

Оглавление

Введение.....	2
Актуальность	4
Инклинометры, общая характеристика.....	5
Особенности конструкции разработанного инклинометра	6
Обзор существующих решений	7
Описание процесса мониторинга с помощью диаграмм AS-IS TO-BE	15
Описание вариантов использования.....	23
Выработка требований и постановка задачи	25
Выбор и обоснование средств проектирования и реализации	27
Основные страницы	30
Заключение.....	33
Список использованных источников.....	34

Введение

Сегодня каждая предметная область всё чаще подвергается автоматизации. Здравоохранение, логистику, сельское хозяйство, документооборот и ещё ряд отраслей в XXI веке невозможно представить без автоматизации. Результатом автоматизации обычно являются:

- Повышение качества и стандартизация
- Увеличение скорости процессов
- Обеспечение безопасности¹
- Повышение точности

Одной из множества предметных областей, рассматриваемых для автоматизации, может являться маркшейдерское дело. Маркшейдерское дело - отрасль горной науки и техники, предметом которой является изучение на основе натурных измерений и последующих геометрических построений структуры месторождения, формы и размеров тел полезного ископаемого в недрах, размещения в них полезных и вредных компонентов, свойств вмещающих пород, пространственного расположения выработок, процессов деформации пород и земной поверхности в связи с горными работами, а также отражение динамики производственного процесса горного предприятия.

Началом истории маркшейдерии можно назвать античность, а именно тот момент, когда люди начали добывать полезные ископаемые. Египтяне при строительстве шахт и тоннелей использовали простейшие измерительные инструменты (веревки с узлами, отвесы, ватерпасы — деревянные уровни). Греки и римляне разработали основы геометрии, которые стали теоретической базой для маркшейдерии.

С развитием металлургии в Европе (XII-XV вв.) горное дело стало приобретать большее значение. Появились первые профессиональные горняки, которые эмпирически, без точных расчетов, проводили выработки. Использовались компас и квадрант для ориентирования под землей.

В Германии в XVI веке маркшейдерия появилась как отдельная отрасль знаний. В 1529 году вышла книга Георгия Агриколы «De re metallica» («О горном деле и металлургии»), которая стала первой энциклопедией горняка. В ней были описаны не только инструменты (горный компас, визирная линейка), но и методы съемки шахт. В России в 1702 году по указу Петра I была основана первая в России горно-рудная школа в Москве, где начали готовить специалистов, владеющих основами геодезии.

В современном мире маркшейдерия имеет в своей основе множество технологий таких как:

- Компьютерное создание чертежей/планов
- Спутниковые технологии
- Лазерные технологии
- Беспилотные технологии
- Роботизация

¹ Под безопасностью понимается освобождение людей от работы на опасных предприятиях

Все перечисленные технологии позволили сделать большой шаг вперёд для развития маркшейдерского дела. Сегодня для решения большинства появляющихся маркшейдерских проблем необходимо разработать подходящую систему используя большое разнообразие инструментов.

Одной из многих проблем, касающихся маркшейдерии, является смещение горных пород и/или других поверхностей. Решения данных вопросов необходимо в контексте мониторинга деформаций сооружений или опасных производственных объектов. Целью работы является повышение оперативности и снижение затрат на мониторинг деформаций оборудования за счет внедрения автоматизированной системы, обеспечивающей круглосуточный сбор, надежное хранение и мгновенный анализ данных с инклинометров. Таким образом, достижения цели проекта необходимо реализовать систему, которая будет:

- 1) Замерять углы в ключевых точках²
- 2) Выводить все замеры в реальном времени
- 3) Хранить все результаты измерений
- 4) Визуализировать полученные данные за заданный период
- 5) Помогать³ специалистам в анализе больших данных
- 6) Предупреждать пользователя о превышениях отклонений

Для реализации проекта цель будет разбита на 6 задач выполнение которых приведёт к достижению цели:

