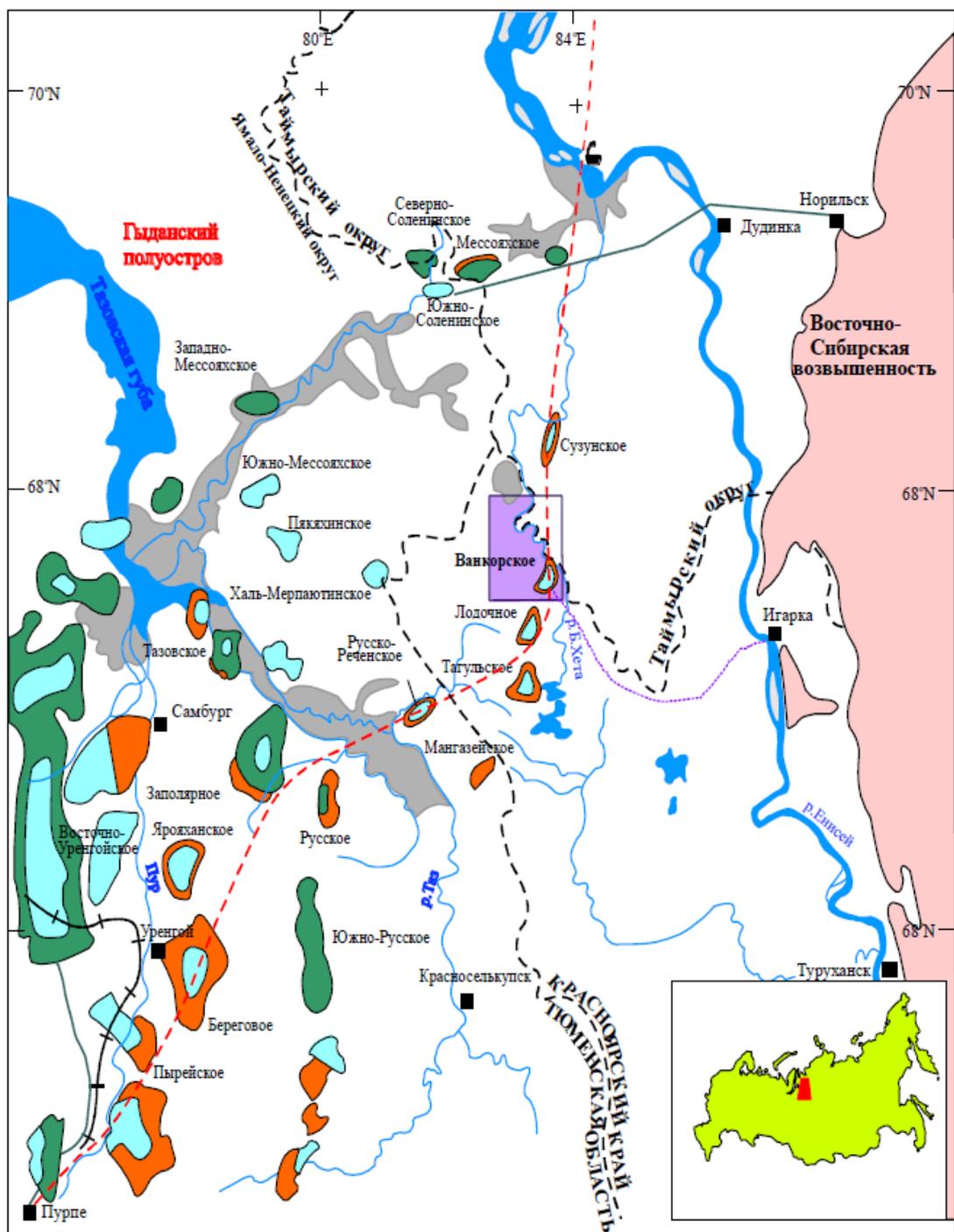
Цель работы: оценить напряженно-деформированное состояние грунтового основания сооружения и сравнить результаты численного моделирования с данными по деформациям объекта, полученными в ходе лазерного сканирования.

В качестве объекта для проведения технического контроля была выбрана прожекторная мачта на Ванкорском нефтегазовом месторождении, которое расположено в Туруханском районе Красноярского края (рис. 3.16), на водоразделе р. Большая Хета и р. Лодочная (рис. 3.17).

Характеристика инженерно-геологических условий

Территория Ванкорского месторождения в инженерно-геологическом отношении изучена довольно подробно в последние тридцать лет.

В геоморфологическом отношении территория принадлежит Нижнеенисейской низменности, представлена в основном моренной равниной ермаковского оледенения с абсолютными отметками поверхности земли 24-64 м. Характер рельефа здесь является типичным для краевых ледниковых областей. Его образование происходило во время отступления ледника (в его краевой зоне) в условиях длительной задержки и постепенного таяния. Также здесь повсеместно развит камовый рельеф и широкое распространение имеет Ангутихинская озерно-ледниковая равнина.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Болота		Лицензионная территория СП "Енисейнефть"
	Действующий газопровод		Сухой газ
	Проектируемый нефтепровод		Газовый конденсат
	Железная дорога		Нефть
	Зимняя дорога		

0 100 км

Рис. 3.16. Обзорная карта района месторождения [26]



Рис. 3.17. Снимок междуречья Большая Хета и р. Лодочная, район работ – обозначен красным контуром, масштаб 1:100000

Гидрографическая сеть района изысканий сформирована притоками р. Большая Хета (левый приток р. Енисей). Реки равнинные, с корытообразным поперечным профилем, часто меандрируют. Основными источниками питания рек служат дождевые и талые воды. Территория характеризуется значительной заозеренностью (10%). Преобладают (около 90%) мелководные и небольшие по размерам озера, площадь водного зеркала которых не превышает 1 км². Это в основном термокарстовые озера с глубиной 2-3 м, в зимний период они полностью промерзают. Некоторые озера соединены между собой ручьями, образующими единую озерно-речную систему. Протоки, соединяющие озера, также полностью промерзают зимой. Несквозные подозерные талики формируются чаще всего под озерами, глубина которых превышает 2 м.

В зависимости от размеров, возраста и генезиса озер, мощность подозерных таликов может достигать 50-70 м. Под водораздельными озерами глубиной до 10 м, мощность таликов составляет 15-20 м. В летний период обильных дождей и сезонного оттаивания многолетнемерзлых пород движение транспортных средств становится весьма затруднительным, а в некоторых случаях невозможным.

Климат района изысканий в значительной степени определяется его географическим положением в высоких широтах, близостью Арктического бассейна, влиянием арктических и атлантических воздушных масс, характером рельефа. Среднегодовая скорость ветра в исследуемом районе составляет 3-5 м/с, а максимальная скорость ветра может достигать 30 м/с.

Солнечная радиация является главным источником тепловой энергии для всех природных процессов. Ближайшая метеорологическая станция к району исследования, где проводятся наблюдения за характеристиками солнечной радиации – Игарка. Температура воздуха исследуемой территории имеет положительные значения с июня по сентябрь. Среднегодовая температура воздуха варьирует от -6,7 до -10,2 °С. Годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха составляет 43-44 °С. Продолжительность периода с отрицательными температурами составляет 225-255 дней. Самый холодный месяц в году – январь. Средняя температура воздуха в январе – -27--29 °С, наиболее теплого месяца – июля 14-17 °С.

Среднегодовое количество осадков в изучаемом районе составляет 480-540 мм, в холодный период года выпадает 260-330 мм, в теплый 200-260 мм. Среднегодовая относительная влажность воздуха в районе исследований составляет 75-78%, с максимумами в октябре и минимумами в июне – июле.

Снежный покров является важным промежуточным звеном в теплообмене грунтов с атмосферой, поэтому его влияние на *температурный* режим грунтов является наиболее значительным. Теплоизолирующий эффект снежного покрова зависит от режима его формирования, высоты, плотности и процессов, происходящих внутри снежной толщи. По многолетним наблюдениям на метеостанциях Игарка и Советская Речка, устойчивый снежный покров образуется в начале октября и сохраняется в течение 8-8,5 месяцев. Максимальная мощность составляет 60-70 см, причем наблюдается закономерное возрастание с запада на восток, где мощность снежного покрова на значительной территории превышает 80 см.

Геологическое строение. В геологическом отношении объект расположен на границе Сибирской и Западно-Сибирской платформ, под чехлом мезо-кайнозойских отложений (рис. 3.18). Осадочные отложения четвертичной системы, мощностью до 50-115 м, развиты повсеместно. В геологическом строении промышленной площадки представлены следующие комплексы: техногенных грунтов; верхнеплейстоценовых и голоценовых аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений (a, laQ_{III-IV}) и верхнеплейстоценовых моренных отложений (g, f, lgQ_{III}) ермаковской свиты.

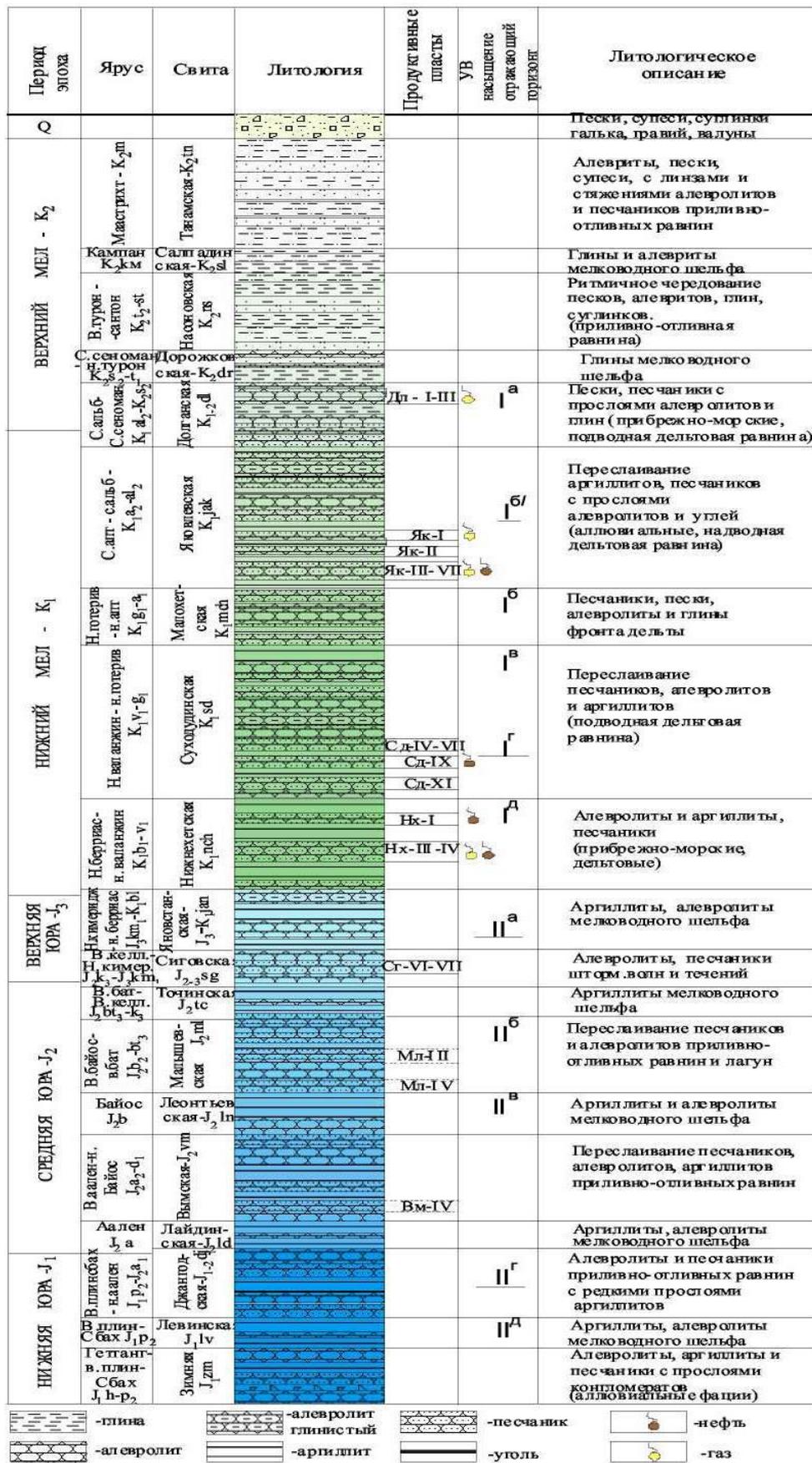


Рис. 3.18. Сводный литолого-стратиграфический разрез отложений Ванкорского месторождения [18]

Комплекс техногенных грунтов распространен на глубину 5,5 м. Техногенный грунт отсыпан мелкозернистым пылеватым серым песком.

Верхнеплейстоценовые и голоценовые аллювиальные и озерно-аллювиальные отложения (a,laQш-IV) приурочены, как правило, к озерно-болотным котловинам, долинам рек, межозерным пространствам. В районе исследований имеют мощность до 20,9 метров и залегают на отложениях ермаковской свиты. Представлены суглинками и супесями серыми с примесями торфа (рис. 3.19, 3.20).



Рис. 3.19. Фрагмент карты четвертичных отложений [18]

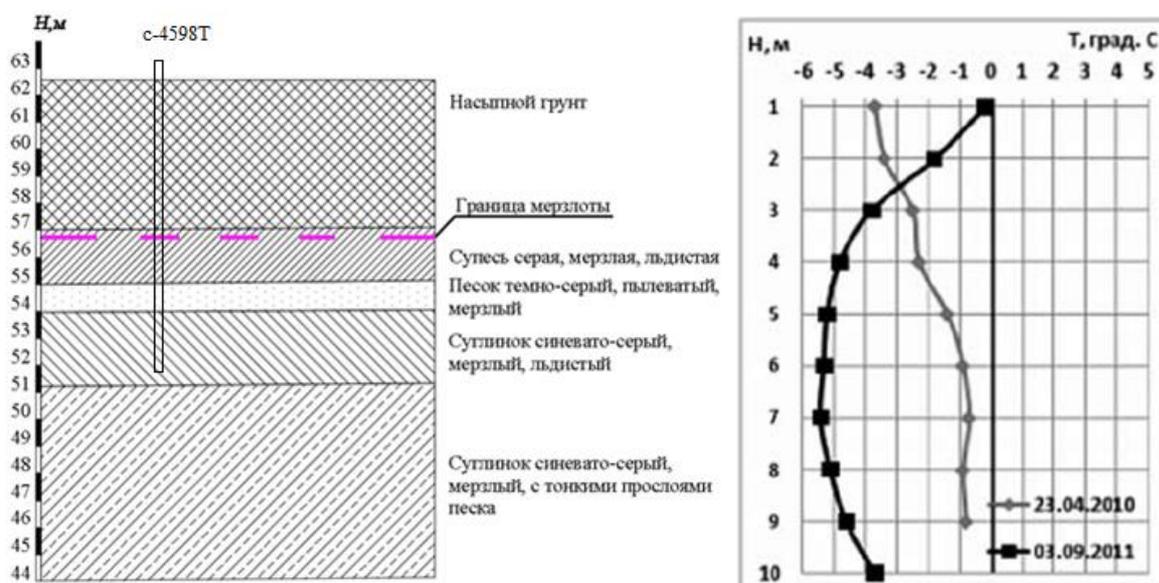


Рис. 3.20. Геологический разрез скв. 4598 и температура грунтов в термометрической трубе на объекте КО-3 [9]

Отложения ермаковской свиты развиты практически повсеместно, являясь рельефообразующими. Состав пород преимущественно супесчано-суглинистый, с включениями гравия, гальки и валунов, с прослоями и отдельными линзами песков от

пылеватых до мелких. Отложения верхней части ермаковской свиты слагают наиболее высокие водораздельные поверхности. Мощность свиты до 60 м.

Геокриологические условия. Рассматриваемая территория принадлежит к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которых по данным бурения промысловых и разведочных скважин составляет 450-480 м. Несквозные талики прослеживаются только под наиболее крупными озерами и реками. В прирусловых частях крупных рек долинного комплекса характерны минимальные мощности ММП – до 50 м. В поймах более мелких водотоков мощность их увеличивается до 100-150 м. Среднегодовая температура мерзлых пород, на подошве слоя годовых колебаний, от $-1,5$ до $-2,5^{\circ}\text{C}$. Во всех отрицательных формах рельефа, в которых зимой накапливается мощный снежный покров, наблюдаются таликовые участки, в основном, инфильтрационного типа. Мощность их, как правило, не превышает 2-6 м. Для сохранения грунтов в мерзлом состоянии используются термостабилизаторы систем «ГЕТ» и «ВЕТ» [9] (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Устройство термостабилизаторов на месторождении [9]

Гидрогеологические условия. В гидрогеологическом отношении Ванкорское месторождение приурочено к краевой части северо-восточной зоны Западно-Сибирского артезианского бассейна, в разрезе которого выделяются несколько водоносных комплексов. Гидрогеологические комплексы объединены в два гидрогеологических этажа. Глинистые породы дорожковской свиты рассматриваются как региональный туронский флюидоупор, разделяющий проницаемые горизонты верхнего и нижнего гидрогеологических этажей, мощность которой в пределах месторождения составляет 150 м.

В нижнем гидрогеологическом этаже выделяют три водоносных комплекса: юрский, неокомский и апт-альб-сеноманский. Для Ванкорского месторождения

характерно сложное изменение минерализации с глубиной. Пласты апт-альб-сеноманского комплекса содержат воды преимущественно хлоридно-кальциевого типа по В.А. Сулину, а верхнего мела и неокомского комплекса – гидрокарбонатно-натриевого типа.

Верхний гидрогеологический этаж образован двумя гидрогеологическими комплексами. Его гидрогеологические условия в большей степени предопределяются наличием в районе мощной толщи многолетнемерзлых пород (ММП), исключивших из водообмена значительную часть подземных вод. Первый гидрогеологический комплекс составляют отложения дорожковской, насоновской, салпадинской и танамской свит позднемелового возраста. Второй гидрогеологический комплекс представлен терригенными песчано-алевритистыми и глинистыми отложениями четвертичного возраста мощностью до 93 м.

На рассматриваемой территории выделяются надмерзлотные воды, воды сквозных таликов, межмерзлотные (внутримерзлотные) воды и подмерзлотные воды.

Надмерзлотные воды. Этот класс подземных вод включает в себя воды сезонно-талого слоя (СТС) и воды надмерзлотных (несквозных) таликов. Нижним водоупором этих вод является толща многолетнемерзлых пород. Мощность СТС изменяется от 1 м до 4 м. Химический состав вод СТС близок к составу поверхностных вод и атмосферных остатков: это воды ультрапресные, гидрокарбонатные или сульфатно-гидрокарбонатные, магниевые или кальциевые. Их минерализация изменяется в пределах от 0,05 до 0,2-0,4 г/л. Воды надмерзлотных (несквозных) таликов гораздо менее распространены. Эти воды, как правило, относятся к гидрокарбонатному кальциевому, магниевому или натриевому типам. Воды пресные, их минерализация составляет 0,1-1,0 г/л. Водоносные комплексы надмерзлотных таликов не имеют существенного значения для водоснабжения, но иногда используются для временного водоснабжения небольших объектов.

Воды сквозных таликов приурочены к долинам крупных водотоков и котловинам наиболее крупных озер, а также к зонам отдельных тектонических нарушений. Как правило, эти воды гидрокарбонатные, кальциевые или магниевые, пресные с минерализацией до 1 г/л. Данный водоносный комплекс является основным потенциальным источником вод для хозяйственнопитьевого водоснабжения в силу их высокой водообильности и качества подземных вод.

Подмерзлотные воды, залегающие ниже подошвы многолетнемерзлых пород, характеризуется повсеместным распространением и включает в себя ряд водоносных

комплексов, характеризующихся единством условий питания, фильтрации и разгрузки, но приуроченным к различным водовмещающим породам с соответствующими значениями коэффициента фильтрации и имеющих различный химический состав и минерализацию. По классификации В.А. Сулина воды, в основном, относятся к гидрокарбонатно-натриевому типу, с минерализацией до 3,9 г/л.

Геологические и инженерно-геологические процессы. По карте ОСР-97-В (5%-ная вероятность возможного превышения в течение 50 лет указанных на карте значений сейсмической интенсивности) – сейсмичность района менее 5 баллов.

К самым распространенным криогенным процессам, развитым на территории относятся криогенное пучение; термокарст и солифлюкция.