- 1) Определить стек технологий исходя из потребностей и особенностей проекта
- 2) Обозначить общую архитектуру проекта и спроектировать базу данных
- 3) Разработать модуль для мониторинга данных
- 4) Разработать модуль для анализа больших данных
- 5) Внедрить систему
- 6) Осуществлять поддержку и доработку на основе обратной связи

² Ключевая точка определяется специалистом маркшейдером

³ Помощь будет заключаться в наличии соответствующих инструментов

Актуальность

Обеспечение безопасности как опасных производственных объектов, так и всех строительных объектов в целом регулируется с помощью Федерального Закона Российской Федерации. Согласно Федеральному закону от 21.07.1997 № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" статьи 2 "Опасные производственные объекты" пункта 1 "Опасными производственными объектами в соответствии с настоящим Федеральным законом являются предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в приложении 1 к настоящему Федеральному закону".

Для таких объектов статья 11 предполагает обязательный контроль : "Организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, обязана организовывать и осуществлять производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности в соответствии с требованиями, устанавливаемыми Правительством Российской Федерации."

Однако контроль необходимо осуществлять не только для промышленных, но и для всех строительных объектов. Это регулирует Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений". В частности, в статье 36 в первом и втором пунктах описывается контроля зданий и сооружений во время эксплуатации:

"1. Безопасность здания или сооружения в процессе эксплуатации должна обеспечиваться посредством технического обслуживания, периодических осмотров и контрольных проверок и (или) мониторинга состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения, а также посредством текущих ремонтов здания или сооружения.

2. Параметры и другие характеристики строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения в процессе эксплуатации здания или сооружения должны соответствовать требованиям проектной документации. Указанное соответствие должно поддерживаться посредством технического обслуживания и подтверждаться в ходе периодических осмотров и контрольных проверок и (или) мониторинга состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения, проводимых в соответствии с законодательством Российской Федерации"

Хотя 14 статья, вышеуказанного федерального закона, гласит о том, что "Здания и сооружения должны быть спроектированы таким образом, чтобы в процессе их строительства и эксплуатации не возникало угрозы оказания негативного воздействия на окружающую среду." тем не менее одна из недавних экологическая катастрофа произошла 29 мая 2020 года. В тот день в Норильске из резервуара вышло порядка 21 тысячи тонн дизеля. По оценке Росприроднадзора 6 тысяч тонн оказалось в грунте, а остальные 15 тысяч тонн ушли в воду. Причина данной катастрофы стала просадка фундамента.

Инклинометры, общая характеристика

Инклинометр — это прибор для измерения угла наклона между объектом и гравитационным полем земли. Простейший инклинометр изображён на рисунке 1.

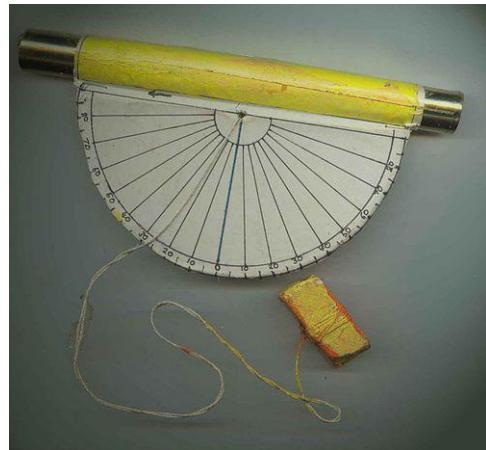


Рисунок 1 - Простейший инклинометр

Современные инклинометры различаются по принципу работы:

а) На основе маятника (кондуктометрический)

- 1) При наклоне маятник, помещенный в электропроводящую жидкость, смещается относительно электродов, расположенных на дне резервуара
- 2) Это изменение приводит к изменению толщины слоя жидкости между маятником и электродами, что, в свою очередь, вызывает изменение электрического сопротивления
- 3) Электронные датчики фиксируют это изменение сопротивления и преобразуют его в данные об угле наклона

б) На основе акселерометра

- 1) Акселерометр измеряет мельчайшее ускорение
- 2) Исходя из ускорения вычисляются углы наклона

Также инклинометры делятся по числу осей:

а) Одноосевые

б) Двухосевые

в) Трехосевые

В работе будут использоваться трехосевые инклинометры, работающие на основе акселерометра. Большее количество осей гарантирует разнообразие данных для дальнейшего анализа. Предпочтение было отдано инклинометрам на основе акселерометров из-за низкой стоимости и относительно небольших размеров.