Процесс криогенного пучения характеризуется поднятием поверхности почвы и породы, вызванного увеличением их объема при промерзании. В результате криогенного пучения возникают бугры пучения, размером от метра и более. Необходимо отметить, что к криогенному пучению относятся процессы сезонного (для СТС) и многолетнего (для ММП) пучения. Наиболее значимо – многолетнее пучение, которое приводит к поднятию отдельных участков (площадное пучение) на 0,4-0,8 м. В инженерно-геологическом отношении эта форма морозного пучения наиболее значима. Так же для СТС широко развито образование пятен-медальонов вследствие выпучивания мелкообломочного материала при сезонном промерзании грунта.

Процессы термокарста развиваются по льдистым отложениям и четко проявляются в формировании отрицательных форм рельефа.

На изучаемой территории развитие солифлюкционных процессов характерно для СТС, распространенными до глубины 1,0 м. Отмечено вязкое / вязкопластичное течение оттаявшего грунта СТС по поверхности ММП на склонах. Благоприятствуют развитию солифлюкции здесь геоморфологические и литологические условия. Для предотвращения солифлюкции необходим, прежде всего, организованный отвод вод в сезон таяния с близлежащих склонов.

Широко распространенное в породах СТС морозобойное растрескивание определяет формирование полигонально-блочного рельефа.

Мощность сезонноталого слоя величина непостоянная, зависящая от климатического фактора. Изменчивость величины сезонного протаивания в разные годы, в связи с климатическими колебаниями, достигает 10-30%. В суглинках величины сезонного оттаивания составляют 0,7-1,1 м, в супесях и песках до 1,5-2,0 м.

При освоении территории рекомендуются мероприятия, направленные на предотвращение активизации процессов термокарста и морозного пучения (замена грунта на непучинистый, удаление влаги из грунта, удаление грунта)

Техногенное воздействие. Следует отметить, что на промплощадке к наиболее негативным свойствам грунтов, следует отнести предрасположенность связных грунтов к проявлению тиксотропии. Данное свойство провоцируется динамическим воздействием на грунты (проезд транспорта, особенно гусеничного, работа вибрационных механизмов и т.п.), когда нарушаются критические расстояния между частицами, следствием чего является переход связанной воды в свободную форму, грунт разжижается, теряя свою структурную прочность. Результатом динамических воздействий на приповерхностные грунты является повышение уровня оттаивания СТС осваиваемой территории. Техногенное воздействие на рассматриваемый участок постепенно возрастает, что обусловлено расширением обустройства Ванкорского месторождения.

3.4. Выводы по главе 3.

По первому объекту. В геоморфологическом отношении рельеф региона характеризуется горным рельефом. До исследованной глубины 12,0м принимают участие сверху – четвертичные отложения аллювиального генезиса, ниже – архейские и протерозойские породы, представленные кристаллическими сланцами, мраморизованными известняками и алевролитами. Грунтовые воды были встречены на глубине 4,3-5,0 м. Природные физико-геологические процессы на исследуемой площадке возможны в связи с крутизной склонов более 15°, есть возможность образование осыпей, обвалов, грунты разреза непучинистые, ненабухающие, непросадочные, незасоленные.

По второму объекту. В геоморфологическом отношении площадка находится в пределах первой надпойменной террасы р. Томи. В литологическом отношении разрез представлен трехслойной толщей. Верхний слой представлен техногенными грунтами площадной отсыпки мощностью 3,5 м. Средний слой сложен глинистыми грунтами, при средней мощности 6-7 м, с примесью органических веществ имеет ограниченное распространение. Третий слой представлен гравийно-галечниковым грунтом с преимущественно песчаным заполнителем. Мощность слоя до 11-17 м. Водоносный горизонт двухслойный с верхним суглинистым слоем мощностью до 3-5 м. В пределах города Томска широким развитием пользуются различные неблагоприятные процессы

и явления. К их числу относятся: суффозия, оползни, овраги, речная эрозия, заболачивание, морозное пучение, подтопление и другие.

По третьему объекту. В геоморфологическом отношении территория принадлежит Нижнеенисейской низменности, представлена моренной равниной ермаковского оледенения с абсолютными отметками поверхности земли порядка 60 м. В геологическом отношении Ванкорское месторождение расположен на границе Сибирской и Западно-Сибирской платформ, под чехлом мезо-кайнозойских отложений. Осадочные отложения четвертичной системы, мощностью до 70 м, развиты повсеместно. В разрезе четвертичные отложения представлены, как правило, грунтами озерно-аллювиального и ледникового генезиса. Геокриологические условия. Рассматриваемая территория принадлежит к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которых по данным бурения промысловых и разведочных скважин составляет 450...480 м. Геологический разрез площадки изучен на глубину 18 м и представлен 5 инженерно-геологическими элементами. Первым от поверхности залегает насыпной песок, мощностью 5,5 м, ниже которого залегает супесь, мерзлая, льдистая, мощностью до 2 м. Под супесью залегает песок пылеватый, мерзлый, слабольдистый, мощностью 1 м. Ниже песка залегает суглинок, мерзлый, льдистый, мощностью 2,5 м. Ниже залегает суглинок мерзлый, слабольдистый, с тонкими прослоями песка и включениями гальки до 5%. Граница сезонно-талого слоя находится на глубине 6 м от поверхности земли.

Изучая инженерно-геологические условия участков можно предположить, что деформации сооружений обусловлены сжимаемостью грунтов основания, хотя следует учесть специфические черты грунтов, так, например, деформации здания могут быть связаны с ползучестью органоминеральных грунтов мощностью до 2 м; мачты - высокой сжимаемостью грунтов сезонно-талого слоя, ползучестью многолетнемерзлых пород в длительной перспективе и изменениями механических свойств грунтов при изменении их температурного режима.

Моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового основания позволит оценить вклад грунтовых условий в деформации инженерных сооружений. Для верификации расчетов прежде необходимо оценить фактические перемещения конструкции в пространстве. Их определение представлено ниже.

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

4.1. Сканирование виадука

«Центром лазерных технологий» при кафедре ЛИСТ ИФВТ ТПУ был проведен комплекс работ по съемке Козинского виадука в 2012 г. Целью работы являлось получение массива данных, создание комплекса обмерочных чертежей, фиксация крупных дефектов (трещин, смещений, разрушений, повреждений) несущих и ограждающих конструкций, разработка твердотельной трехмерной модели виадука. Наземное лазерное сканирование объекта проводилось Leica Scanstation C10 в светлое время суток и заняло 2 рабочих дня. Съемка проводилась методом тахеометрического хода в два этапа: под мостом по несколько станций на каждый пролет и по мосту. Всего было создано 33 точки установки сканера. На каждой станции измерения выполнялись в течение 5–7 минут.

Перед началом съемки было произведено планово-высотное обоснование и привязка пунктов обоснования к местной системе координат с использованием электронного тахеометра LEICA TS15 и GNSS приемника LEICA GS10, а также определены на местности наиболее оптимальные места для станций сканера, чтобы конечное облако точек содержало наиболее полную информацию обо всех конструктивах моста.

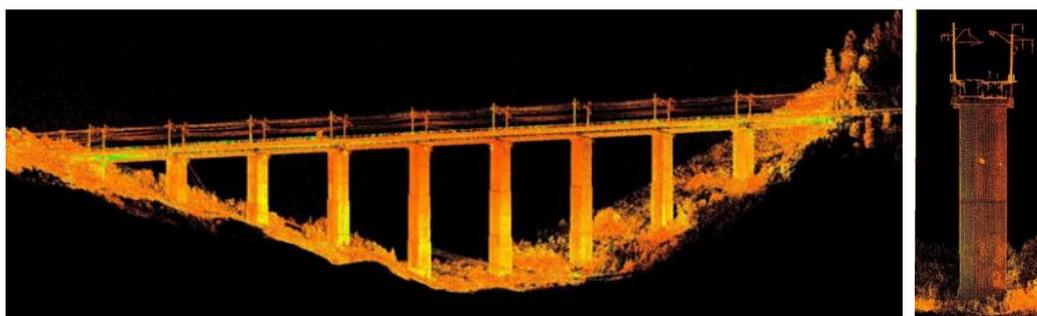


Рис. 4.1. Исходные данные в виде облака точек

Результатом наземного лазерного сканирования является массив точек (рис. 4.4), где каждая точка имеет координаты положения в пространстве и интенсивность.

Камеральная обработка результатов сканирования заняла 1 неделю и состояла из следующих этапов:

1. Уравнивание в системе координат, определение оценки точности измерений и сшивка в единое облако точек данных, полученных в результате сканирования с

каждой станции. Обработка массива точек от «шумов» и элементов, не несущих в себе сведений об объекте, в программном комплексе Leica Cyclone 8.0. Общий объем начальной информации, полученной по данным лазерно-сканирующей съемки, составлял облако в 500 млн. точек, после удаления лишней информации размер общего скана сократился до 400 млн. точек. Среднеквадратическая погрешность «сшивки» всех полученных «облаков точек» в единую систему координат составила 4 мм.

2. Детальное трехмерное моделирование объекта в программном комплексе SolidWorks, формирование информационной базы элементов объекта. Каждый элемент: колонны, опоры, пролеты, ограждение и т.д. строились методом точного встраивания в облако точек, благодаря чему были получены точные твердотельные копии реальных объектов. Однако, ввиду того, что лазерный сканер не может производить съемку объектов, которые скрыты за препятствиями, некоторая часть внутренних конструкций моста была построена по проектным документам. Построенные элементы собирались в общую сборку с жесткой привязкой элементов друг к другу в соответствии с реальным их положением друг относительно друга

В результате, полученная трехмерная твердотельная модель (рис. 4.2) является точной копией сооружения [102].

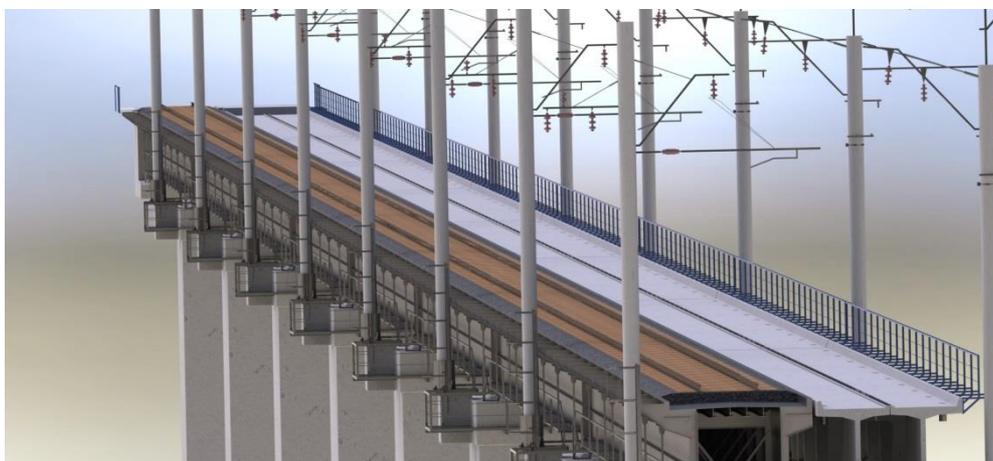


Рис. 4.2. Трехмерная модель моста

Высокая точность модели 5-10 мм позволяет произвести замер геометрических параметров любого элемента в модели и сделать разрез или сечение в любом месте; построить в автоматическом режиме двумерный чертеж любого элемента, либо части модели, либо модели в целом; произвести анализ текущего состояния сооружения, а также прочностной расчет в специализированных программах; создать информационную систему конструкций с необходимыми чертежами и спецификацией,

выявить отклонения от проектной документации; нарушения и анализ опор на вертикальность.

На основе трехмерной модели в автоматическом режиме построены обмерочные чертежи моста (рис. 4.3) с нанесением размеров и дефектов конструкций [117]. На основе результатов сканирования построен также топографический план участка 500 масштаба.

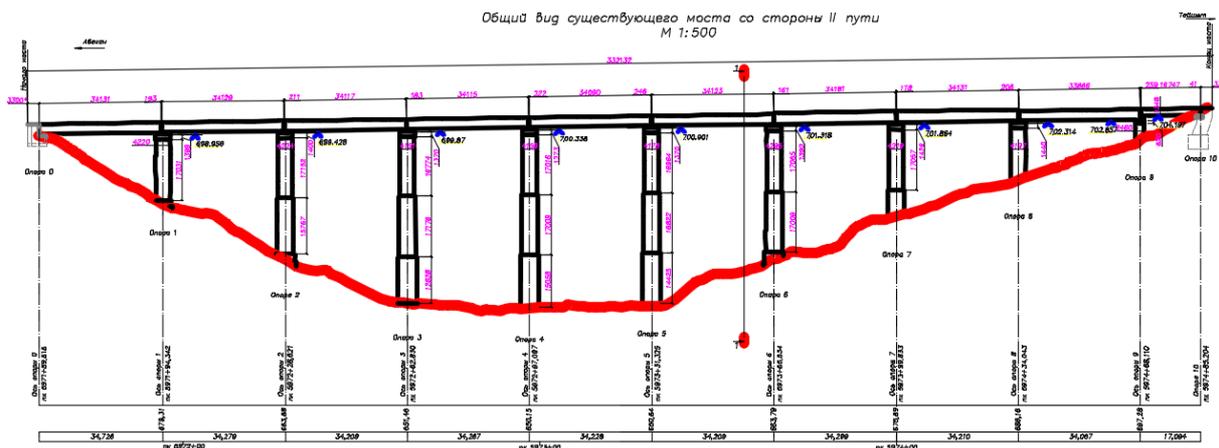


Рис. 4.3. Обмерочный чертеж модели

Значительные отклонения от проектного положения наблюдаются у одной опоры сооружения, для которой нами выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива методом конечных элементов в декабре 2016 г.

4.2. Сканирование исторического здания г. Томск

«Центром лазерных технологий» при кафедре ЛИСТ ИФВТ ТПУ был проведен комплекс работ по съемке объекта в 2012 и 2017 годах. Целью работы являлось получение массива данных, создание комплекса обмерочных чертежей, фиксация крупных дефектов (трещин, смещений, разрушений, повреждений) несущих и ограждающих конструкций. Наземное лазерное сканирование объекта проводилось Leica Scanstation C10. Данный сканер позволяет снимать до 50 тысяч точек в секунду на расстоянии до 300 метров с максимальной погрешностью до 2 мм на 50 м.

Сканирование здания проводилось с 7 станций, данные с которых шивались в единое облако точек в программном комплексе Cyclone(рис.4.4). Взаимное перекрытие облаков точек позволило с высокой точностью сшить данные сканирования. Также на каждой точке стояния лазерного сканера проводилась фотофиксация для дальнейшего

создания сферических панорам, а также «раскрашивания» облака точек в реальные цвета.

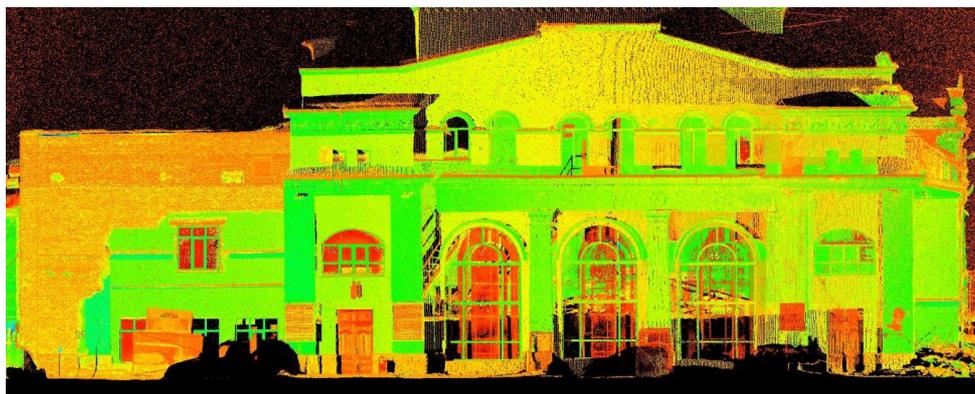


Рис. 4.4. Исходные данные в виде облака точек

После создания единого облака точек объекта выбиралась условная «нулевая» точка отсчета координат (0, 0, 0) для данного объекта. Условием определения направления осей точки отсчета являлось совпадение оси X и всех начальных («нулевых») пикетов направляющих осей, по которым велись наблюдения. Набор точек направляющей оси проводился через 10 см на высоту 6 м в результате построения секущей плоскости, перпендикулярной направлению оси (рис.4.5). Полученный набор точек экспортировался в программу MS Excel для построения графиков геометрических параметров направляющей оси стены.



Рис. 4.5. Направляющая ось и схема точек

Выполнение деформационного мониторинга сооружения при помощи наземного лазерного сканирования позволяет выявить деформации по заданным плоскостям, что недоступно для традиционных методов наблюдения. Путем сравнения отсканированной модели здания с проектными или условно эталонными плоскостями

можно получить отклонения каждой внешней стены или здания в целом от исходной формы.

В данном исследовании для оценки деформаций здания был применен метод проекций стен на вертикальные плоскости. На графиках (рис. 4.6). отчетливо видно два вида деформаций: смещение стен здания относительно друг друга, кроме этого каждая стена обладает собственной кривизной.

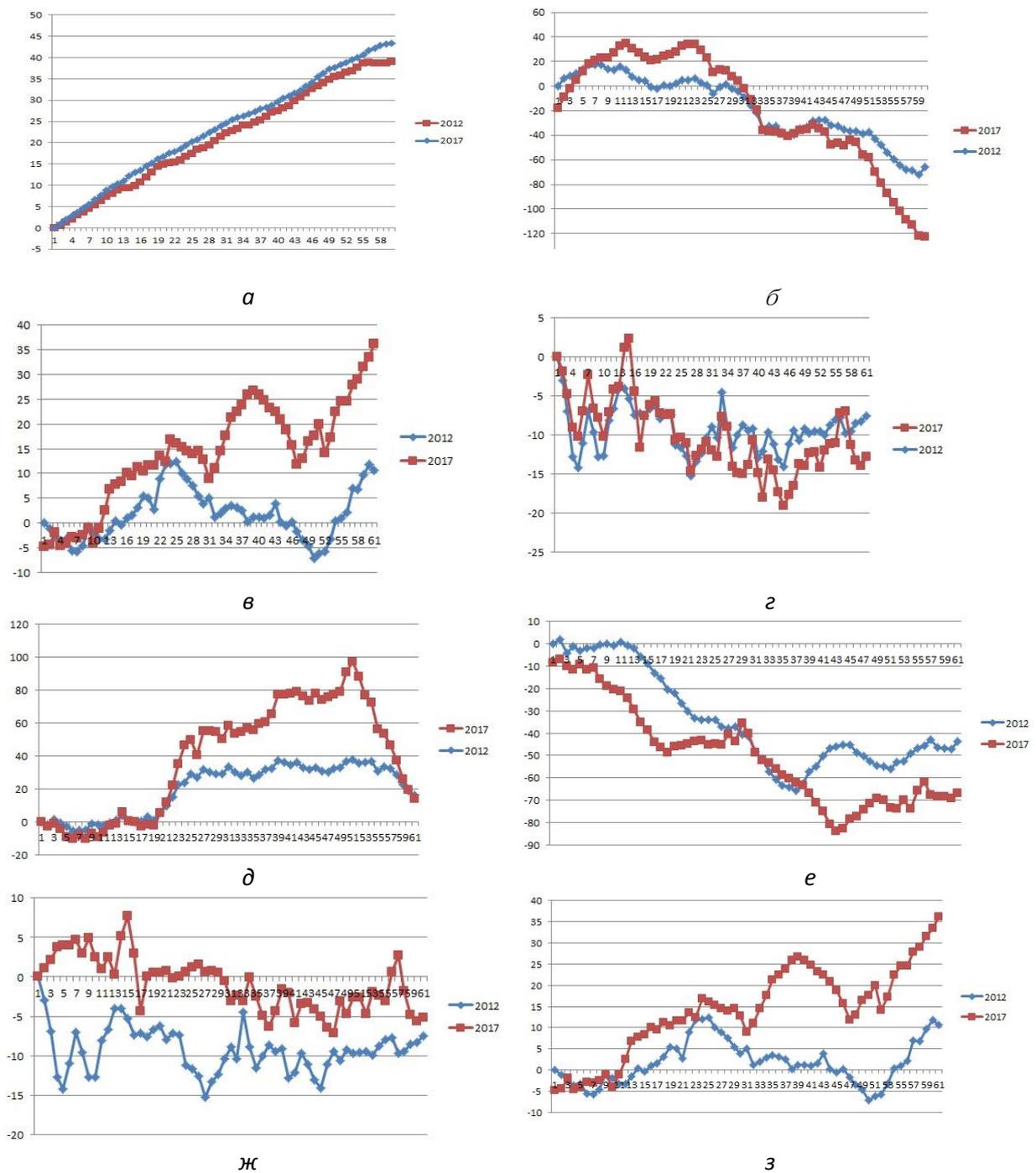


Рис. 4.6. Отклонения в плане и по вертикали углов: I (а и б); II(в и г); III(д и е); IV (ж и з)

В программном комплексе Cyclone с помощью компьютерного моделирования в облако точек здания по четырем углам были вписаны условные направляющие, по которым определялись отклонения углов здания в 2012 и 2017 годах [27]. Максимальные отклонения от вертикали наблюдаются в углах: I – 72 мм и III – 84 мм, в частности, за последние 5 лет 40 и 37 мм соответственно.