Особенности конструкции разработанного инклинометра

Главной особенностью измерений инклинометра является зависимость полученных результатов от температуры. Такое явление обусловлено сжатием и расширением металлов под действием температуры. В связи с этим структура инклинометра будет дополнена датчиком температуры.

Так как инклинометры будут расположены на открытом воздухе, требуется закрыть все элементы конструкции в герметичный металлический корпус (см. рисунок 2).



Рисунок 2 - Инклинометр обрамлённый в герметичный корпус

Из корпуса выступает антенна, которая передаёт данные по протоколу LoRa (LongRange). Данный протокол характеризуется невысокой скоростью (0,3–50 кб/с) взамен на значительную (1–15 км) дальность передачи данных.

Герметичность корпуса рождает проблему конденсации воды при разнице температур снаружи и внутри инклинометра (например, во время дождя). Для обеспечения надёжности все элементы внутри следует покрыть лаком, для защиты чувствительных элементов. При необходимости лак можно снять спиртом, это не окажет влияние на работу электроники.

Датчик работает не постоянно. Благодаря самописной прошивке инклинометр включается только в момент, когда производится измерение. Данное решение позволяет обеспечить работу устройства на батарейках сроком до 2 лет.

Обзор существующих решений

Перед поиском аналогов необходимо наиболее конкретно определить услугу, которую предлагают конкуренты для контроля деформаций строений и ОПО. Геотехнический мониторинг в наибольшей степени позволяет решить данную задачу. Согласно своду правил 305.1325800.2017, в классическом понимании геотехнический мониторинг — это комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в т.ч. грунтового массива, окружающего (вмещающего) сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки.

Для поиска аналогичных решений конкурентов был использован Яндекс вебмастер. Изначально в качестве ключевого запроса был выбран "геотехнический мониторинг" (см. рисунок 3). Однако из-за большого количества результатов запрос был дополнено до "геотехнический мониторинг стоимость". Результаты поиска для соответствующего запроса представлены на рисунке 4.

The screenshot shows the Yandex Webmaster interface with the search term "геотехнический мониторинг" entered. On the left, there's a sidebar with navigation links like 'Search', 'Sitelinks', 'Website', 'Quality', 'Effectiveness', 'Indexing', 'Tools', and 'Help'. The main area displays search results for user queries, including:

Запрос	Конкурентность	Стр. в	Клик.	Сайт	Частота показов	Средняя позиция
геотехнический мониторинг	высокая	883	571	https://оценка-вилиния-строительства.рф	высокая	5.5
геотехнический мониторинг в строительстве	высокая	337	249	https://nccse.ru	высокая	4.5
геотехнический мониторинг зданий и сооружений	умеренная	223	141	https://ktb-expert.com	высокая	3.4
проектирование геотехнического мониторинга	умеренная	102	131	https://geomonitoring.ru	средняя	1.6
программа				https://dscon.pro	средняя	1.0

Рисунок 3 - Результат поиска для запроса "геотехнический мониторинг"

This screenshot shows the Yandex Webmaster interface with the search term "геотехнический мониторинг стоимость" entered. The sidebar and search results are similar to the previous screenshot, but the results table includes additional columns for 'Adwords' and 'CTR'. The results are as follows:

Запрос	Конкурентность	Стр. в	Клик.	Сайт	Частота показов	Средняя позиция	Adwords	CTR
геотехнический мониторинг	высокая	883	571	https://оценка-вилиния-строительства.рф	высокая	5.5	0.00	0.0%
геотехнический мониторинг в строительстве	высокая	337	249	https://nccse.ru	высокая	4.5	0.00	0.0%
геотехнический мониторинг зданий и сооружений	умеренная	223	141	https://ktb-expert.com	высокая	3.4	0.00	0.0%
проектирование геотехнического мониторинга	умеренная	102	131	https://geomonitoring.ru	средняя	1.6	0.00	0.0%
программа				https://dscon.pro	средняя	1.0	0.00	0.0%

Рисунок 4 - Результат поиска для запроса "геотехнический мониторинг стоимость"

ООО «КТБ Эксперт». Компания специализируется на инженерных изысканиях, проектировании и управлении строительными проектами. Главная страница сайта представлена на рисунке 5.

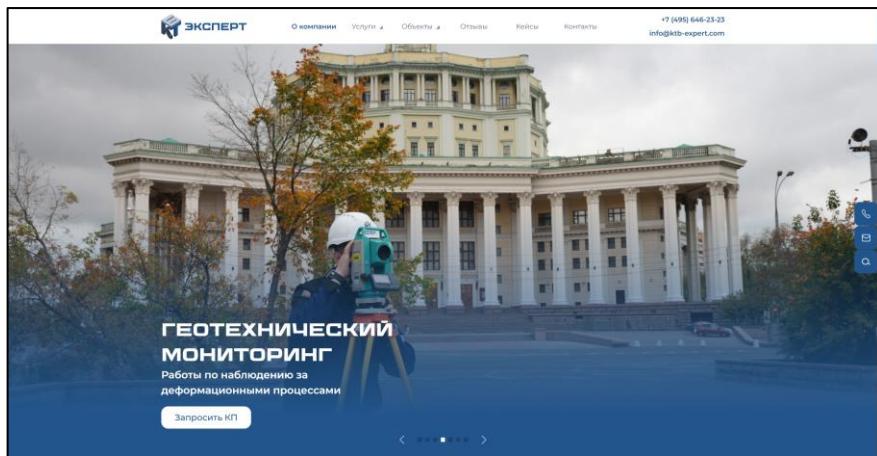


Рисунок 5 - Главная страница сайта КТБ Эксперт

На странице услуг присутствует информация о проведении геотехнического мониторинга (см. рисунок 6).