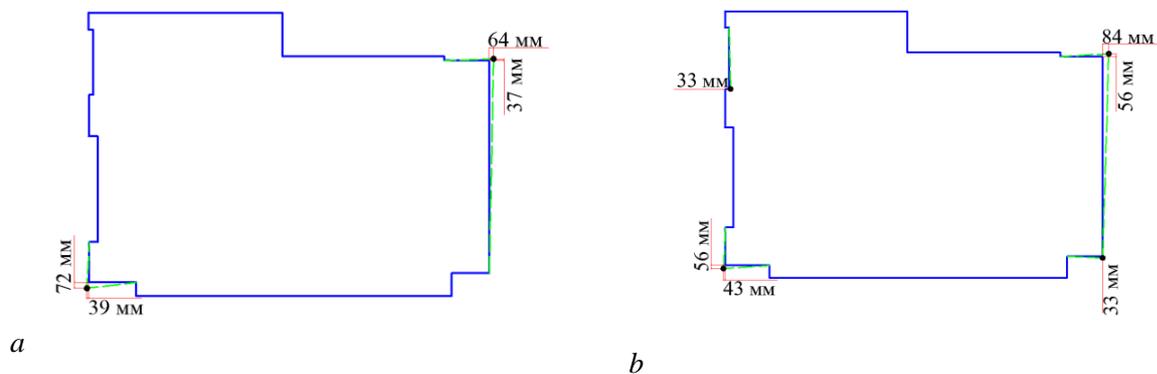


Рис. 4.7. Отклонения углов здания от вертикали: а) 2012 г., б) 2017 г.

На основе трехмерной модели построены обмерочные чертежи здания с нанесением размеров и дефектов конструкций (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Трещины фасадов: главного в году: а) 2012, б) 2017 и северного: в) 2012; г) 2017.

С целью оценить вклад грунтовых условий в деформации наземной части конструкции выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива методом конечных элементов в ноябре 2017 г.

4.3. Сканирование прожекторной мачты

Одной из самых прогрессивных универсальных технологий по оценке геометрии высотных объектов является наземное лазерное сканирование (НЛС). Преимущества использования наземного лазерного сканирования по сравнению с традиционными методами наблюдения определяются высокой точностью геометрических параметров до 4 мм; скоростью съемки до 60000 точек в секунду; низкой себестоимостью работ до 40% ниже, чем при традиционной геодезической съемке [25,26,117]. Полевые работы выполнялись лазерным сканером Leica ScanStation C10.

Процесс контроля геометрии мачты на Ванкорском месторождении можно разделить на два этапа: 1) полевые работы: получение первоначальных геометрических параметров мачты – облако точек (рис.4.9); 2) камеральные работы: обработка полученных материалов полевых работ.

Определение оси мачты проводилось следующим образом. Через каждые 2 метра и на стыках секций производились поперечные сечения облака точек мачты. Затем в получившийся разрез вписывался многоугольник, центр которого совпадает с осью мачты. Полученные центры затем соединялись линией, образуя ось мачты. Важно уточнить, что на стыках секций делалось два разреза – нижней и верхней секции, в результате чего были получены корректные оси для каждой секции отдельно.

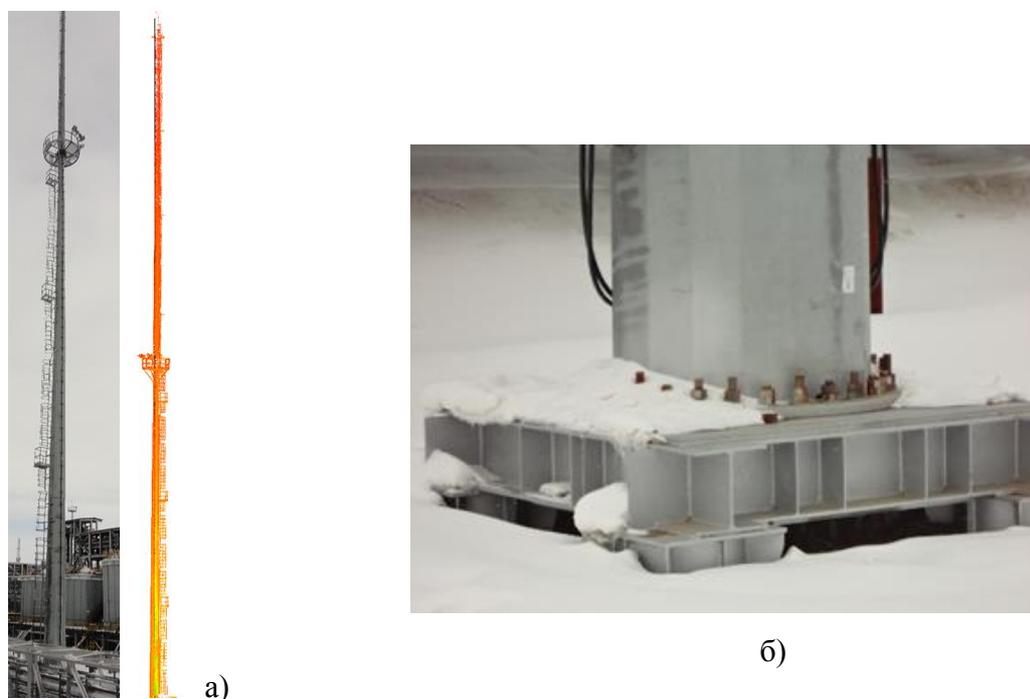


Рис.4.9. Прожекторная мачта, (а) – фотография и результат лазерного сканирования - облако точек с проектной осью, (б) основание мачты

Полученный набор сечений и ось показывают отклонение осей секций друг от друга не только в местах соединений, но и искажение геометрии мачты по всей длине секции. Дальнейшая обработка результатов и измерение геометрических характеристик мачты производилась с помощью AutoCAD.

Данные по мачте М4 (BC-40-BOx16-III+МЛ-41Ф)

1. Обследование зон стяжек

За нулевой уровень мачты принята верхняя поверхность присоединительного фланца на секции СВВ40-5. Вертикальная ось строилась строго вертикально из центра начала этой же секции. По результатам сканирования мачты М4 измерялась длина видимой части каждой секции (L) (рис. 4.10).

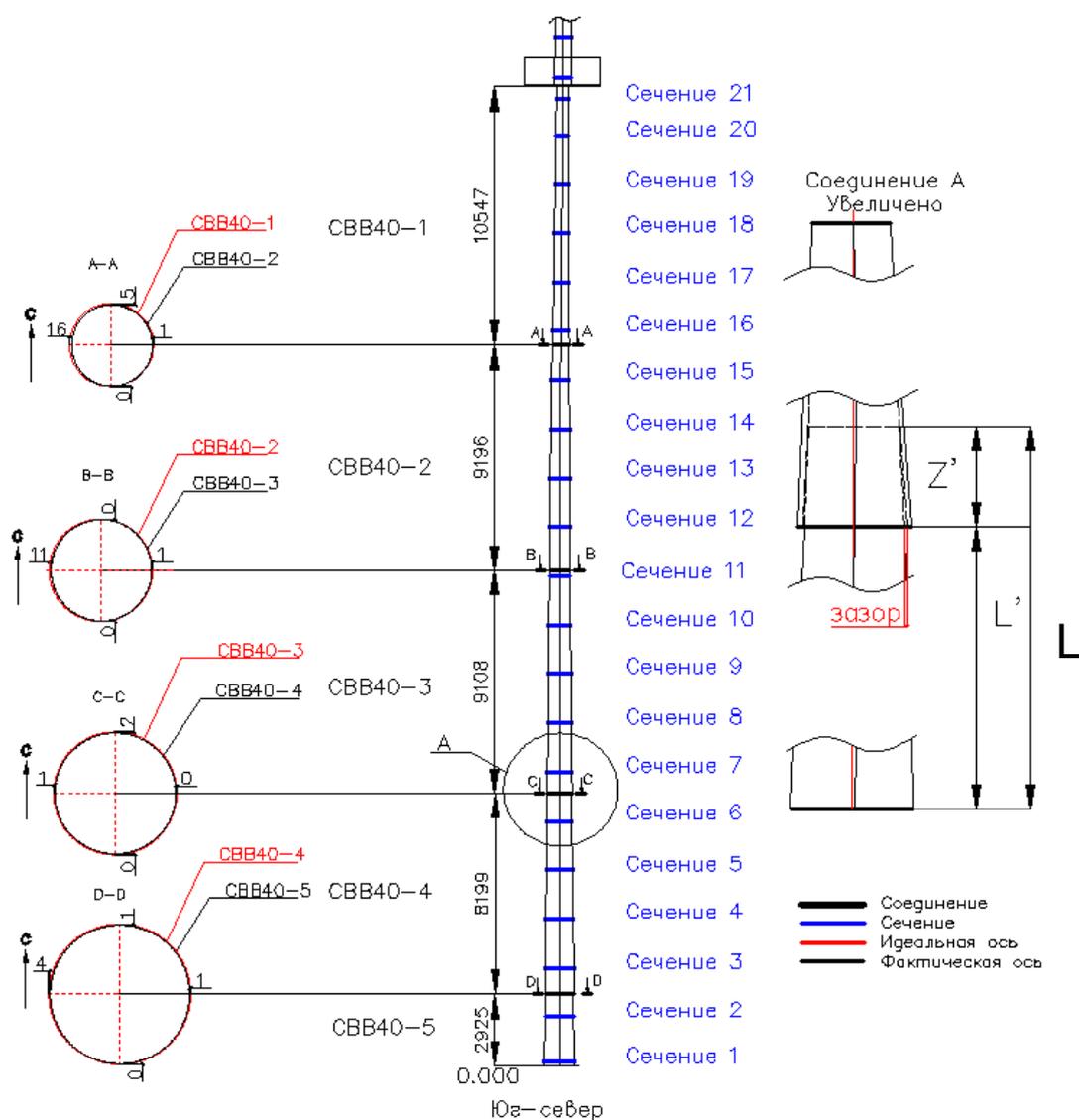


Рис. 4.10. Общий вид мачты М4 в проекции.

Таблица 4.3. Размеры секций и зон стяжек.

Секция	L'	Z ± 100 мм	L	Z'
СВВ40-5	5000	2100	2925	2075
СВВ40-4	10100	1800	8199	1901
СВВ40-3	10500	1500	9108	1392
СВВ40-2	10500	1200	9196	1304
СВВ40-1	10500	-	10547	-

где L' - общая проектная длина секции, L - длина видимой части секции, Z - проектная зона стяжки, Z' - расчетная зона стяжки.

По данным проектной длины секций (L') были подсчитаны длины зон стяжек между секциями (Z'). По результатам сравнения полученных данных с проектными величинами (Z) можно сделать вывод о соблюдении допуска (± 100 мм) размеров зон стяжек.

2. Обследование общего отклонения мачты

На основе измерений составлены две диаграммы отклонения существующий оси от вертикальной оси мачты в направлениях запад-восток и юг-север (рис.4.11). Также показано направление итогового отклонения мачты при виде сверху (рис.4.12).

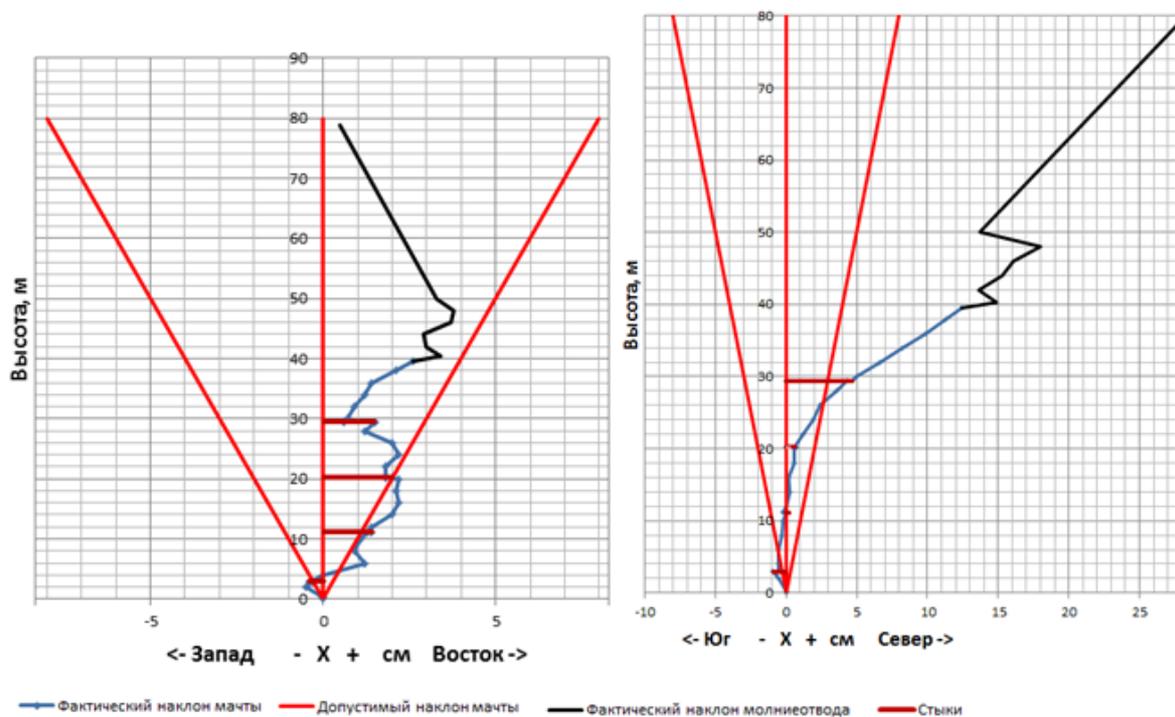


Рис. 4.11. Отклонение мачты и молниеотвода в направлениях запад-восток и юг-север

Из диаграмм следует, что отклонение вершины мачты на восток – 2,6 см; на север – 12,4 см. Отклонение вершины молниеотвода на восток ~ 2,1 см, на север ~ 15,3 см. Из

диаграмм также следует, что наклон мачты происходит не только в местах соединения секций, но и по всей длине одной секции.

Итоговое отклонение от вертикальной оси составило: для вершины мачты **12,7 см**, для вершины молниеотвода **15,4 см**. Общее отклонение от вертикальной оси мачты с молниеотводом составило **27,7 см** (рис.4.29).



Рис. 4.12. Направление отклонения мачты и молниеотвода

3. Обследование зазоров зон стяжек

В местах соединения секций (через нижний край верхней секции) производился поперечный разрез мачты в горизонтальной плоскости. Полученные разрезы отображены на рис. 4.13.

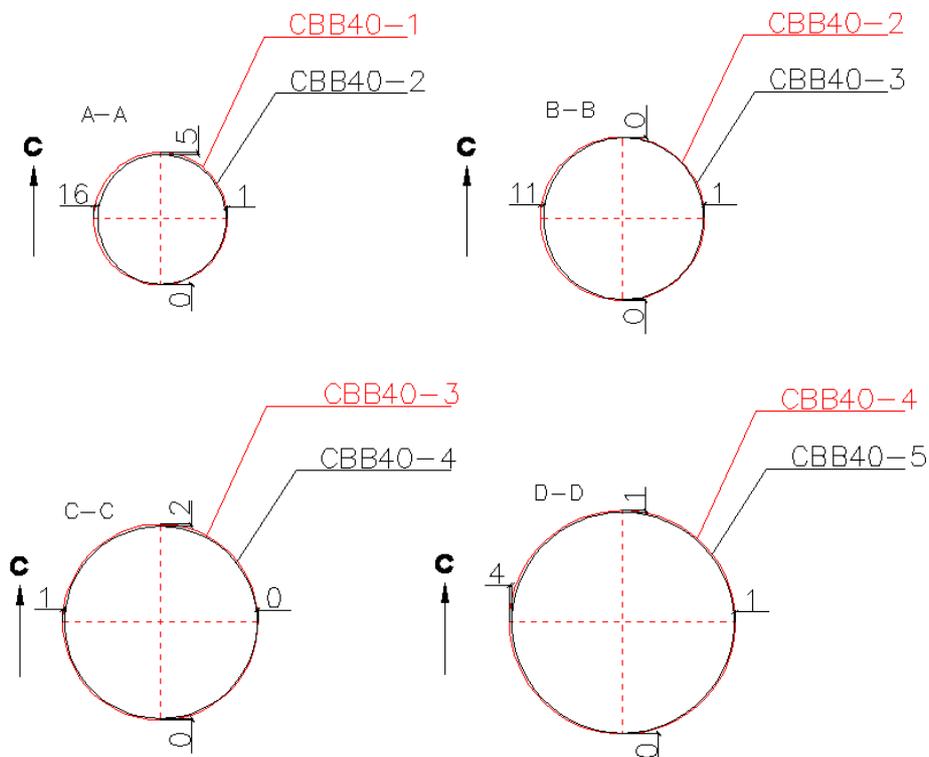


Рис. 4.13. Зазоры в местах соединений секций

Подсчитаны зазоры между внешней поверхностью нижней секции (черный многоугольник) и внутренней поверхностью верхней секции (красный многоугольник) в четырех направлениях. Полученные данные предоставлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Зазоры в местах соединений секций.

Соединения секций	Зазор, мм			
	Запад	Восток	Север	Юг
СВВ40-1+СВВ40-2	16	1	5	0
СВВ40-2+СВВ40-3	11	1	0	0
СВВ40-3+СВВ40-4	1	0	2	0
СВВ40-4+СВВ40-5	4	1	1	0

4. Обследование кривизны секций

Исследование кривизны стенок каждой секции проводилось следующим образом. Соединялись края каждой секции (черные горизонтальные линии на рис. 4.14) прямыми линиями (зеленые наклонные линии).

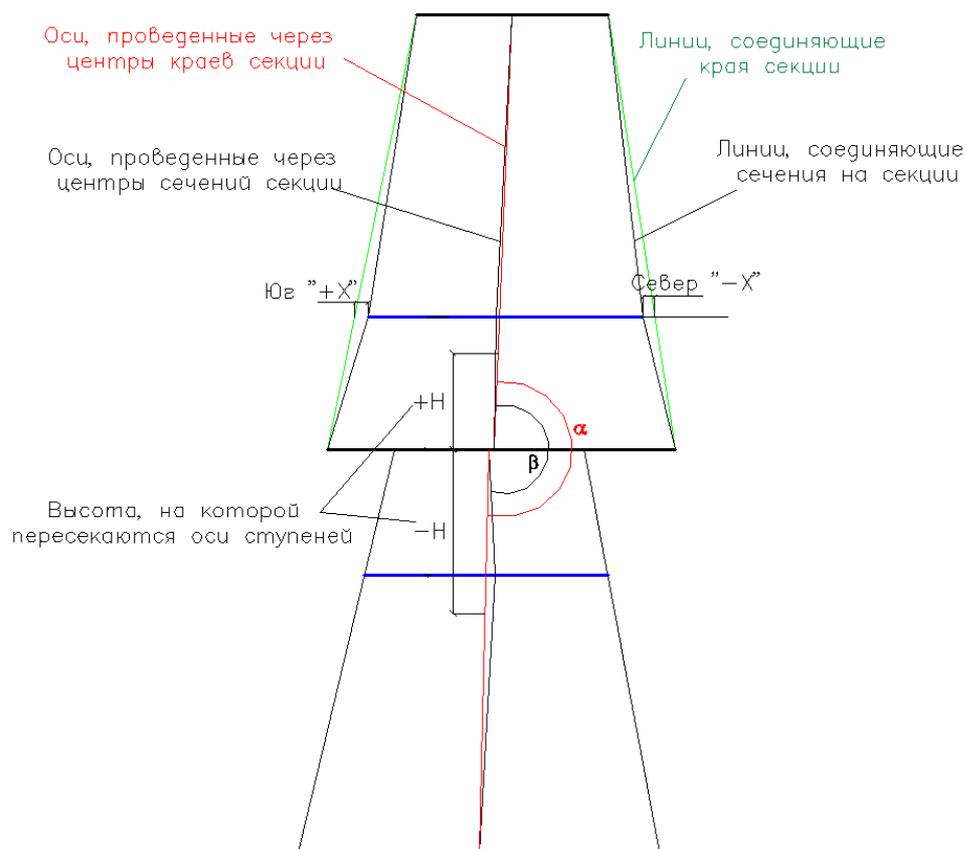


Рис. 4.14. Отклонение стенок от идеальной формы на одной секции

Затем на уровне сечений (синие горизонтальные линии) измерялось отклонение реальной стенки от стенок, построенных ранее. Если искривление реальной стенки

проходило слева, то значению искривления присваивался знак минус. Если правее – плюс. В результате было измерено искривление стенок в пределах каждой секции в направлениях север, юг, запад и восток (таблица 4.5).