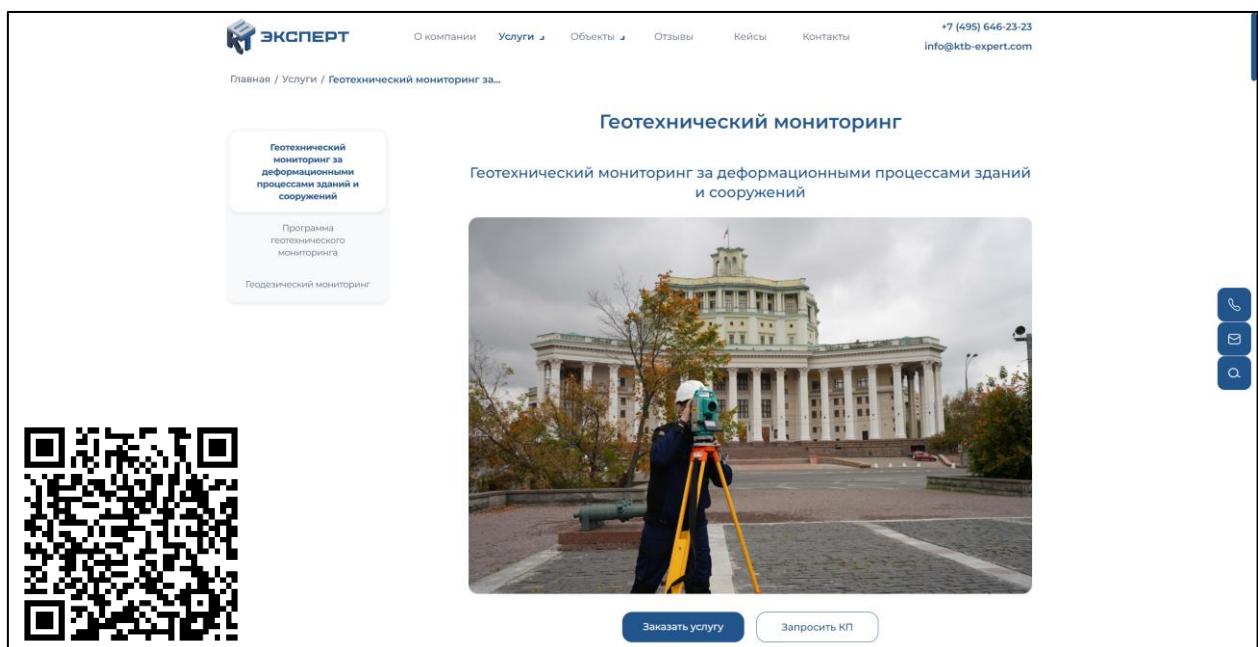


Рисунок 6 - Геотехнический мониторинг от компании КТБ Эксперт

Ссылаясь на свод правил СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений, организация допускает использование инклинометрических комплексов для проведения геотехнического мониторинга (см. рисунок 7). Однако более подробной информации по этому поводу на сайте не опубликовано.

The screenshot shows a webpage from the KTB Expert website. At the top, there is a navigation bar with links to 'О компании', 'Услуги', 'Объекты', 'Отзывы', 'Кейсы', and 'Контакты'. To the right, there is a phone number '+7 (495) 646-23-23' and an email address 'info@ktb-expert.com'. Below the navigation, a breadcrumb trail reads 'Главная / Услуги / Геотехнический мониторинг за...'. A sidebar on the left lists services: 'Геотехнический мониторинг за деформационными процессами зданий и сооружений', 'Программа геотехнического мониторинга', and 'Геодезический мониторинг'. The main content area discusses monitoring methods:

12.3 При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в т.ч. поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в т.ч. оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- параметрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой свая, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации (в том числе струйных, тензометрических, оптиковолоконных, инклинометрических и др.);
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.).

Примечание - Допускается для фиксации изменений контролируемых параметров использовать другие методы, в т.ч. косянные, которые должны обеспечивать достоверность результатов наблюдений и их согласованность с результатами, полученными по указанным методам.

12.4 Для объектов нового строительства и реконструкции геотехнических категорий 2 и 3 необходимо проводить геотехнический мониторинг:

- оснований, фундаментов и конструкций сооружений;
- ограждающих конструкций котлованов;
- массива грунта, окружающего подземную часть сооружения, расположенного на застроенной территории.

At the bottom of the page are two buttons: 'Заказать услугу' (Order Service) and 'Запросить КП' (Request CP).

Рисунок 7 - Использование инклинометрических комплексов для геотехнического мониторинга

На сайте также представлена ценовая политика (см. рисунок 8).

Стоимость разработки программы геотехнического мониторинга	
Вид работы	Стоимость
Разработка программы геотехнического мониторинга	от 70 000 руб.
Проведение геотехнического мониторинга	от 75 000 руб/цикл

Рисунок 8 - Цена на услуги геотехнического мониторинга компании ООО «КТБ Эксперт»

ООО "Геотехническое Обоснование Строительства". Компания специализируется в области инженерных изысканий, инженерно-технического проектирования, управления проектами строительства, выполнения строительного контроля и авторского надзора, предоставление технических консультаций в этих областях. Главная страница сайта организации представлена на рисунке 9.

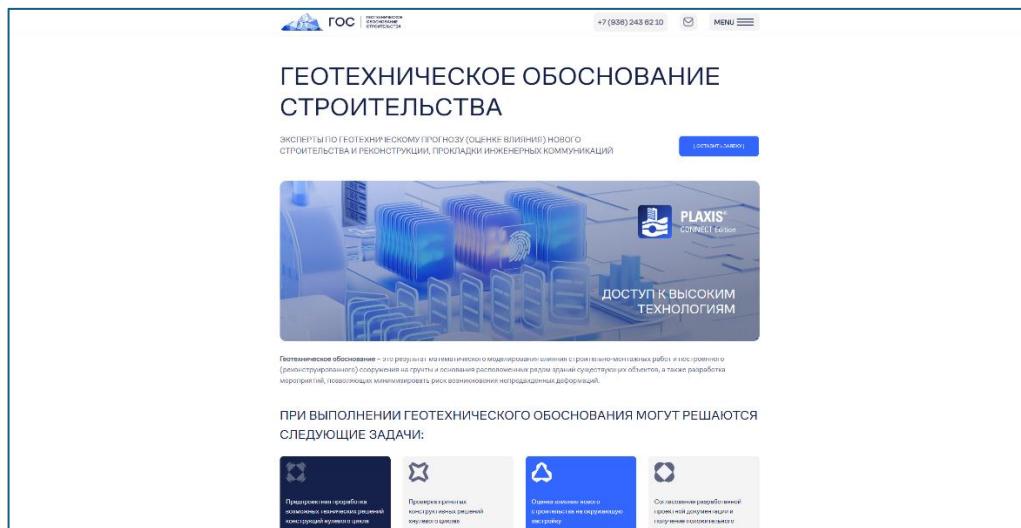


Рисунок 9 - Главная страница сайта организации ООО "Геотехническое Обоснование Строительства"

Данная компания имеет более узкий спектр услуг. Для геотехнического мониторинга на сайте поставщика предусмотрена отдельная страница (см. рисунок 10).



Рисунок 10 - Геотехнический мониторинг от компании ООО "Геотехническое Обоснование Строительства"

На данной странице организация допускает использование различных датчиков ссылаясь на нормативные документы.

Также на сайте представлен алгоритм взаимодействия клиента и заказчика (см. рисунок 11).

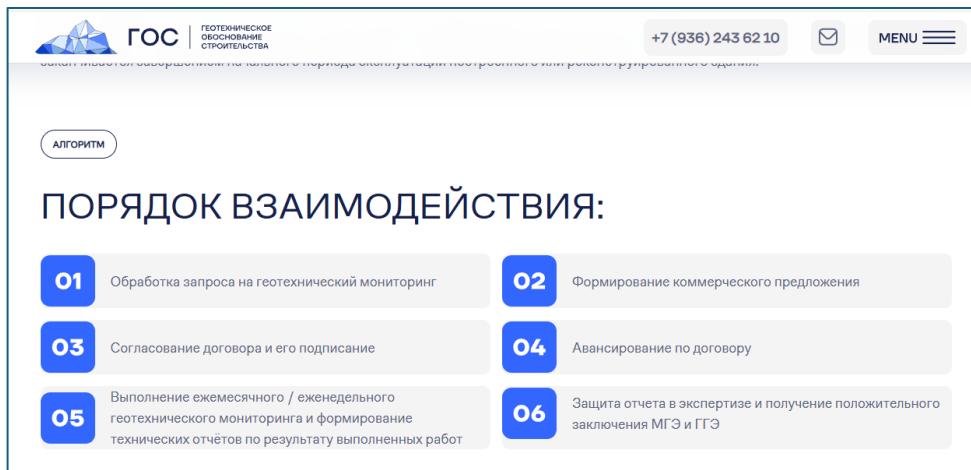


Рисунок 11 - алгоритм взаимодействия клиента и заказчика

В 5-м пункте периодичность проведения мониторинга указывается как ежемесячное и еженедельное, из чего можно сделать вывод что компания в основном работает по классической модели проведения геотехнического мониторинга. Данное предположение подтверждается тем, что на сайте не представлено даже краткого описания системы датчиков, применяемых для геотехнического мониторинга.

Стоимость услуг на сайте не опубликована.

ООО "Оценка Влияния Строительства". Организация занимается деятельностью в области инженерных изысканий, инженерно-технического проектирования, управления проектами строительства, выполнения строительного контроля и авторского надзора, предоставление технических консультаций в этих областях. Главная страница сайта представлена на рисунке 12.