Таблица 4.5. Отклонение стенок от идеальной формы на одной секции

СВВ40-5	Запад, мм	Восток, мм	Юг, мм	Север, мм
Сечение 1	-1	0	-4	-4
Сечение 2	-7	-1	-3	-1
СВВ40-4				
Сечение 3	4	0	-2	3
Сечение 4	0	19	0	-2
Сечение 5	1	3	3	-2
Сечение 6	-5	6	1	-3
СВВ40-3				
Сечение 7	0	4	0	-3
Сечение 8	3	7	1	-2
Сечение 9	8	7	2	-5
Сечение 10	6	2	2	0
Сечение 11	1	0	1	0
СВВ40-2				
Сечение 12	7	-3	-4	-2
Сечение 13	10	6	-5	0
Сечение 14	4	4	-9	-1
Сечение 15	0	-8	-5	1
СВВ40-1				
Сечение 16	2	-2	2	-3
Сечение 17	0	-6	2	-3
Сечение 18	-1	-5	1	-2
Сечение 19	-2	-10	4	-2
Сечение 20	-1	-5	-11	-1
Сечение 21	0	-1	-3	0

На рисунке 4.15 показано искривление стенок секций СВВ40-5.

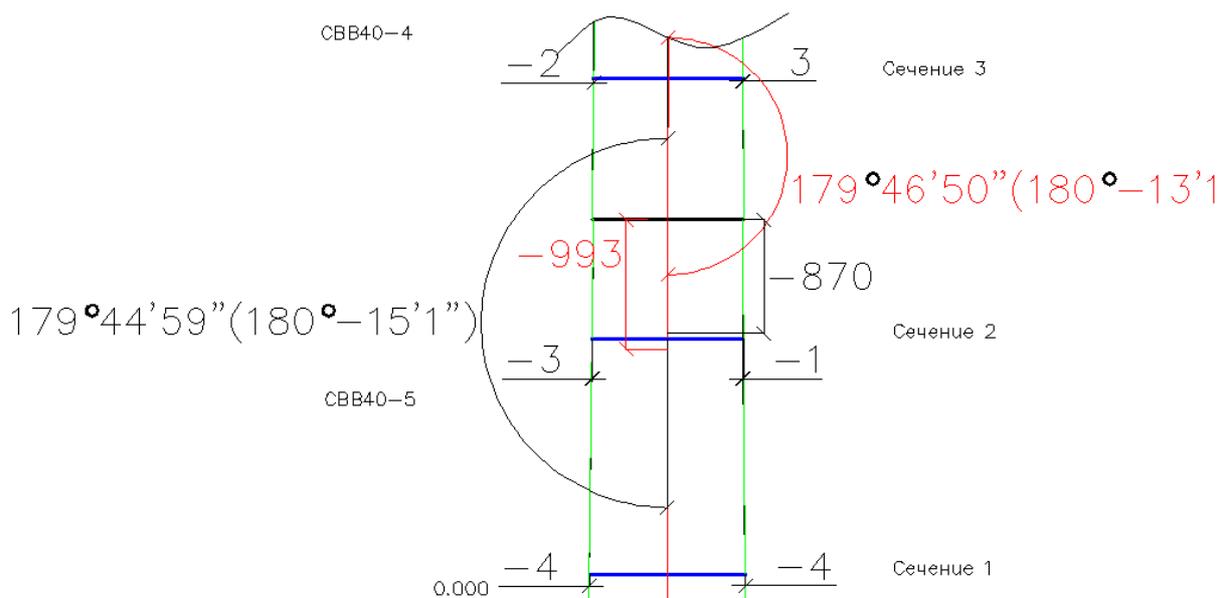


Рис. 4.15. Кривизна стенок секции СВВ40-5 и отклонение секций СВВ40-5 и СВВ40-4 в месте соединения в направлениях юг-север

5. Обследование отклонений осей секций друг от друга.

Измерено отклонение секций друг от друга (таблица 4.6). Как и в предыдущем случае, соединялись центры верхней и нижней грани одной секции (красные наклонные линии на рис.4.31.), образуя ось секции. Затем измерялся угол между этими осями секций (α).

β – это угол между осями секций, проведенными через центры сечений.

В случаях, когда оси секций не совпадали, было подсчитана высота, на которой эти оси должны пересечься (Н). Если пересечение происходило выше стыка, значению высоты присваивался знак плюс, если ниже – минус. Также подсчитана высота, на которой должны пересекаться оси, проведенные через центры сечений секции (Н'). Углы отклонения осей секций СВВ40-5 и СВВ40-4 показаны в таблице 4.6.

Таблица 4.6. Отклонения секций друг от друга на месте соединения.

	180- α	Н Стяжки, мм	180- α	Н Стяжки, мм	180- β	Н' Стяжки, мм	180- β	Н' Стяжки, мм
	Запад-Восток	Запад-Восток	Юг-Север	Юг-Север	Запад-Восток	Запад-Восток	Юг-Север	Юг-Север
СВВ40-5+ СВВ40-4	4'8"	-286	13'10"	-993	5'41"	208	15'1"	-870
СВВ40-4 + СВВ40-3	4'54"	1338	0'53"	6203	4'37"	-	1'	-
СВВ40-3 + СВВ40-2	3'20"	-1239	10'36"	124	38'48"	106	9'32"	138
СВВ40-2 + СВВ40-1	8'18"	3481	12'36"	-1035	1'13"	-	5'43"	-

Выводы по деформационному обследованию мачты

1. По результатам наземного лазерного сканирования получено облако точек, на основе которого созданы фактические контуры конструкции мачты М4.
2. Колебания мачты из-за ветра негативно влияет на результат съемки. Так, выше 50 метров обработка данных становится затруднительной из-за большого разброса облака точек и невозможности нахождения точной оси мачты. Поэтому в данном отчете для молниеотвода приведены лишь данные по общему отклонению от вертикальной оси.
3. По результатам обследования зон стяжек мачты М4 выявлено несоблюдение допуска (± 100 мм) размеров зон стяжек секций. Так, длина зоны стяжки секции СВВ40-4 равна 1901 мм, секции СВВ40-3 – 1392 мм, секции СВВ40-2 – 1304 мм вместо положенных 1800 ± 100 мм, 1500 ± 100 мм и 1200 ± 100 мм соответственно.
4. Значение общего отклонения от вертикальной оси составило: для вершины мачты 12,7 см, для вершины молниеотвода 15,4 см. Значение общего отклонения от вертикальной оси для мачты с молниеотводом составило 27,7 см в направлении северо-восток, что превышает допустимый диапазон отклонения мачты – 8 см на высоте 80 м. (по СП 70.13330.2012 “Несущие и ограждающие конструкции”). Диаграммы отклонений мачты от вертикальной оси показали, что наклон мачты происходит не только в местах соединения секций, но и на всей длине каждой отдельной секции.
5. По результатам обследования зон стяжек секций выявлено наличие зазоров между секциями в местах присоединения. Максимальный зазор составил 16 мм в месте соединения секций СВВ40-1+СВВ40-2 с западной стороны мачты.
6. По результатам обследования искривления стенок в пределах каждой секции в направлениях север, юг, запад и восток выявлено максимальное отклонение стенок от идеальной формы: 11 мм на секции СВВ40-1.
7. По результатам обследования углов отклонений осей секций друг от друга в местах соединения выявлен максимальный угол отклонения, который составил СВВ40-3 и СВВ40-2.

4.4. Выводы по главе 4

К современным неклассическим методам геодезического мониторинга геометрических параметров инженерных сооружений относится наземное лазерное сканирование. Итогом сканирования будет являться трехмерная модель инженерного

сооружения в виде облака точек каждой из которых будет присвоены свои координаты. В результате полученной модели объекта возможно выполнение многочисленных задач инженерного плана, включая установление деформаций инженерного сооружения по всем направлениям координат в пространстве, а также установление мест разрушений.

По первому объекту - Обследование заняло 2 рабочих дня. Съемка проводилась методом тахеометрического хода в два этапа: под мостом по несколько станций на каждый пролет и по мосту. Всего было создано 33 точки установки сканера. На каждой станции измерения выполнялись в течение 5–7 минут. Высокая точность модели 5-10 мм позволяет произвести замер геометрических параметров любого элемента в модели и сделать разрез или сечение в любом месте; построить в автоматическом режиме двумерный чертеж каждого элемента, либо модели в целом; произвести анализ текущего состояния сооружения, а также прочностной расчет в специализированных программах; создать информационную систему конструкций с необходимыми чертежами и спецификацией, выявить отклонения от проектной документации; нарушения и анализ опор на вертикальность.

По второму объекту - Сканирование здания проводилось с 7 станций занято 3 часа. Был проведен комплекс работ по съемке объекта в 2012 и 2017 годах. Выполнение деформационного мониторинга сооружения при помощи наземного лазерного сканирования позволило выявить деформации по заданным плоскостям. Путем сравнения отсканированной модели здания с проектными или условно эталонными плоскостями можно получить отклонения каждой внешней стены или здания в целом от исходной формы. Что недоступно для традиционных методов наблюдения.

По третьему объекту - Процесс сканирования в высоком качестве занял 20 минут на 1 станцию. Всего 4 станции на одну мачту. Полученный набор сечений и ось показывают отклонение осей секций друг от друга не только в местах соединений, но и искажение геометрии мачты по всей длине секции. На основе измерений составлены диаграммы отклонения существующей оси от вертикальной оси мачты в направлениях запад-восток и юг-север и итоговое отклонение. Итоговое отклонение от вертикальной оси составило: для вершины мачты 12,7см, для вершины молниеотвода 15,4см. Общее отклонение от вертикальной оси мачты с молниеотводом составило 27,7 см

На примере совершенно разных по назначению инженерных сооружений в настоящем диссертационном исследовании были разработаны и опробованы методики обработки данных наземного лазерного сканирования для достоверного определения деформаций.

ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

5.1. Анализ напряженно-деформированного состояния основания виадука

В данном исследовании использован программный комплекс PLAXIS (2006). PLAXIS - комплекс, разработанный нидерландскими геотехниками de Borst, Vermeer (1984), успешно показал себя при решении многих геотехнических задач [131]. Моделирование железнодорожного моста на участке магистрали Абакан-Тайшет между станциями Джебь и Щетинкино в Восточном Саяне (Курагинский район Красноярского края) проводилось с целью оценки изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива в ходе эксплуатации сооружения и прогноза его изменения при реконструкции виадука.

Грунтовой массив под самой деформируемой опорой размером длиной 40 м, высотой 23 м представлен в виде 2D – модели на рис. 5.1.

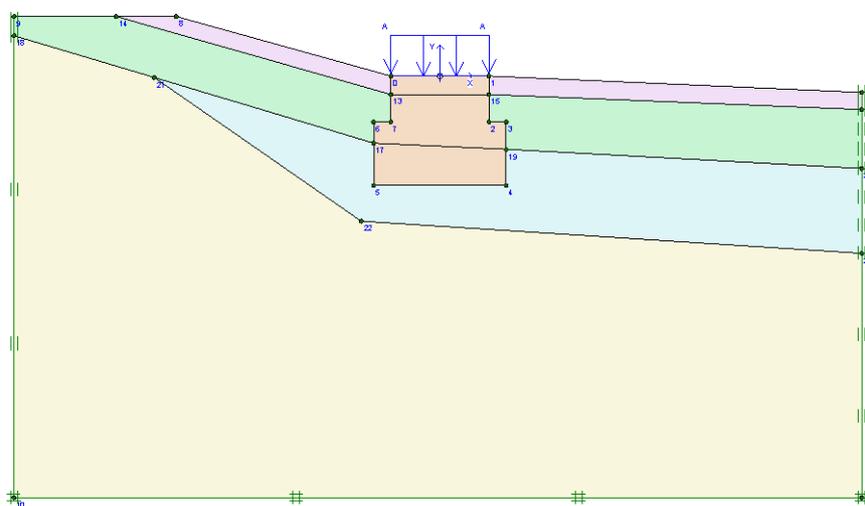


Рис. 5.1. Геометрическая модель грунтового массива

После построения геометрической модели и задания свойств грунта *PLAXIS* автоматически сгенерирована сетка конечных элементов (рис. 5.2) из 5407 неправильных треугольных 15–узловых элементов. При расчете конечного элемента смещения рассчитываются по узлам, напряжения – в 943 интегральных точках Гаусса (или точках напряжения).

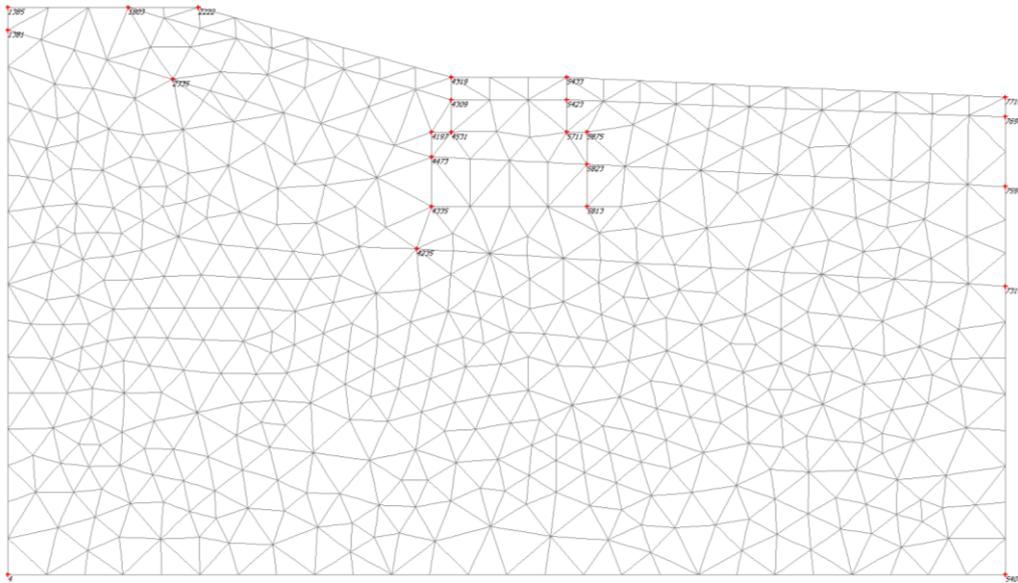


Рис. 5.2. Сетка конечных элементов с базовыми узлами

Вертикальная нагрузка от веса опоры до обреза фундамента, веса пролетных строений, подвижного состава задана опцией *Distributed loads A* - до ремонта принята 200 кН/м/м, а после замены пролетных строений на более легкие и усиления опор – принята, равной 100 кН/м/м.

Для материала фундамента опоры использовалась упругая модель (Plaxis). Были использованы следующие параметры: удельный вес - 25 кН/м³, коэффициент Пуассона 0.25. Для оценки поведения грунта использована *упругопластическая модель с изотропным упрочнением Hardening Soil Model* (Plaxis) модель учитывает несовпадение модуля упругости ветвей разгрузки и повторного нагружения, наблюдаемое при лабораторных испытаниях. Модель точно описывает поведение грунта при экскавации грунта, при устройстве подпорных стен и проходке туннелей, сопровождающейся уменьшением среднего эффективного напряжения и одновременно мобилизацией сопротивления пород сдвигу. Ограничения модели: неспособность учесть явления анизотропии прочности и жесткости, ползучести и длительной прочности, непригодность для моделирования динамических процессов. Для задания модели необходимо 10 параметров грунтов, приведенные в табл. 5.1.

Расчеты заключались в моделировании процесса нагружения опоры с помощью опции расчета *Staged construction*. Эта опция позволяет активировать или деактивировать вес, жесткость и прочность выбранных компонентов конечноэлементной модели.

Таблица 5.1. Параметры грунтов

Параметры/наименование грунта		1.Щебень	2. Дресвяный грунт	3. Гравелистые суглинки	4. Кристаллические сланцы
γ_{unsat}	[кН/м ³] Удельный вес грунта	19.00	23.00	19.00	25.00
γ_{sat}	[кН/м ³] Удельный вес водонасыщенного грунта	21.00	24.00	21.00	26.00
E_{50}^{ref} = $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[кН/м ²] Модуль Юнга при первичном нагружении	100000	80000	60000	200000
power (m)	[-] Показатель степени компрессионной кривой	0.5	0.3	0.5	0.5
c_{ref}	[кН/м ²] Сцепление	10	10	5	5
φ	[°] Угол внутреннего трения	45	42	32	30
ψ	[°] Угол дилатансии	5	5	0	0
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[кН/м ²] Модуль Юнга при разгрузении – повторном нагружении	200000	160000	120000	500000
$\nu_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-] Коэффициент Пуассона	0.2	0.2	0.2	0.2

При задании начальных условий сгенерированы давление воды и начальные напряжения (рис. 5.3).

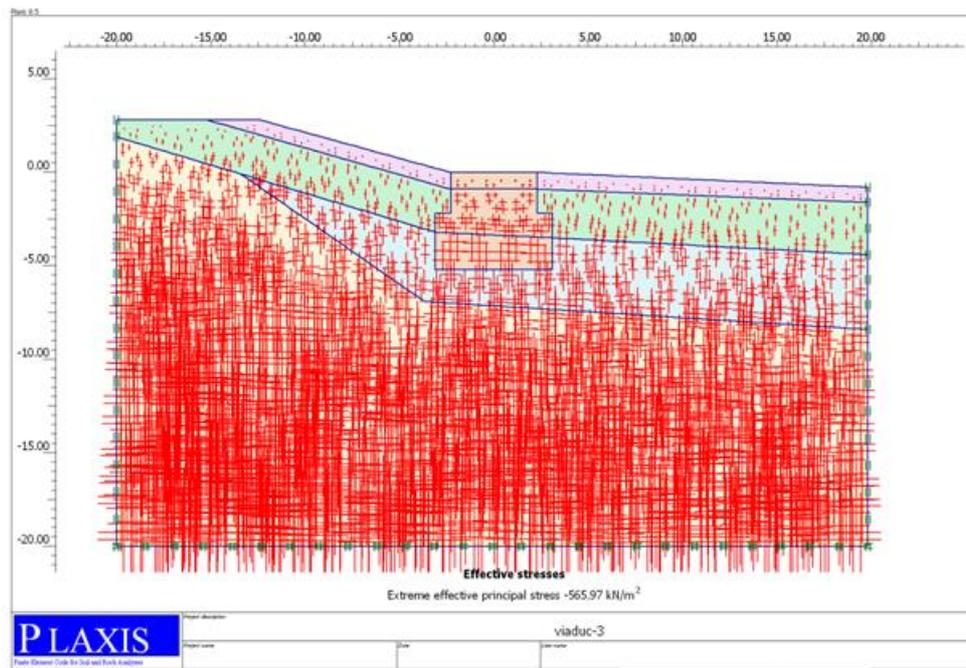


Рис. 5.3. Поле начальных эффективных напряжений в грунтовом массиве

В основной модели определены два расчетных этапа, на первом этапе с нагрузкой 200, на второй -100 кН/м/м. В восьми клонах от основной модели выполнено изменение прочности материала фундамента от 16 до 80 МПа. Ниже представлены некоторые

примеры выходных данных расчета, деформированная сетка конечных элементов модели (рис. 5.4) и вертикальные перемещения грунтового массива (рис. 5.5) на разных этапах жизненного цикла опоры.