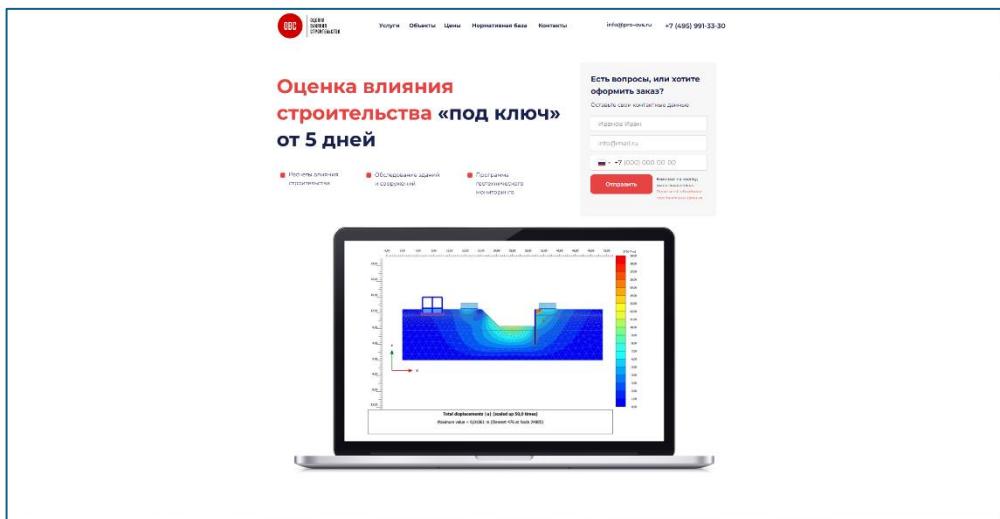


Рисунок 12 - Главная страница сайта организации ООО "Оценка Влияния Строительства"

При переходе по услуге геотехнический мониторинг пользователь попадает на соответствующую страницу сайта (см. рисунок 13).

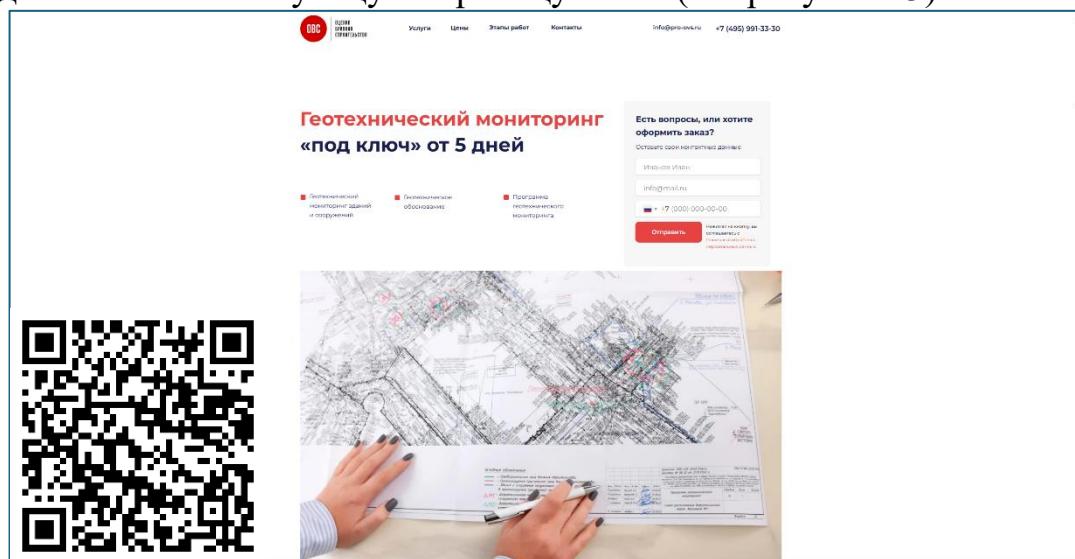


Рисунок 13 - Геотехнический мониторинг от компании ООО "Оценка Влияния Строительства"

В отличие от предыдущий организаций ООО "Оценка Влияния Строительства" не предусматривает проведение геотехнического мониторинга с помощью методов параметрических методов (используя комплекс датчиков). Методы, которые использует компания представлены на рисунке 14.