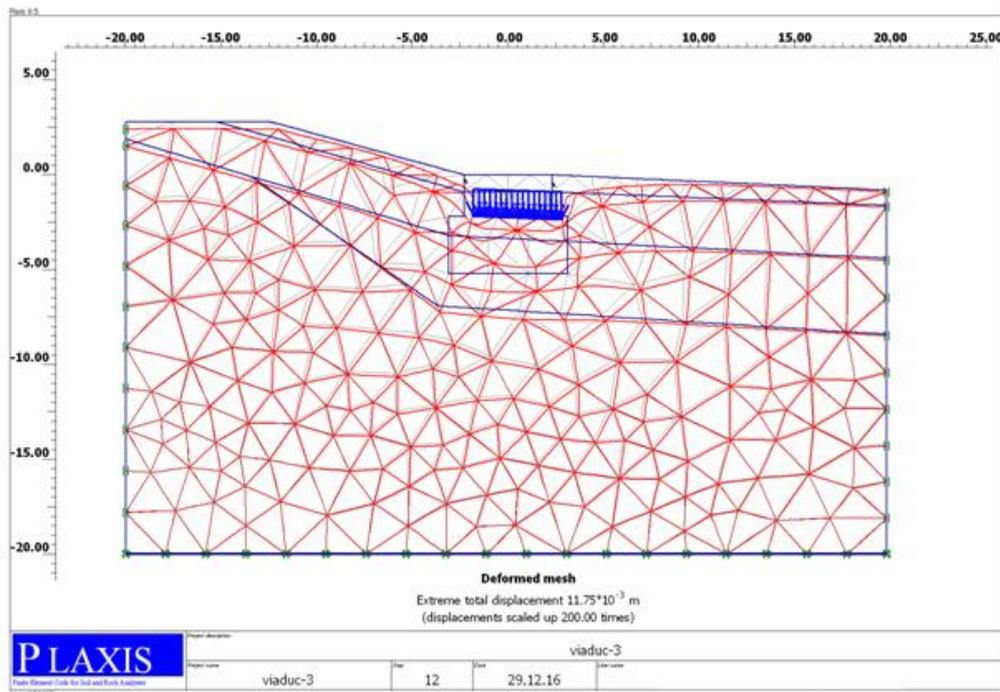


Рис. 5.4. Деформированная сетка в ходе эксплуатации объекта

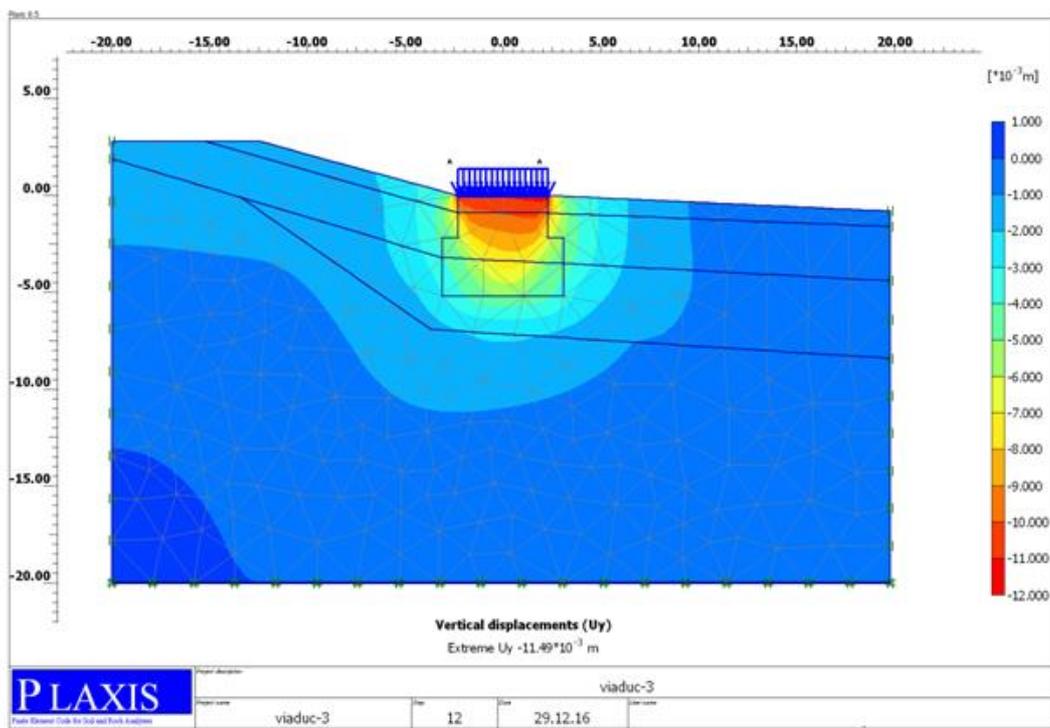


Рис. 5.5. Вертикальные перемещения грунтового основания при эксплуатации объекта

Т.к. в ходе полевых работ установлено, что прочность бетонов конструкций фундаментов составляет 16-24 МПа, поэтому она была выбрана основным параметром для варьирования (табл. 5.2) в расчетах.

Таблица 5.2. Результаты моделирования

Прочность бетона, МПа	Факт	Расчетные значения								
		16.4	16.4	18.4	19.3	20.6	21.7	24	24.4	50
Вертикальные перемещения, мм	43	48.6	44.2	42.4	40.4	38.6	35.8	35.3	22.1	16.3

Проверка результатов моделирования проводилась путем сравнения расчетных данных с пространственно-координатным положением конструкций, установленном при лазерном сканировании (рис. 5.6, 5.7). Значения вертикальных перемещений, предсказанные в ходе упруго-пластического моделирования показывает небольшое отклонение от данных полевых работ. Тот факт, что реальное значение меньше расчетного, можно объяснить переуплотнением грунтового массива в ходе его формирования. Как было установлено в работах [125,98,99], степень переуплотнения грунтовых массивов (K_0 -OCR) необходимо учитывать при проектировании грунтовых оснований. Для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния грунтового массива допустимо использовать эмпирические формулы определения K_0 , для стадии рабочей документации следует выполнять специальные лабораторные и полевые исследования.

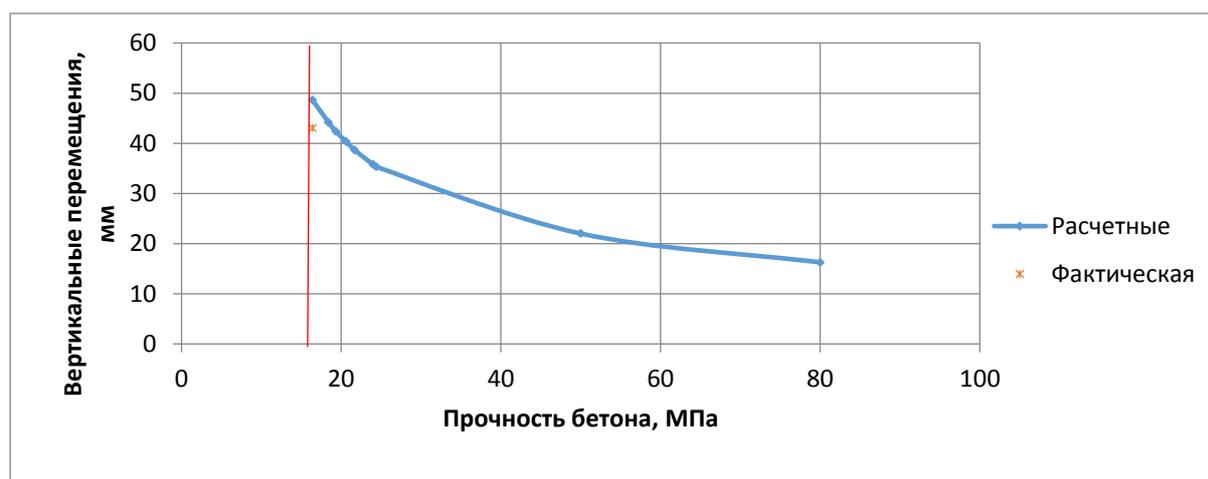


Рис. 5.6 Сравнение измеренных и расчетных значений вертикальных перемещений

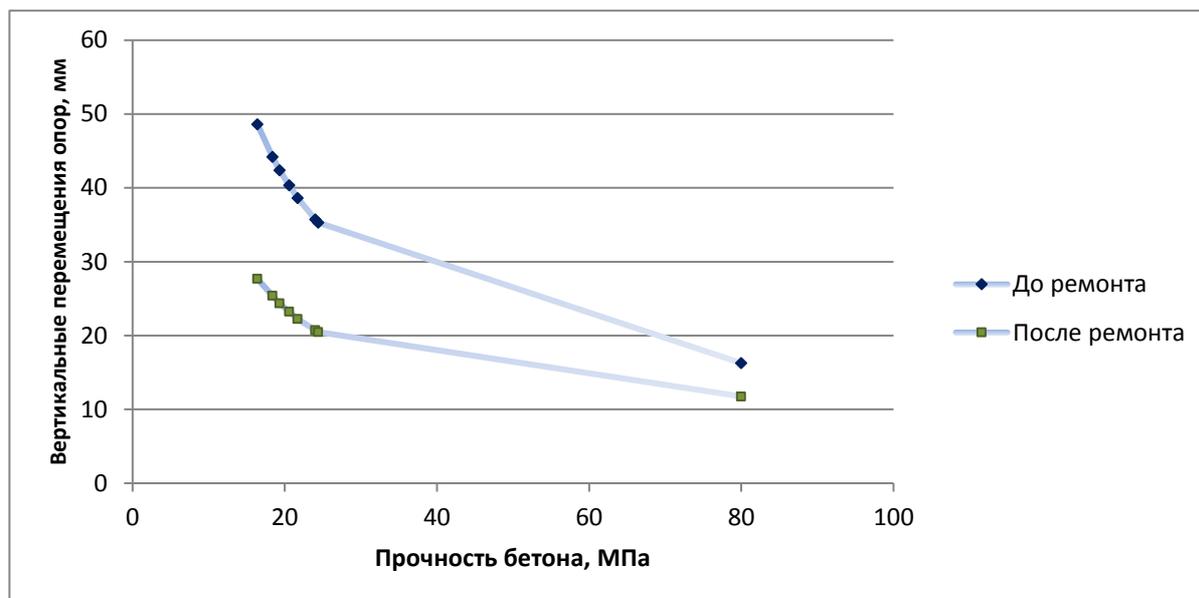


Рис. 5.7. Сравнение вертикальных перемещений до ремонта моста и после

Кроме того, учитывая факт трудности определения основных параметров механических свойств крупнообломочных грунтов и вынужденного их назначения по литературным данным, этот прогноз можно считать приемлемым для предварительных проектных решений.

5.2. Анализ напряженно-деформированного состояния основания здания

Был смоделирован грунтовой массив размером длиной 70 м, мощностью 25 м. После построения геометрической модели и задания свойств грунта в программном комплексе *PLAXIS* автоматически сгенерирована сетка конечных элементов из 986 неправильных треугольных 15–узловых элементов. При расчете конечного элемента смещения рассчитываются по узлам, напряжения – в 11832 интегральных точках Гаусса (или точках напряжения). Вертикальная нагрузка от веса наземной части здания принята 90 кН/м/м.

Для материала фундаментов использовалась упругая модель. Были использованы следующие параметры: удельный вес - 25 кН/м³, коэффициент Пуассона 0,25 (таблица 5.3.) Для оценки поведения минеральных грунтов использована *упругопластическая модель с изотропным упрочнением Hardening Soil Model (Plaxis)* [131]. Модель учитывает несовпадение модуля упругости ветвей разгрузки и повторного нагружения, наблюдаемое при лабораторных испытаниях. Модель точно описывает поведение грунта при экскавации грунта, при устройстве подпорных стен и проходке

туннелей, сопровождающейся уменьшением среднего эффективного напряжения и одновременно мобилизацией сопротивления пород сдвигу. Ограничения модели: неспособность учесть явления анизотропии прочности и жесткости, ползучести и длительной прочности, непригодность для моделирования динамических процессов [136,137]

Таблица 5.3. Параметры грунтов

Параметры/наименование грунта		1. Щебень	2. Дресвяный грунт	3. Гравелистые суглинки	4. Кристаллические сланцы	
γ_{unsat}	[kN/m ³]	Удельный вес грунта	19.00	23.00	19.00	25.00
γ_{sat}	[kN/m ³]	Удельный вес водонасыщенного грунта	21.00	24.00	21.00	26.00
$E_{50}^{\text{ref}} =$ $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	Модуль Юнга при первичном нагружении	100000	80000	60000	200000
power (m)	[-]	Показатель степени компрессионной кривой	0.5	0.3	0.5	0.5
c_{ref}	[kN/m ²]	Сцепление	10	10	5	5
ϕ	[°]	Угол внутреннего трения	45	42	32	30
ψ	[°]	Угол дилатансии	5	5	0	0
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	Модуль Юнга при разгрузении – повторном нагружении	200000	160000	120000	500000
$\nu_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	Коэффициент Пуассона	0.2	0.2	0.2	0.2

Оценка деформаций ползучести органо-минерального грунта (встреченного в 1966, 1988 гг. в скважинах 10,11, 8867 на глубине порядка 3-5 м, не изученного в отношении его физико-механических свойств) проводилась с использованием *Soft Soil Creep Model*. Результаты численного моделирования и лабораторных испытаний [60, 9] показали, что модель *Soft Soil Creep* достаточно точно моделирует процессы фильтрационной и вторичной консолидации.

Здание моделировалось жесткой плитой, опертой на междузловые анкеры. Удельный вес плиты представлял собой нагрузку от целого здания с нормальной жесткостью 60 МН/м, изгибной жесткостью 5 МНм²/м. Данные по материалам фундаментов присвоены междузловым анкерам. Механические свойства анкеров следующие: нормальная жесткость 20 МН, максимальные усилия сжатию/растяжению 1·10¹⁵ кН, шаг расстановки анкеров 1 м. При задании начальных условий сгенерированы давление воды и начальные напряжения.

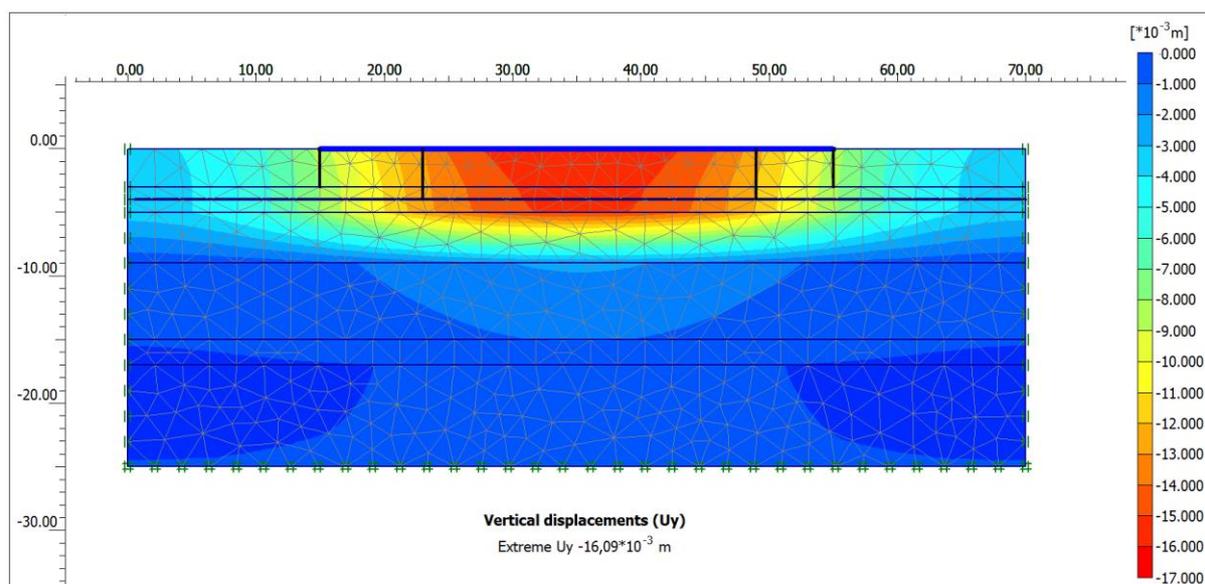


Рис.5.8. Сетка конечных элементов

Расчеты заключались в определении вертикальных и горизонтальных перемещений грунтового основания от массы надфундаментной части. Моделирование процесса нагружения опоры осуществлялось с помощью опции расчета *Staged construction* (рис.5.8) Моделировалось, изменение физико-механических свойств грунтов, изменение уровня подземных вод и появление пристроек у здания. Выполнено сравнение результатов моделирования с пространственно-координатным положением конструкций, установленном при лазерном сканировании.

5.3. Анализ напряженно-деформированного состояния основания мачты

В работах [25,25,26,93,95,98] по численному моделированию поведения грунтовых массивов во взаимодействии с различными инженерными сооружениями (виадук, магистральный трубопровод, метрополитен, историческое здание театра, подпорная стенка, при упрочнении грунтового массива цементно-песчаной инъекцией) показаны преимущества использования МКЭ в актуализации расчетных моделей при реконструкции сооружений и предотвращении аварийных ситуаций.

Объектом настоящего исследования являлось напряженно-деформируемое состояние (НДС) грунтового основания мачты. Работа проводилась с использованием программного комплекса конечноэлементного анализа *Plaxis*. При моделировании были приняты следующие механические характеристики материала мачты (сталь С345,

12Г2С, 09Г2С): модуль упругости $E=2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu = 0,29$, плотность $\rho=7850$ кг/м³, предел текучести $\sigma_T=345$ МПа. Вес мачты с молниеотводом и метизами 11534 кг.

Фундамент мачты состоит из четырех винтовых металлических свай СВ-325-6.0, расположенных по углам квадрата со стороной 2 м. На сваи установлен и приварен четырёхсвайный ростверк (523 кг), состоящий из опорной плиты (толщиной 10 мм) и двух швеллерных балок №20, установленных на опорные столики сваи. Сваи и ростверк изготовлены из стали класса С345 и покрыты от коррозии битумноаиритовой композицией. Соединение всех элементов фундамента между собой произведено посредством ручной сварки постоянным током. При моделировании приняты следующие механические характеристики ростверка и свай: модуль упругости $E=2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu=0,33$

Геологический разрез изучен на глубину 18 м и представлен 5 инженерно-геологическими элементами. Физико-механические свойства грунтов указаны в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Свойства грунтов:

Грунты Параметры		1-насыпной песок	2 – супесь	3 - песок пылеватый	4 - суглинок с прослойками глины	5 - суглинок с прослойками песка
γ_{unsat}	[кН/м ³]	17,40	17,00	17,00	17,00	17,00
γ_{sat}	[кН/м ³]	18,00	20,00	18,00	18,00	18,00
E_{ref}	[кН/м ²]	12000	10000	13000	10000	50000
ν	[-]	0,3	0,3	0,350	0,350	0,3
G_{ref}	[кН/м ²]	5000	5000	3703	3704	19231
E_{oed}	[кН/м ²]	17500	17500	16049	16049	67307
c_{ref}	[кН/м ²]	1	5	1	20	20
φ	[°]	31	25	27	25	25

Первым от поверхности залегает насыпной песок, мощностью 5,5 м, ниже которого залегает супесь бурая, мерзлая, льдистая (льдистость за счет видимых ледяных включений i_i составляет 20-22%), слоисто-сетчатой криотекстуры, с ожелезнением, мощностью до 2 м. Под супесью залегает песок темно-серый, пылеватый, мерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, мощностью 1 м. Ниже песка залегает суглинок синевато-серый, мерзлый, льдистый (i_i – 25-30%), слоистосетчатый криотекстуры с прослойками глины, мощностью 2,5 м. Ниже залегает суглинок синевато-серый, мерзлый, слабольдистый, (i_i – 4-7%) с тонкими прослойками

песка и включениями гальки до 5%. Граница сезонно-талого слоя находится на глубине 6 м от поверхности земли.

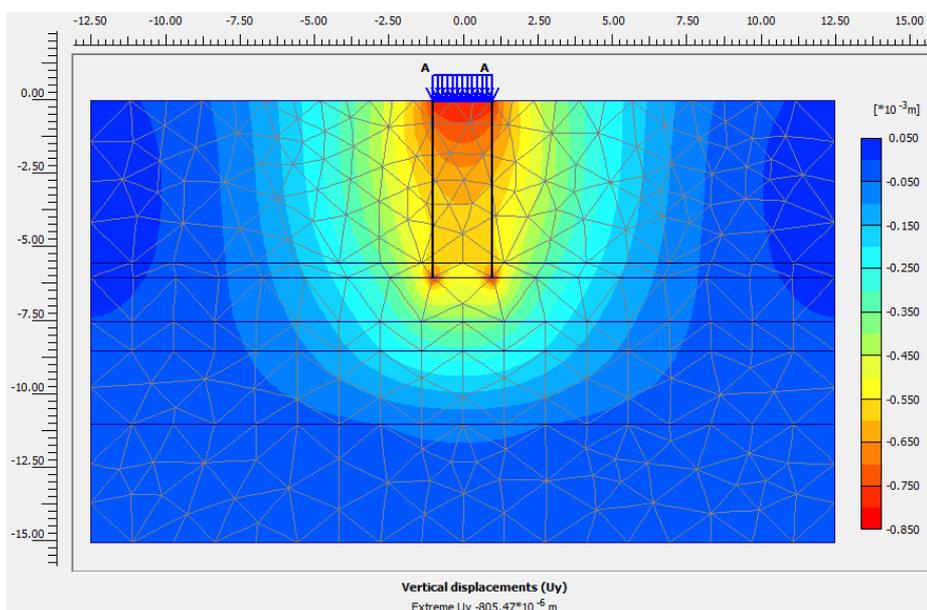


Рис. 5.9. Конечно-элементная сетка и изополя вертикальных перемещений

Дискретизация расчетной области выполнена треугольными элементами. В расчетах использовалась упруго-пластическая модель Plaxis Mohr-Coulomb. Ростверк моделировался жесткой плитой, опертой на межузловые анкеры. Вес мачты передавался на фундамент при помощи опции Distributed static load A-A (2885 кг/м^2). Расчеты вертикальных перемещений грунтового основания мачты составили 0,8 мм (рис. 5.9), горизонтальные перемещения – 0,14 мм.

5.4. Выводы по главе 5

Оценка деформаций при помощи численного моделирования НДС позволило ответить на главный вопрос – каковы причины деформаций изученных объектов и обосновать мероприятия по обеспечению их безопасности.

По первому объекту - разработана цифровая модель грунтового основания самой деформируемой опоры сооружения. Поведение грунтового массива смоделировано с помощью упруго-пластической модели с изотропным упрочнением *PLAXIS Hardening Soil*.

Моделирование показало: 1) при снижении нагрузки деформации прекратятся, так при первоначальной нагрузке (в течении 50 лет), равной 200 кН, максимальные деформации составляют 16 мм, а при снижении веса пролетных строений до 100 кН максимальные деформации составят только 8 мм; 2) изменение прочности бетона во

время эксплуатации опор до ремонта (от 80 до 16 МПа могло сопровождаться деформациями от с 16 мм до 48, после усиления опор (повышение прочности бетона) деформации уменьшатся с 49 мм до 28 мм.

По второму объекту следует отметить, что сохранение исторических объектов является сложной задачей для инженеров, т.к. часто отсутствуют исходные данные по геологии, проектным решениям, имеются ограничения при отборе образцов строительных материалов и грунтов для более точного определения их физико-механических свойств. Кроме того, анализ литературы по данной тематике [25-27] показывает, что, как в нашей стране, так и за рубежом в настоящее время базис инженерно-геологических исследований исторических объектов только формируется в области теории, методов, нормативно-правового обеспечения этой деятельности.

Разработана цифровая модель грунтового основания. Поведение грунтового массива смоделировано с помощью двух моделей: упруго-пластической модели с изотропным упрочнением *PLAXIS Hardening Soil* и *Soft Soil Creep Model*. Рассчитаны деформации грунтового основания при ухудшении физико-механических свойств грунтов, при изменении уровня грунтовых вод, с пристройками и без них. Выполнено сравнение результатов моделирования напряженно-деформированного состояния грунтового массива с пространственно-координатным положением конструкций, установленном при лазерном сканировании. Показано преимущество комплексирования методов по оценке геометрии объекта и МКЭ для описания напряженно-деформированного состояния объекта.

По третьему объекту установлено, что деформации мачты не связаны с грунтами, а обусловлены свойствами материалов мачты и монтажом. При этом следует учесть, что на отклонения мачт с молниеотводами высотой более 40 метров, главным условием влияющим на корректность данных являются конвективные потоки воздуха. С увеличением высоты мачты амплитуда колебания молниеотвода становится больше. Поэтому при техническом контроле за высотными объектами погодные условия съемки играют значительную роль в получении достоверных данных.

6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ

6.1. Результаты комплексирования методов при оценке деформаций объектов

В обсуждении результатов остановимся на двух основных моментах исследования: (1) значимость методов лазерного сканирования для получения корректных данных по деформациям конструкции и (2) влияние геологических факторов на размещение деформаций в наземной части сооружения.

Первый объект. Доказано, что уменьшение прочности бетона фундамента приводит к значительному увеличению вертикальных напряжений и деформаций. Обеспечение достаточной точности расчетов связано с необходимостью проведения полноценных лабораторных и полевых исследований для определения механических свойств грунтов. Показано преимущество комплексирования методов по оценке геометрии объекта и МКЭ для описания напряженно-деформированного состояния объекта.

Второй объект. Деформации наземной части здания, исторического здания, расположенного по пер. Нахановича 4 в г. Томске, являются неравномерными, поэтому, недопустимо связывать их с только уплотнением грунтов основания. Кроме того, деформации продолжаются и после выполнения капитального ремонта здания 2012 г., когда трещины и деформации были спрятаны за косметическим слоем и к настоящему времени раскрылись вновь.

Неравномерность деформаций, на наш взгляд, можно объяснить тремя факторами. Во-первых, ключевую роль в неравномерности осадок здания играет геоморфологические особенности участка. Совместное рассмотрение ориентировки здания и деформаций, полученных при помощи наземного лазерного сканирования в 2012 и 2017 гг., свидетельствуют о том, что наземная конструкция деформируется по диагонали, параллельно направлению бровки первой надпойменной террасы, вдоль реки Томь. Вероятно, такое расположение можно объяснить суффозионными и эрозионными процессами внутри грунтового массива при изменении уровней подземных и поверхностных вод в р. Томи и Ушайки.

Во-вторых, неравномерность деформаций, и это подтвердило моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива, связана с разной глубиной опирания основного здания и пристроек. По результатам лазерного

сканирования объекта в 2012 и 2017 гг. установлено, что сгущение деформаций наблюдается в зоне сочленения основного здания и пристроек с западной и восточной сторон здания. Максимальные расчетные значения вертикальных перемещений грунтового массива составили 12,71 мм, горизонтальных – 1,72 мм. Расчетные значения вертикальных перемещений грунтового массива основного здания без пристроек составили 11,49 мм, горизонтальных – 1,71 мм. Поэтому концентрация деформаций в зоне сочленения пристроек и основного здания связана с пристройками, разной глубиной заложения их фундаментов.

В-третьих, продолжающиеся во времени деформации, вероятно связаны с ползучестью органо-минеральных грунтов мощностью до 2 м, вскрытых тремя скважинами в непосредственной близости от здания. Моделирование ползучести грунта проводилось заданием дополнительных параметров для слоя, залегающего на глубине 3-5 м (модифицированный коэффициент компрессии $\lambda^*=0,105$, модифицированный коэффициент набухания $\kappa^*=0,015$, модифицированный коэффициент ползучести $\mu^*=0,004$), собранных по литературным источникам из-за отсутствия данных по геологии участка в сфере взаимодействия. Приращения вертикальных и горизонтальных перемещений с учетом ползучести органо-минерального грунта составили соответственно +3,38 и +0,17 мм в год.

Третий объект. Моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового основания позволило оценить вклад грунтовых условий в деформациях мачты. Предположение, что деформации мачты могут быть обусловлены специфическими характеристиками грунтового основания: высокой сжимаемостью грунтов сезонно-талого слоя, ползучестью многолетнемерзлых пород в длительной перспективе и изменениями механических свойств грунтов при изменении их температурного режима, не подтвердилось. Вертикальные перемещения грунтового массива составили всего 0,8 мм, горизонтальные перемещения – 0,14 мм. Вклад грунтовых условий оказался минимальным. Фундамент устроен правильно с учетом особенностей грунтов этой климатической зоны. Деформации мачты с молниеотводом на 94% обусловлены строительными свойствами надземной части конструкции.

Полученный опыт позволил свести предложения за деформационными наблюдениями и оценки напряженно-деформированного состояния грунта в технологический регламент, который представлен ниже.

6.2. Технологический регламент комплексирования работ по оценке деформаций сооружений

Инженерные сооружения в результате их проектных и конструктивных качеств, а также непрерывного воздействия природных и техногенных факторов испытывают различного рода деформации. Наиболее оперативным способом предупреждения чрезвычайных ситуаций особенно для сложных, большепролетных, высотных и других ответственных инженерных сооружений должно быть постоянное наблюдение за их техническим состоянием с помощью комплексного подхода основанном на методе конечных элементов и постоянном обновлении результатов инструментальных измерений. Разработанная методика позволяет определять актуальное техническое состояние инженерного сооружения на каждом периодическом этапе мониторинга. Данная методика представлена в сжатом виде на рисунке 6.1.



Рис. 6.1. Общая схема комплексного подхода определения деформаций методом конечных элементов и наземным лазерным сканированием

Технологический регламент режимных наблюдений и диагностики инженерных объектов направлен на определение состава, порядка и методики выполнения работ по мониторингу состояния сооружений, способствующие выявлению возможности появления их внезапных деформаций, приводящих к аварийным ситуациям.

Данный технологический регламент разработан на комплексной диагностике инженерных сооружений за потенциально-опасными объектами или объектами уже имеющими признаки опасных деформаций.

В основу регламента легли методы диагностики и режимных наблюдений, проводимых с помощью наземного лазерного сканирования и метода конечных элементов, позволяющие вести контроль деформаций инженерного сооружения и напряженно-деформированного состояния грунтов в режиме периодических наблюдений.

Периодический мониторинг за инженерными объектами имеющие опасные деформации разбивается на следующие этапы:

- описание объекта наблюдения;
- предварительная диагностика состояния объекта;
- детальная диагностика объекта;
- прогноз стабильности объекта и оценка возможности выхода его в аварийное состояние;
- разработка сценариев по управлению объектом в стабильном состоянии.

Предварительная диагностика состояния объекта является первоначальным и обязательным этапом работ, который выполняется единожды вначале, а остальные этапы могут проводиться не для всех объектов, менять последовательность, проводиться параллельно, корректироваться или повторяться.

На этапе предварительной диагностики объекта необходимо провести следующие работы: сбор существующих материалов с характеристиками объекта (технический паспорт объекта, материалы региональных геологических фондов, в частности топографические карты и карты четвертичных отложений; материалы изысканий прошлых лет и рабочие проекты капитального ремонта, хранящиеся в архивах проектных институтов, инженерно-геологических баз; натурный осмотр, включающий в себя визуальный осмотр всех конструктивных элементов сооружения.

По результатам натуральных наблюдений составляется описание объекта со всеми имеющимися видимыми деформациями и намечается порядок последующей детальной диагностики.

Дополнительно на этапе предварительного диагностирования для отдельных объектов также проводятся следующие уточняющие работы: обследование объекта с обмерами (фотографирование объекта и обмерные работы); выполнение инженерно-геодезических работ (разбивка участка работ, устройство реперов на объекте, высотная

и плановая привязка) и инженерно-геологических работ (должны проводиться в соответствии с положениями СП 11-104-97); выделение участков имеющие повышенные деформации; диагностирование материалов конструкций методом неразрушающего контроля.

По результатам предварительного диагностирования составляется заключение, в котором дается оценка состояния инженерного сооружения и определяется степень потенциальной опасности к возникновению деформаций. Даются рекомендации по проведению надзора, текущего содержания, а при необходимости и ремонта объекта.

Выделение объектов, которые подлежат детальному диагностированию, производится на основе анализа результатов всего комплекса выполненных работ по предварительному диагностированию и результатов режимных наблюдений. К таким объектам следует относить: объекты, где в последние годы наблюдаются деформации в виде образования крупных трещин непрекращающиеся во времени, просадок и сдвижек грунтового массива, в случае если в результате проведения расчетов устойчивости грунтового массива получены коэффициенты запаса ниже нормативных.

Состав работ при детальном диагностировании зависит от конкретно решаемых задач. В дополнение к методам, которые применяются на этапе предварительного диагностирования, могут применяться методы наземного лазерного сканирования (рис. 6.2) и конечных элементов (рис.6.3). Для оптимального решения по сохранению стабильного состояния инженерного сооружения необходимо комплексирование этих методов (табл. 6.1). В подавляющем большинстве случаев необходимо одновременное проведение дополнительных инженерно-геодезических и инженерно-геологических работ, состав и объемы которых определяются в каждом конкретном случае отдельно.

Основой для выдачи прогноза надёжности объекта являются результаты её диагностики и режимных наблюдений, по которым производится выделение объектов потенциально-опасных к возникновению на них деформаций, угрожающих возникновению аварийной ситуации. Критерии выделения таких объектов по результатам обработки данных наземного лазерного сканирования, и были рассмотрены ниже (табл.6.2). Кроме того, для каждого диагностируемого объекта, должна быть выполнена оценка его напряженно-деформированного состояния грунтов, путем проведения соответствующих расчетов.

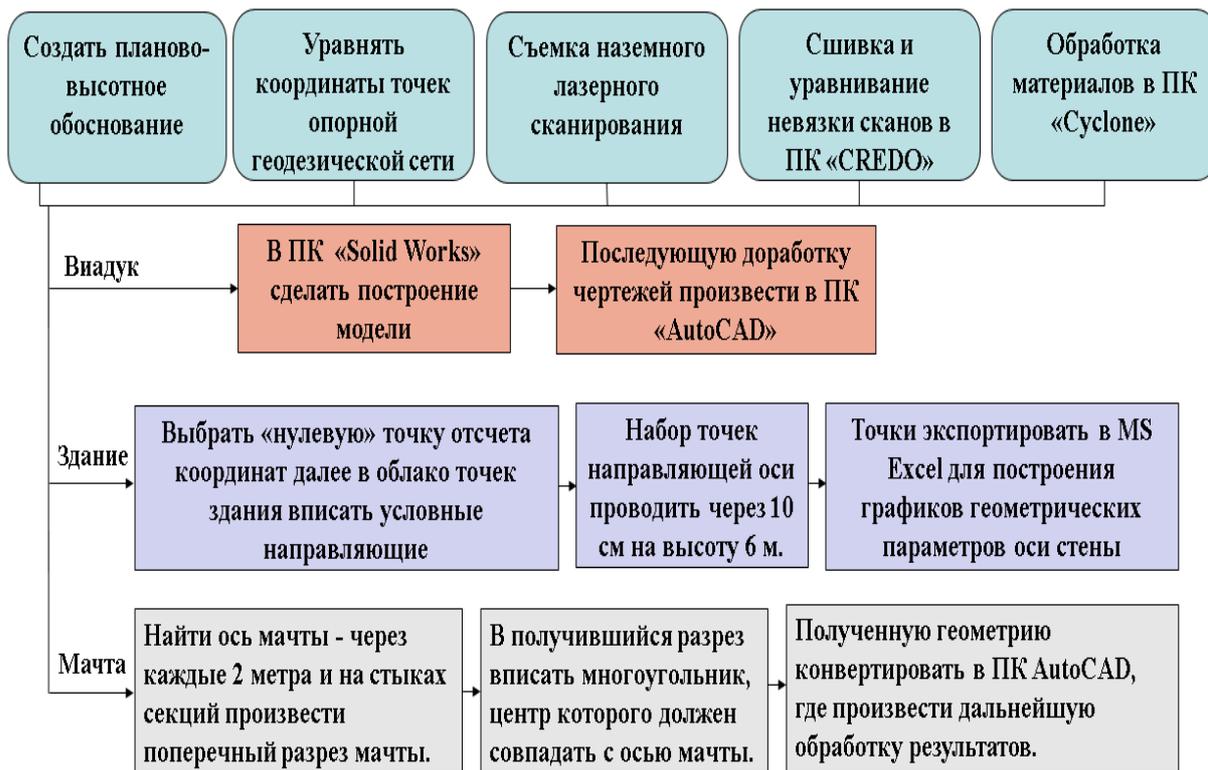


Рис. 6.2. Общая схема определения деформаций различных сооружений наземным лазерным сканированием

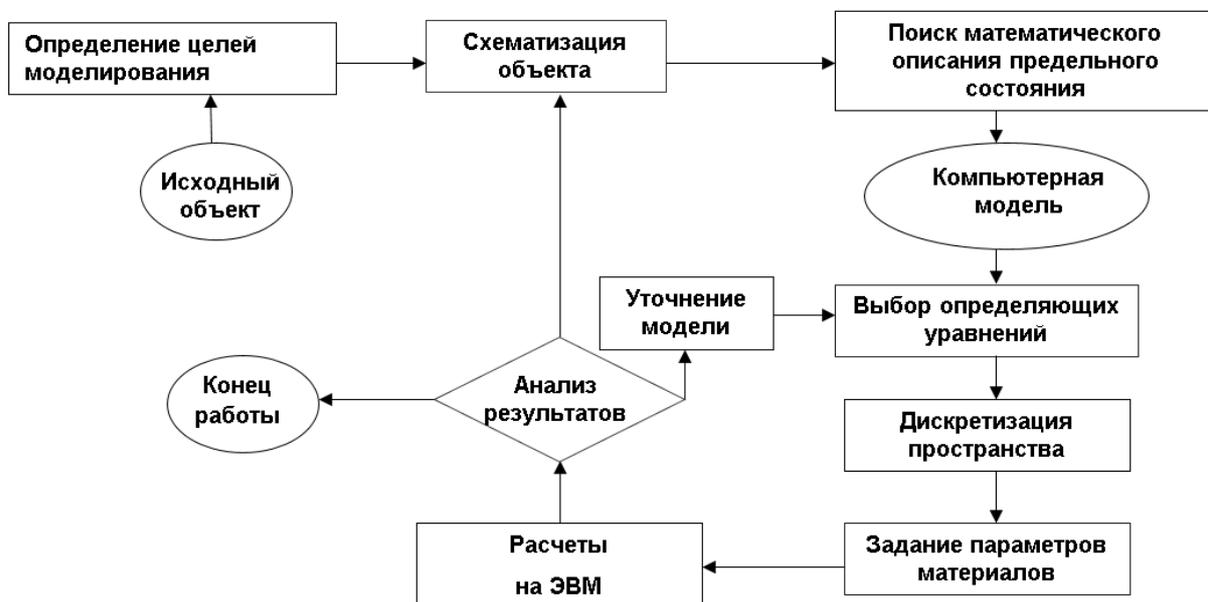


Рис. 6.3. Методика определения деформаций при помощи цифровой расчетной модели грунтового массива методом конечных элементов [98]

Таблица 6.1. Методика определения деформаций природно-технической системы при комплексировании методов НЛС и конечных элементов

Инженерное сооружение	Технология наземного лазерного сканирования	МКЭ
Железнодорожный мост	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создать планово-высотное обоснование 2. Вычислить и урвать координаты точек опорной геодезической сети 3. Выполнить съемку наземного лазерного сканирования конструкции моста и прилегающей территории методом трехштативной тахеометрической съемки, в среднем качестве, среднее время сканирования 7 минут на станции. Расстояние от сканера до отражаемого объекта не превышает 300 м: - при съемке рельефа 200 м; - при съемке конструкций моста 100 м. 4. По материалам сканирования (облаков точек) выполняется сшивка и уравнивание невязки сканов. 5. Обработка материалов полевых измерений выполняется в программном комплексе «Cyclone», последующая доработка чертежей произведена в графическом редакторе AutoCAD 6. Обработка тахеометрических измерений производится в программном комплексе «CREDO» 7. В программном комплексе «Solid Works» выполнялось построение детализации отдельных конструктивов, узлов, и сборка в единую модель. 	<p>Для оценки поведения грунта использовать сложные (advanced soil constitutive models) модели типа Hoek-Brown, Hardening Soil model with small-strain stiffness (HSsmall), или упругопластическая модель с изотропным упрочнением Hardening Soil Model (Plaxis), которая использовалась в работе. Эта модель учитывает несовпадение модуля упругости ветвей разгрузки и повторного нагружения, наблюдаемое при лабораторных испытаниях. Модель точно описывает поведение грунта при экскавации грунта, при устройстве подпорных стен и проходке туннелей, сопровождающейся уменьшением среднего эффективного напряжения и одновременно мобилизацией сопротивления пород сдвигу.</p>
Гражданское здание	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создать планово-высотное обоснование 2. Вычислить и урвать координаты точек опорной геодезической сети 3. Выполнить съемку наземного лазерного сканирования здания методом трехштативной тахеометрической съемки, в высоком качестве, среднее время сканирования 20 минут на станции. 4. По материалам сканирования (облаков точек) выполняется сшивка и уравнивание невязки сканов. 5. Обработка материалов полевых измерений выполняется в программном комплексе «Cyclone»: выбирается «нулевая» точка отсчета координат (0, 0, 0) далее в облако точек здания по четырем углам были вписаны условные направляющие, по которым определялись отклонения углов здания, набор точек направляющей оси проводились через 10 см на высоту 6 м. 6. Полученный набор точек экспортировался в программу MS Excel для построения графиков геометрических параметров направляющей оси стены. 	<p>Для оценки поведения грунта использовать упругопластическая модель с изотропным упрочнением Hardening Soil Model</p> <p>Оценка деформаций ползучести органо-минерального грунта можно использовать Sekiguchi-Ohta, Cam-Clay models или Soft Soil Creep Model, которая использовалась в данной работе. Результаты численного моделирования и лабораторных испытаний показали, что модель Soft Soil Creep достаточно точно моделирует процессы фильтрационной и вторичной консолидации.</p>

Инженерное сооружение	Технология наземного лазерного сканирования	МКЭ
Проекторная мачта	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создать планово-высотное обоснование 2. Вычислить и урвать координаты точек опорной геодезической сети 3. Выполнить съемку наземного лазерного сканирования мачты методом трехштативной тахеометрической съемки, в высоком качестве, среднее время сканирования 20 минут на станции. 4. По материалам сканирования (облаков точек) выполняется шивка и уравнивание невязки сканов. 5. Обработка материалов полевых измерений выполняется в программном комплексе «Cuslope»: для нахождения оси мачты - через каждые 2 метра и на стыках секций производился поперечный разрез мачты. Затем в получившийся разрез вписывался многоугольник, центр которого должен совпадать с осью мачты. Полученные центры затем соединялись линией, образуя ось мачты. На стыках секций делалось два разреза – нижней и верхней секции, в результате чего были получены корректные оси для каждой секции отдельно. 6. Полученная геометрия конвертировалась затем в формат, поддерживаемый программой AutoCAD, где происходила дальнейшая обработка результатов и измерение геометрических характеристик мачты. 	<p>Для оценки поведения грунта использовать сложные (advanced soil constitutive models) модели, Soft Soil Creep model (SSC), модель обычно подходит для всех почв, но она не учитывает</p> <p>вязкие эффекты, т. е. ползучесть и релаксацию напряжений. Фактически, на всех почвах наблюдается некоторая ползучесть и первичное сжатие, таким образом, сопровождается определенным количеством вторичного сжатия. Например, упруго-пластическая модель Plaxis Mohr-Coulomb. Эта модель использовалась в расчете мачт, она представляет собой приближение «первого порядка» поведения почвы или породы. Рекомендуется использовать эту модель для первого анализа проблемы.</p>

Диагностирование состояния объекта и результаты периодических наблюдений за его состоянием позволяют разработать решения, обеспечивающие его надежную работу на заданном уровне. Набор таких решений может включать в себя:

- проведение надзора за текущим состоянием объекта в обычном порядке (для объектов, запас устойчивости, которых выше или равен нормативному, а дефекты не обнаружены или развиты в степени незначительно влияющей на устойчивость сооружения);
- проведение надзора и текущим состоянием как за неустойчивым объектом с установкой на объекте режимных, в том числе инструментальных наблюдений (для деформирующихся и потенциально-опасных объектов);
- изменение условий эксплуатации объекта;
- включение объекта в план капитального ремонта;

- немедленное начало работ по усилению и стабилизации деформирования конструктивных элементов инженерного сооружения, до возникновения на объекте аварийных ситуаций.

Важно отметить, что результаты комплексирования методов наземного лазерного сканирования и конечных элементов позволяют принять обоснованные технические решения по сохранению инженерного сооружения в стабильном состоянии.

Таблица 6.2 Рекомендуемые меры при обнаружении признаков нестабильного состояния инженерного сооружения

№	Признаки нестабильного состояния	Оценка состояния объекта	Рекомендуемые меры
1	По материалам наземного лазерного сканирования(НЛС) деформации не фиксируются или проявляются эпизодически со скоростью не более 5мм в год, Визуально на объекте повреждений (трещин, отслаивания строительных материалов и т.п.) нет.	Объект относительно устойчив, его состояние приближенно к нормативному, безопасность обеспечивается.	Продолжать наблюдения с частотой не реже чем раз в год.
2	По материалам НЛС деформации фиксируются или проявляются эпизодически со скоростью 5-10мм в год, На некоторых участках объекта, наблюдаются незначительные признаки деформирования или имеются небольшие повреждения целостности конструкций.	Объект относительно устойчив, его состояние приближенно к нормативному, безопасность обеспечивается.	Продолжать наблюдения с частотой не реже чем раз в год.
3	По материалам НЛС деформации фиксируются или проявляются со скоростью 10-20мм в год, На некоторых участках объекта, наблюдаются признаки деформирования или имеются повреждения целостности конструкций.	Объект находится в предельном состоянии, очень вероятно дальнейшая активизация деформаций	Требуется увеличить частоту наблюдений до 2 раз в год, разработать проект противодеформационных мероприятий в плановом порядке.
3	Скорость деформирования по материалам НЛС составляет 20-40 мм в год, появление крупных трещин и наблюдается видимое разрушение строительных материалов объекта.	Объект в неустойчивом состоянии, имеют место интенсивные деформации, возможен переход в прогрессирующее деформирование.	Наблюдения раз в квартал, постоянный надзор за деформациями конструктивных элементов, внеочередное проектирование противодеформационных мероприятий.
4	Скорость деформирования 50 мм в год и более, четко определяются деформации конструктивных элементов.	Объект в критическом состоянии, аварийная ситуация возможна в любой момент	Наблюдение на объекте до снижения скорости деформирования не реже одного раза в месяц, экстренное проведение работ по стабилизации объекта.

Разработанная в данной работе комплексная методика оценки деформаций при помощи наземного лазерного сканирования и определения напряженно-деформированного состояния грунтового массива в рамках геотехнического мониторинга была практически применена при инженерных изысканиях в ходе работ по реконструкции железнодорожного моста на перегоне Джебь - Щетинкино Красноярской железной дороги, для обоснования капитального ремонта исторического здания театр юного зрителя в г. Томске по пер. Нахановича 4, по обследованию фактических геометрических параметров прожекторных мачт на Ванкорском нефтегазовом месторождении, которое расположено в Туруханском районе Красноярского края.

Инженерные изыскания в процессе геотехнического мониторинга вышеупомянутых инженерных сооружений с применением непосредственно разработанной методики выполнялись лично автором настоящей работы.

Ключевым итогом практического применения разработанной методики является возможность достоверной численной оценки актуального состояния инженерного сооружения и фиксирования перемещения его в пространстве на основании комплексного подхода анализа НДС грунтового массива и лазерного сканирования. Наземное лазерное сканирование дало возможность обнаружить тенденцию развития деформаций, что в свою очередь поможет наилучшим образом объяснить причину их развития.

6.3. Выводы по главе 6

1. Выполненные работы позволили оценить деформационные изменения инженерных сооружений различного назначения, так, было установлено, что причиной деформации опор железнодорожного моста являлось ненадлежащее качество бетона, у исторического здания – инженерно-геологические условия, а у прожекторной мачты – ошибки проектирования конструкции.

При изучении деформаций опор **виадука** доказано, что уменьшение прочности бетона фундамента приводит к значительному увеличению вертикальных напряжений и деформаций. Обеспечение достаточной точности расчетов связано с необходимостью проведения полноценных лабораторных и полевых исследований для определения механических свойств грунтов. Показано преимущество комплексирования методов по

оценке геометрии объекта и МКЭ для описания напряженно-деформированного состояния объекта.

При исследовании деформаций исторического здания ТЮЗ в г. Томске совместное рассмотрение геологического разреза и систем трещин, полученных при помощи наземного лазерного сканирования в 2012 и 2017 гг., свидетельствуют о том, что наземная конструкция деформируется по диагонали, параллельно направлению бровки первой надпойменной террасы, вдоль реки Томь. Трехмерная модель позволила определить направление максимальных деформаций здания, что затруднительно при обычной съемке объекта.

Грубая (при отсутствии характеристик геологического разреза сферы взаимодействия) оценка вклада в деформации грунтовых условий, позволила установить, что они составляют треть от наблюдаемых. Концентрация трещин связана с пристройками с западной и восточной сторон здания. Деформации в зоне сочленения разновременных построек максимальны, кроме того, пристройки опираются на фундамент с меньшей глубиной заложения. Продолжающиеся во времени деформации, вероятно связаны с ползучестью органо-минеральных грунтов мощностью до 2 м, вскрытых скважинами в непосредственной близости от здания.

Выполнение полноценного обследования грунтового основания перед реконструкцией позволило бы избежать развития трещин после капитального ремонта сооружения 2012 г. Результаты указывают на важность рассмотрения триады: наземная конструкция – фундамент – основание, как единой системы. Предложенный метод обнаружения геометрических дефектов методом наземного лазерного сканирования и использования полученных данных в расчетной модели может быть использован при реставрации других исторических объектов.

Моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового основания прожекторной **мачты** на Ванкорском нефтегазоконденсатном месторождении позволило оценить вклад грунтовых условий в деформациях мачты. Предположение, что деформации мачты могут быть обусловлены специфическими характеристиками грунтового основания: высокой сжимаемостью грунтов сезонно-талого слоя, ползучестью многолетнемерзлых пород в длительной перспективе и изменениями механических свойств грунтов при изменении их температурного режима, не подтвердилось. Вертикальные перемещения грунтового массива составили всего 0,8 мм, горизонтальные перемещения – 0,14 мм. Вклад грунтовых условий оказался минимальным. Фундамент устроен правильно с учетом особенностей грунтов этой

климатической зоны. Деформации мачты с молниеотводом на 94% обусловлены строительными свойствами надземной части конструкции.

2. Технологический регламент рассматривает основные этапы наблюдений, методы обработки полученной информации для выполнения конкретно поставленных задач по обеспечению надежности инженерных сооружений имеющие опасные деформации. Выделены критерии потенциально опасных объектов и даны рекомендации обеспечивающие их надежную работу на заданном уровне.

3. Технологический регламент требует дальнейшего опробования на других инженерных объектах, а впоследствии может быть использован для совершенствования нормативной базы геотехнического мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполненный в диссертационной работе анализ показал существующие пробелы в действующих методиках регистрации влияния деформаций грунтового массива на исправное состояние инженерных сооружений и отсутствие полноценной нормативной базы в области геотехнического мониторинга объектов строительного назначения, делающей возможным предупреждение возникновения аварийных ситуаций.

2. Главными отличительными чертами деформационных процессов оснований инженерных сооружений оказываются их пространственный и неравномерный характер в связи с чем происходят пространственные деформации всего объекта наблюдения, это нужно принимать во внимание для полной, объективной картины их воздействия на исправное техническое состояние.

3. Разработана комплексная методика оценки воздействия неравномерных деформаций оснований на исправное состояние инженерных сооружений, содержащая мониторинг пространственных перемещений массива точек инженерного сооружения с использованием наземного лазерного сканирования, а также оценка изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового основания в процессе зафиксированных результатов в ходе геотехнического мониторинга.

4. На основании исследуемых объектов можно сделать следующий вывод: при конвертации результатов лазерного сканирования, в итоговую модель, созданный массив точек инженерного сооружения, каждая точка которого имеет свои координаты

в пространстве, они, в свою очередь совпадают с узлами модели для оценки НДС, а изменение их в пространстве и есть предмет контроля геотехнического мониторинга.

5. Проведенные исследования позволили получить следующие результаты. Численная характеристика состояния перемещения основания, на примере Козинского виадука, определявшаяся при помощи полученных в процессе геотехнического мониторинга изменений инженерного сооружения, для чего было проведено сравнение первоначальной модели, построенной на основе проектной документации и первоначальных инженерных обследований, и итоговой модели, обновленной в процессе мониторинга при участии наземного лазерного сканирования, составил 43 мм.

6. На основании проведенного исследования исторического здания разработана расшифровка данных наземного лазерного сканирования при которой можно не только фиксировать перемещение в пространстве конструктивных элементов инженерного сооружения, но определить тенденцию всего изменения положения массива точек в целом.

7. Разработанные методологические основы мониторинга обработки результатов лазерного сканирования и оценки НДС грунтового массива, на примере прожекторной мачты позволили, в полной мере, ответить на вопрос, в результате чего произошли деформации, превышающие нормативные.

8. Полученные результаты исследований комплексного определения деформаций при помощи наземного лазерного сканирования и оценки НДС грунтового массива в результате геотехнического мониторинга дают возможность определить необходимость осуществления текущих ремонтных работ по поддержанию или реконструкции исправного состояния инженерного сооружения до мгновения, когда возникнет аварийная ситуация, это в свою очередь способствует уменьшению трудовых затрат и стоимости работ в целом.

9. Результаты диссертационного исследования были применены в практической деятельности в результате комплексных инженерных изысканий в процессе мониторинга мостовых сооружений на перегоне Джебь - Щетинкино Красноярской железной дороги, исторического здания в котором располагается театр юного зрителя в г. Томске, прожекторных мачт на Ванкорском нефтегазовом месторождении, которое расположено в Туруханском районе Красноярского края.

10. Технологический регламент требует дальнейшего опробования на других объектах, а впоследствии может быть использован для совершенствования нормативной базы геотехнического мониторинга.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров Б.Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений // Ползуновский вестник. - 2011. - № 1. - С. 19-29.
2. Антоненко, М. В. Применение данных воздушного лазерного сканирования при проведении инженерных изысканий / Антоненко М. В., Зименко Д. Н., Погорелов А. В. // Нефт. х-во. – 2014. – № 11. – С. 6–10.
3. Бойко В.П. Купечество Западной Сибири в конце XVIII–XIX в. Очерки социальной, отраслевой и ментальной истории [Текст]: монография / В.П. Бойко / под. ред. В.П. Зиновьева. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. – 308 с.
4. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. – М., Недра, 1986. – 333 с.
5. Бондарик Г.К., Чан Мань Л., Ярг Л.А. Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов: Монография / -М.: ПНИИИС, 2009. - 260 с.
6. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Методика инженерно-геологических исследований. - М.: КДУ.2014. - 413с.
7. Бруевич, П.Н. Фотограмметрия [Текст]: учеб. для вузов / П.Н. Бруевич. - М.: Недра,1990. – 285 с.
8. Вальков В.А. Геодезические наблюдения за процессом деформирования высотных сооружений с использованием технологии наземного лазерного сканирования: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.32 / Вальков Вячеслав Александрович. Санкт-Петербург, 2015. – 158 с.
9. Волкова Е.В. Результаты сравнения геокриологического мониторинга систем температурной стабилизации грунтов оснований различных производителей // Материалы Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной XX-летию создания ООО НПО «Фундаментстройаркос» – Тюмень: Сити-Пресс, 2011. С.335-340.
10. Вязкова О. Е. Природно-археологические системы: понятие, структура, этапы формирования и функционирования // Известия вузов. Геология и разведка. – 2015. – № 6. – С. 57–59.
11. Ганова С.Д. Геоэкологические аспекты создания и функционирования природно-технических систем в условиях криолитозоны Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2017. – № 5. – С. 58–64.
12. Ганова С.Д., Жаркова К.В. Диагностика профессионально важных личностных качеств менеджера среднего звена в нефтегазовой отрасли // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ). Материалы Международной научно-практической конференции. – Москва: МГРИ–РГГРУ, 2018. – Т.2. – С. 106–107.
13. Ганова С.Д., Сотникова А.О. Нормализация риска в техносфере // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ). Материалы Международной научно-практической конференции. – Москва: МГРИ–РГГРУ, 2018. – Т.2.– С. 108–109.

14. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений [Текст]. - введ. 2013 – 07 – 01. – Москва: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
15. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету [Текст]. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015.-16 с.
16. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – утв. Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве, 2011. – 83 с.
17. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, 2010. – 56 с.
18. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Изд. второе. Минусинская серия. Масштаб 1:200 000. – ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2007. – С. 1
19. Грязнова Е.М. Геотехнический мониторинг в строительстве учебное пособие / А.Н. Гаврилов, Д.Ю. Чунюк, К.С. Борчев М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. 80 с.
20. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – № 1. – С.1–47.
21. Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: уч. пособие. – М.: КДУ, 2008. –542 с.
22. Донец, А.М. Геодезический мониторинг высотных зданий и сооружений с помощью высокоточных спутниковых методов [Электронный ресурс] / Донец А.М.// Геопрофи. - М., 2005. - №5. - С.17-19. Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/geoprofi>.
23. Емельянова Т.Я. Инженерная геодинамика. Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2000.- 156 С.
24. Емельянова Т.Я. Роль кафедры ГИГЭ в изучении инженерно-геологических условий территории Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № .6. – С. 177-182.
25. Епифанова Е.А. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтового массива с учетом наземного-лазерного сканирования на примере железнодорожного виадука // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам X Междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р. Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – Т.2. – С.91-93.
26. Епифанова Е.А., Строкова Л.А. Анализ деформаций прожекторной мачты при помощи наземного лазерного сканирования и метода конечных элементов //

- Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 5. (Принята к печати).
27. Епифанова Е.А., Строкова Л.А. Оценка деформаций исторического здания в Томске с помощью комплексного подхода, основанного на сочетании наземного лазерного сканирования и конечно-элементного моделирования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 5. – С.27–41.
 28. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. [Учеб. для вузов по спец. "Гидрогеология и инж. геология"] / Г. С. Золотарев. - М. : Изд-во МГУ, 1983. - 328 с.
 29. Золотова, Е. В. Градостроительный кадастр с основами геодезии: учеб. для студентов архитектурно-строит. вузов / Е. В. Золотова, Р. Н. Скогорева. - М.: Архитектура-С, 2008. - 175 с.: ил. - Прил.: с. 162-170. Библиогр.: с. 171. - ISBN 978-5-9647-0145-3.
 30. Информационно-строительный портал: <http://library.stroit.ru/articles/verhstroy/>
 31. Информационный сайт архитектурно-строительного портала: <http://ais.by/story/1053>
 32. Информационный сайт компании (<http://sovzond.ru/services/laser-scanning/>)
 33. Информационный сайт компании <http://stroy-spravka.ru/article/prichiny-vozniknoveniya-neravnomernykh-osadok>
 34. Информационный сайт компании <http://www.fort21.ru/cont/content.php?id=689>
 35. История и пути развития электронных геодезических приборов. URL: http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2013/3/Alkacheva_Shishov_Pastuhov_3.pdf
 36. Калачев, В. Я. Инженерные сооружения: [Учеб. пособие для геол. спец. вузов] / В. Я. Калачев, С. Н. Максимов. - М.: Изд-во МГУ, 1991. - 297, [2] с.
 37. Киргизбаева, Д. М. Моделирование структурных особенностей массива / Киргизбаева Д. М. // Проблемы освоения недр в 21 веке глазами молодых: 11 Международная научная школа молодых ученых и специалистов, Москва, 24-28 ноября 2014. – М., 2014. – С. 72–77.
 38. Комиссаров, А. В. Общий подход к изучению погрешностей наземной лазерной съемки, вызванных метрологическими свойствами объектов / Комиссаров А. В., Широкова Т. А., Комиссаров Д. В. // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
 39. Коргин А.В. Анализ нормативной документации по мониторингу технического состояния зданий и сооружений, совершенствование методов мониторинга на базе центра структурированных систем мониторинга ФГБОУ ВПО «МГСУ» / Захарченко М.А., Емельянов М.В., Ермаков В.А., Рубцов И.В., Кухта А.В. // Вестник МГСУ. - 2011. - №. 8.- С. 212-221.
 40. Коргин А.В. Мониторинг технического состояния ответственных сооружений с использованием современных геодезических методов измерений и численного анализа методом конечных элементов. /Захарченко М.А., Ермаков В.А. // Мониторинг. - Наука и безопасность. - 2011. - №. 3. - С. 58-63.

41. Коргин А.В. Особенности построения интеллектуальных систем автоматического мониторинга технического состояния ответственных строительных сооружений. / Емельянов М.В. // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. - №. 3.- С. 32-34.
42. Коргин, А.В. Контроль технического состояния сооружений повышенной ответственности в ходе эксплуатации, методология и инструментальные средства [Текст] / А.В. Коргин // Материалы заседания научно-технического совета МГСУ по проблеме «Вопросы обеспечения надежности и живучести большепролетных конструкций покрытий». - М.: 2008. - С.57-63.
43. Коргина, М. А. [Текст]: Оценка напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Коргина Мария Андреевна. – Москва, 2008. – 225с.
44. Королев В.А. Лабораторные работы по грунтоведению: уч. пособие/ В.А. Королев и др. – М.: Высш. шк., 2008 –519 с.
45. Королев В.А. Мониторинг геологической среды: Учебник / Под редакцией В.Т. Трофимова.-М.: Изд-во МГУ, 1995.-272 с.
46. Краткая история развития технологии GPS. URL: http://gpsclub.ru/gps_think/detail.php?ID=82007
47. Кугаевский, В.И. Применение наземных лазерных сканеров при фасадных съемках [Текст] / В.И. Кугаевский// Интерэкспо- Геосибирь. – 2013. – №.3. – С.4
48. Лазерный сканер. URL: <http://www.geodan.ru/lazer.shtm>
49. Лузгина Е.А. Сравнение компьютерного моделирования развития осадок здания с результатами геотехнического мониторинга. / Маковецкий О.А.// Современные технологии в строительстве. Теория и практика. - 2018. -Т. 1. - С. 30-39.
50. Мальцев А.В. Актуальные задачи геотехнического мониторинга системы «сооружение-основание» / Чижкова Я.А., Атлашова И.А. // в сборнике: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2016. - С. 211-214.
51. Мангушев Р.А. Инженерно-геотехнические изыскания при строительстве и реконструкции в условиях плотной городской застройки. /Конюшков В.В., Сапин Д.А. // Промышленное и гражданское строительство. - 2016. - № .5. - С. 47-54.
52. Маслов Л.Б. Численные методы механики. Курс лекций. – Иваново: Изд. ИГЭУ, 2006. – 128 с. – Режим доступа: <https://elib.ispu.ru/library/lessons/Maslov>
53. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст]. — Взамен МГСН 2.07-97; введ. 2003-04-22. — М.: ГУП «НИАЦУ»,2003.
54. МГСН4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий комплексов в городе Москве [Текст]. - Введ. 2005-28-12 / Правительство Москвы. - М., 2005.
55. Метелкин, А.И. Указания по проектированию и производству геодезических и фотограмметрических работ в строительстве и архитектуре [Текст]: учеб. -

- технолог. издание / А.И. Метелкин, И.П. Интулов, А.Д., Баранников, О.В. Рукина. М.: АСВ, 2003. – 344 с.
56. Мещерякова А.М. Влияние пониженных характеристик грунта на напряженно-деформированное состояние здания. / Ловцов А.Д. // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. - 2013. -№ .1. - С. 201-205.
 57. Мирсяпов И.Т., Геотехнический мониторинг здания при реконструкции памятника истории и архитектуры. / Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2016. - № 4 (38). - С. 270-276.
 58. Николаев Н.А. Трехмерный кадастр недвижимости как новая ступень развития кадастровых систем [Электронный ресурс]/ Чернов А.В. – Режим доступа: <http://geosiberia-2014.ssga.ru/events/konferencii/conference-3/sekcia-3-4>.
 59. Ольховатенко В. Е. Опасные природные и техноприродные процессы на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем / В. Е. Ольховатенко, М. Г. Рутман, В. М. Лазарев ; Том. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Томск : Печ. мануфактура, 2005. - 151 с
 60. Офрихтер В.Г., Офрихтер Я.В. Прогноз напряженно-деформированного состояния твердых бытовых отходов с использованием модели слабого грунта // Вестник МГСУ . – 2014. – № .9. – С. 82–92.
 61. Пандул, И.С. Геодезические работы при изысканиях и строительстве гидротехнических сооружений. - СПб.: Политехника. - 2008. – 154 с.
 62. Пасечник Е. Половина пути пройдена // Гудок. – 2016. – №184 (26089). – С.3.
 63. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. / ПИ «Геореконструкция» – СПб., – 2013. – 333 с.
 64. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии: Учебное пособие / В.В. Пендин. - М.: КДУ, 2009. - 350 с.
 65. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 618 с.
 66. Полищук А.И. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов в основании фундаментов с использованием численных методов. / Самарин Д.Г., Филиппович А.А. // Вестник гражданских инженеров. - 2013. - № 2 (37). - С. 86-90.
 67. Полищук А.И. Реконструкция здания генетической клиники НИИ Медицинской Генетики Томского научного центра СО РАМН. / Петухов А.А., Таюкин Г.И. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. - 2015. - № 1. - С. 166-184.
 68. Полищук А.И. Реконструкция подвальной части административно-торгового здания. / Петухов А.А., Тарасов А.А. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. - 2015. - № 2. - С. 130-160.
 69. Пономарев А.Б. Геотехнический мониторинг жилого дома. / Захаров А.В., Сазонова С.А., Калошина С.В., Безгоднов М.А., Шенкман Р.И., Золотозубов Д.Г. // Жилищное строительство. - 2015. - № 9. - С. 41-45.

70. Рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных вблизи нового строительства или реконструкции. - введены в действие указанием Москомархитектуры. – 1998. –85 с.
71. Рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных в зоне нового строительства или реконструкции [Текст]. - Введ. 1998-18-11. - М.: ГУП «НИИЦ» - 1998. - 92с.
72. Рыльский И.А., Малеванная М.С. Наземные лазерные методы – новые подходы к информационному обеспечению географических исследований // Геодезия и картография. – 2014. – № 8. – С. 38-48.
73. Рященко Т. Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь) / Т. Г. Рященко ; отв. ред. В. В. Ружич ; Ин-т земной коры СО РАН. - Иркутск : ИЗК СО РАН, 2010. - 287 с.
74. Свердлик, С.Н. О возможности мониторинга смещений высотных объектов с помощью одночастотной спутниковой аппаратуры Глонасс /GPS [Электронный ресурс] / С.Н. Свердлик, С.Н. Цуцков // Гео-профи. - М., 2006. — №6. Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru>
75. Светашков А.А., Куприянов Н. А., Манабаев К. К. Приближенный алгоритм решения задач линейной вязкоупругости // Вычислительная механика сплошных сред. – 2012. – Т. 5. – № 3 . – С. 292-299.
76. Селезнева, Е.В. Применение лазерного сканирования в геоморфологических исследованиях / Селезнева Е. В. // Вестн. МГУ. Сер. 5. – 2013. – № 2. – С. 47–53.
77. Сергеев Е.М. Инженерная геология. - М.: Альянс, 2014. - 248 с.
78. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. 261 с.
79. Сотников, С.Н. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений [Текст]: (опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР)/ С.Н. Сотников, В.Г. Симагин, В.П. Вершинин; Под ред. С.Н. Сотникова. - М.: Стройиздат,1986. - 96с.: ил.
80. СП 11-194-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Текст]. - Введ. 1998-01-01 / Госстрой России - М: ПНИИИС,1997.
81. СП 126.13330.2012. Геодезические работы в строительстве. –Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84, 1985. – 84 с.
82. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений- М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. - 54 с.
83. СП 16.13330.2010. Акт. ред. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М., 2011. – 178 с.
84. СП 20.13330.2016 Акт. ред. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М., 2016. – 104 с.
85. СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – утв. приказом Министерства строительства и

- жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 октября 2017 г. N 1435/пр и введен в действие с 18 апреля 2018 г -36 с.
86. СП 43.13330.2012 Акт. ред. СНиП 2.01.03-85. Сооружение промышленных предприятий. – М., 2012. – 106 с.
 87. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций /Госстрой России. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2004. – 131 с.
 88. СП22.13330.2016 Аут. Ред СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений [Текст]. - Введ. 2017-07-01. - М.: Минстрой России, 2017. - 224 с.
 89. Строительные нормы и правила: СНиП 10-01-2003 Система нормативных документов в строительстве. Основные положения. – утв. Постановлением Госстроя РФ, 1994. – 66 с.
 90. Строкова Л.А. Инженерно-геологическое районирование территории Томского Приобья по степени устойчивости геологической среды к техногенной нагрузке // Дис... к.г.-м.н. – Томск: Изд. ТПУ, 1997. – 200 с.
 91. Строкова Л.А. Инженерные сооружения: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 114 с.
 92. Строкова Л.А. Учет ледникового переуплотнения грунтов при расчете гибкой консольной подпорной стенки // Известия Тульского госуниверситета. Серия: Естественные науки. – 2009. – Вып. 2. – С. 281–289.
 93. Строкова Л.А. Учет переуплотнения грунтов в расчетах оседания земной поверхности при сооружении туннелей // Известия ТПУ. – 2010. – Т.316. – № 1. – С.147–151.
 94. Строкова Л.А., Епифанова Е.А., Коржнева Т.Г. Численный анализ поведения основания опоры моста на старой железнодорожной линии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 5. – С.125–139.
 95. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства участка газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – № 4. – Т. 326. – С.41–55.
 96. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Районирование территории по степени опасности оседания земной поверхности при проектировании магистрального газопровода в южной Якутии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т.327. – №.10. – С.59–68.
 97. Строкова Л.А., Тарек С.С.Т., Голубева В.В. Иванов В. Численное моделирование влияния упрочнения грунтового массива цементно-песчаной инъекцией на деформации основания // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 10. – С. 6–17.
 98. Строкова, Л. А. Научно-методические основы численного прогноза деформирования грунтовых оснований дис. ... докт. г.-м. наук: 25.00.08 / Строкова Людмила Александровна; [Место защиты: Институт земной коры Сибирского отделения РАН]. - Иркутск, 2011. - 161 с.

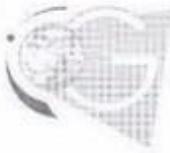
99. Строкова, Л. А. Определяющие уравнения для грунтов = Soil Constitutive Models: учебное пособие / Л. А. Строкова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). - 3-е изд. - Томск: Изд-во ТПУ, 2011. - 150 с.: ил. - Прикладная геология. — Библиогр.: С. 144-150. — ISBN 978-5-98298-795-2
100. Строкова, Л. А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов : учебное пособие / Л. А. Строкова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — 143 с.: ил. - Библиогр.: С. 141-142. - ISBN 978-5-98298-654-2
101. Сухин, В.В. Многоликий мониторинг [Электронный ресурс] / В.В. Сухин // Строительная орбита. - М., 2005. - № 7. Режим доступа: <http://www.stroyorbита.ru/arhiv/iyule2005/monitoring.htm>
102. Таракановский, В.К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций и грунтов оснований высотных зданий [Текст] / В.К. Таракановский // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сборник научных трудов. Вып. 9. – М. – 2011. – С. 243-262.
103. Технические рекомендации: ТР 182-08. Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений. – утв. директором ГУП «НИИМосстрой», 2008. – 26 с.
104. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях грунтов основания моста на 598 км по объекту «Комплексное развитие участка Междуреченск-Тайшет Красноярской железной дороги. Строительство вторых путей на перегоне Джебь-Щетинкино». / НИЛ «Геология, основания, фундаменты и земляное полотно» СГУПС. – Новосибирск, 2011. – 25 с.
105. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям: «Защита территорий г. Томска на правом берегу р. Томи от коммунального моста до устья р. Ушайки от негативного воздействия вод», в рамках государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов Томской области в 2013 – 2020 годах» / ОАО Томский проектно-изыскательский институт транспортного строительства «Томгипротранс». – Томск: Томгипротранс, 2015. Ч.1. Т.2. – 100 с.
106. Трофимов В. Т. Грунтоведение: учебник для вузов / В. А. Королев, Е. А. Вознесенский и др. – М. : Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2005. — 1023 с.
107. Трофимов В.Т. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, и др. – М.: КДУ. – 2011. – 672 с.
108. Трофимов В.Т. Инженерная геология России. Том 2. Инженерная геодинамика территории России /Трофимов В. (ред.) России: М.: КДУ. – 2013. – 816 с.
109. Трофимов В.Т. Инженерная геология России. Том 3. Инженерно-геологические структуры России: М.: КДУ. – 2015. – 710 с.
110. Трубочанинов А.Д. Автоматизация решения геодезических задач: Шахов. А.В., Учебное пособие. -2004. - С. 12-17.
111. Ухов, С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты[Текст]: учебник / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев. — М.: АСВ, 1994.— 527с.: ил.

112. Федеральный закон: ФЗ №184 «О техническом регулировании». – утв. Государственной Думой РФ, 2002. – 79 с.
113. Федосеев Ю.Е. Оценка степени влияния опасных геологических процессов при инженерно-геодезических изысканиях для обеспечения реконструкции сооружений. В сборнике: Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг Материалы первой Общероссийской научно-практической конференции. - 2017. - С. 105-126.
114. Ценюга И.Н. «Трасса мужества» 20 декабря - 50 лет со времени открытия регулярного движения поездов на линии «Абакан-Тайшет» (1965) Трасса мужества (Строительство трассы Абакан-Тайшет) [Электронный ресурс] // Железнодорожник: история российских железных дорог. – 2010-2014. – Режим доступа: zheleznodorozhnik.rf/istoricheskaja_spravka/trassa_muzhestva.html
115. Что такое GPS?. [Электронный ресурс] // URL: <http://rn21.livejournal.com/224459.html>
116. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: монография / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова//. - Нижний Новгород: ННГАСУ. - 2009. - 156 с.
117. Яковлев А. Н., Токмаков Е. В., Павлов О. В., Ли В. Г., Искрин А. Н., Коржнева Т. Г. Применение наземного лазерного сканирования и трехмерного информационного моделирования для неразрушающего контроля // Известия вузов. Физика.– 2013. – Т. 56. – № 12. ч. 2. – С. 72–75.
118. Connor R.J., Callahan G., Koob M., Hodgson I.C., Brakke B.L. Field and Laboratory Studies on High-Mast Lighting Towers in Iowa Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa, August 2007. – 2007. – 16 p.
119. Connor R.J., Hodgson I.C. Field Instrumentation, Testing, and Long-term Monitoring of High-mast Lighting Towers in the State of Iowa. Ames, IA: Iowa Department of Transportation. – 2006. – 56 p.
120. Das G., Chakrabarty S., Dutta A.K., Das S.K., Gupta K.K., Ghosh R.N. Failure analysis of a high mast lamp post // Engineering Failure Analysis. – 2006. – Vol. 13 (17). – P. 1153-1158.
121. De Vos M., Whenham V. Innovative design methods in geotechnical engineering. Belgian Building Research Inst., Belgium. 2006. P. 90 (стр.54 ссылка 15)
122. Dexter R.J. Investigation of Cracking of High-mast Lighting Towers. Ames, IA: Iowa Department of Transportation. – 2004. – 46 p.
123. Dilawer S.I., Junaidi A.R., Mehdi S.N., Ahmed G.M.S. Design and commissioning of high mast lighting poles. // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. – 2013. –Vol. 8. – Issue 6. – P. 40-46.
124. Gallay M., Lloyd C.D., McKinley J., Barry L. Assessing modern ground survey methods and airborne laser scanning for digital terrain modelling: A case study from the Lake District, England. // Comput. and Geosci. – 2013. – Т. 51. – P. 216–227.
125. Goode J. S., Van de Lindt J. W. Reliability-based design of medium mast lighting structural supports // Structure and Infrastructure Engineering. – 2013. – 9, 6. – P. 594–600.

126. Hao Yang., Mohammad Omidalizarandi., Xiangyang Xu., Ingo Neumann.// Terrestrial Laser Scanning Technology for Deformation Monitoring and Surface Modeling of Arch Structures. // *Composite Structures*.– 2016. – P. 93–105.
127. Knudsen B.S. Comparison of 2D and 3D FEM Calculations, Strengthening of the Little Belt Bridge of 1935 in Denmark // *Proc. 23rd European Young Geotechnical Engineers Conference, Barcelona 2-5 September 2014* / Eds. M. Arroyo & A. Gens. Universitat Politècnica de Catalunya.– Barcelona. – 2014. – P.77–80
128. Latypov A., Zharkova N., Nuriyev I. Landslide hazard assessment in city under construction Innopolis (Russia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – № 33. – 6 p.
129. Lichti D. D. A method to test differences between additional parameter sets with a case Photogrammetry and Remote Sensing. – 2008. – Vol. 63(2). – P. 169–180.
130. Lichti D. D., Franke J., Cannel W., Wheeler K. D. The potential of terrestrial laser scanners for digital ground surveys. // *J. Spat. Sci.* – 2005. – Vol. 50. – № 1. – P. 75–89.
131. Plaxis. *Material Models Manual*. 2016. – 216 p.
132. Pukanská, Katarína. Comparison of survey results of the surface quarry Spišské Tomášovce by the use of photogrammetry and terrestrial laser scanning. / Pukanská Katarína, Bartoš Karol, Sabová Janka // *Inž. miner.* – 2014. – Vol. 15. – № 1. – P. 47–54.
133. Purgina D.V., Strokova L.A., Kuzevanov K.I. Modeling of changing hydrogeological conditions during construction of pier foundations on the Kama river bank // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.– 2016. – №. 33. – 6 p.
134. Sherman, R. J., Hebdon, M., Connor, R. Fatigue Testing and Retrofit Details of High-Mast Lighting Towers // *Engineering Journal (American Institute of Steel Construction)*. – 2016. – Vol. 53(1). – P. 61–72.
135. Sternberg H. Deformation measurements at historical buildings with terrestrial laserscanners / *IAPRS Dresden 25-27 September 2006*. – 2006. –Vol. 36. – Part 5. – P. 303–308.
136. Strokova L. A. Modeling of tunneling-induced ground surface movement // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2015. – Vol. 24. – 6 p.
137. Strokova L.A., Ermolaeva A.V., Golubeva V.V. The Investigation of Dangerous Geological Processes Resulting In Land Subsidence While Designing the Main Gas Pipeline in South Yakutia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – №. 43. – 6 p.
138. Strokova L.A., Teterin E. A. Identification, diagnosis and ranking of risks of geohazard in pipeline and urbanized territories // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – Vol. 43. – 6 p.
139. Vacca G., Mistretta F., Stochino F., Dessi A. Terrestrial laser scanner for monitoring the deformations and the damages of buildings // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. – 2016. – Vol. 41. – Issue B5. – P. 453-460.
140. Vermeer, P.A., Neher, H.P. A soft soil model that account for creep. *Beyond 2000 in computational geotechnics*. – Balkema, 1999. – pp.249–261.

141. Xu X., Yang H., Neumann I. Time-efficient filtering method for three-dimensional point clouds data of tunnel structures // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2018. – 10 (5). – P. 1–6.
142. Yang H., Omidalizarandi M., Xu. X., Neumann I. Terrestrial Laser Scanning Technology for Deformation Monitoring and Surface Modeling of Arch Structures. // *Composite Structures*. – 2016. – P. 93–105.
143. Yang H., Xu X., Neumann I. Laser scanning-based updating of a finite element model for structural health monitoring // *IEEE Sensor*. – 2016. – V.7. – P. 2100–2104.
144. Yardim, Y., Mustafaraj, E. Effects of soil settlement and deformed geometry on a historical structure // *Natural hazards and Earth System Sciences*. – 2015. – Vol. 15. –P. 1051-1059.

ПРИЛОЖЕНИЕ



ООО «ГЕОПРОГРЕСС»
634021, г. Томск, ул. Сибирская, д. 102/4 - 12
ИНН 7017348247 КПП 701701001 ОГРН 1147017003473
тел.+7 (909) 545-54-16, e-mail: tomgeoisk@mail.ru

09.09.2018. № 1233-У
На № _____ от _____

Акт о внедрении результатов научно-исследовательской работы Епифановой Е.А.

Результаты научно-исследовательской работы Епифановой Е.А. на тему «Комплексирование методов наземного лазерного сканирования и конечных элементов при решении инженерно-геологических задач на объектах, имеющие опасные деформации» внедрены в 2017 г., при проведении инженерного обследования и мониторинга технического состояния исторического здания по пер. Нахановича д. 4 в г. Томске. Использование разработанной Епифановой Е.А. методики оценки технического состояния несущих конструкций сооружения, испытывающее внешнее деформационное воздействие, с использованием современных информационных технологий сбора и обработки данных в частности лазерного сканера Leica Scanstation C10 позволило быстро, точно и оперативно оценить имеющиеся деформации и определить причину их появления.

Руководство ООО «Геопрогресс» отмечает высокий научно-технический и технологический уровень проведения инженерных исследований и мониторинга объекта, надежность получаемых результатов, что является гарантией обеспечения нормативного технического состояния конструкций здания, своевременного предупреждение возможности развития аварийных ситуаций.

Технический директор
ООО «Геопрогресс»



Т.Д. Садыков

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



634003, г. Томск, ул. Пушкина, 37-46
ИНН 7017348776 КПП 701701001 ОГРН 1147017004001
тел: 8 (3822) 701-777 доб.2312, e-mail: sovgeotekh@gmail.com

4.10.2018 № 17-10/18

На № _____ от _____

Акт

о внедрении методики наземного лазерного сканирования при обследовании деформаций прожекторных мачт

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Екатерины Александровны Епифановой «Комплексирование методов наземного лазерного сканирования и конечных элементов при решении инженерно-геологических задач на объектах, имеющие опасные деформации» внедрены в производственную деятельность ООО «СГТ»

Лазерное сканирование используется в производственной деятельности нашего предприятия с 2013 г. При этом элементы научно-обоснованной методики определения деформаций сооружений, предложенные Епифановой Е.А., применяются на протяжении последних трех лет. В основе разработанной методики лежит использование программно-реализованных алгоритмов последовательной обработки и сравнения результатов циклов наблюдений по выделенным сегментам, что позволяет вести оценку проявления деформационных процессов сооружений, в том числе высотных и ответственных. В свою очередь это дает возможность производить работу в короткие сроки с предоставлением заказчику качественных отчетных материалов на всех этапах мониторинга.

Директор ООО «СГТ»



 А. Н. Искрин