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Главная задача, которую решает геотехнический мониторинг в строительстве заключается в достижении высокой степени безопасности и надежности возведимых зданий и строений окружающей застройки, для чего используются наблюдения за изменением конкретных характеристик конструктивных элементов и грунтовых массивов, снижение которых до определенных пределов грозит переводом сооружения в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

Предусмотренный действующими регламентами мониторинг производится нескользкими методами:

- визуально-инструментальными, состоящими из визуальных наблюдений и фиксации дефектов конструктивных элементов при помощи измерительных инструментов. Эти методы используются для наблюдения за строящимися зданиями, объектами существующей застройки, элементами коллекторов;
- геодезическими, которые используются для наблюдения за перемещениями поверхности земли по горизонтали и вертикали, а массивов грунта по вертикали. В ходе мониторинга геодезическими методами используются теодолиты, нивелиры, тахеометры, спутниковые системы. При этом фиксируются следующие величины: осадки, просадки, прогибы и другие вертикальные перемещения; сдвиги по горизонтали; крены. По результатам мониторинга геодезическими методами выявляются: зоны, в которых отклонения от проектного положения максимальны; размеры и направления процессов деформаций; закономерности, на основании которых можно сделать предположение о развитии процесса деформаций в дальнейшем.

Задачи, объем, методы и необходимые для этого средства определяются в ходе разработки программы геотехнического мониторинга состояния оснований возведимого здания и объектов окружающей его застройки.

Рисунок 14 – Методы, используемые компанией ООО "Оценка Влияния Строительства" для геотехнического мониторинга

Поставщик разместил цены на странице услуг. Цены варьируются от 120 до 150 тысяч за отчёт и включают в себя как составление программы, так и проведения самого геотехнического мониторинга.

ЦЕНЫ

Программа геотехнического мониторинга



Программа геотехнического мониторинга от устройства инженерных коммуникаций **от 120 000 руб./отчет** от 5 дней

Программа геотехнического мониторинга от устройства зданий и сооружений **от 150 000 руб./отчет** от 10 дней

Рисунок 15 – Цены на программы геотехнического мониторинга ООО "Оценка Влияния Строительства"

Необходимо выделить ключевые критерии геотехнического мониторинга для заказчика.

Актуальность данных – чем более актуальные данные, тем быстрее можно предпринять действия по устранению критических ситуаций. Актуальность данных будет измеряться в кол-ве наблюдений за 1 месяц.

Объём данных – при достаточно большом объёме данных, появляется возможность прогнозировать поведение наблюдаемых объектов. Объём данных будет измеряться в кол-ве наблюдений за год.

Стоимость услуг – является основным критерием для формирования бюджета.

По результату анализа конкурентов составлена таблица сравнения существующих и предлагаемого решений, см. таблицу 1.

Таблица 1 - Сравнение аналогов и предлагаемого решения

	Предлагаемое решение	КТБ Эксперт	Геотехническое Обоснование Строительства	Оценка Влияния Строительства
Актуальность данных, набл./месяц	4320		1	
Стоимость услуг, рублей	От 200K за готовую систему	От 70K за программу От 75K за цикл мониторинга	-	От 150K за программу вместе и отчёт
Объём данных, набл./год	51840		12	

Таким образом можно сделать вывод о том, что на данный момент большая часть рынка предлагает классический способ мониторинга зданий, сооружений и ОПО. Данная модель предполагает проведение наблюдений от недели до месяца. Однако такой вид услуг не подойдёт для объектов, требующих детального исследования: ОПО, зданий и сооружений в сейсмически активных зонах. Более того предлагаемое решение позволяет собрать большое количество данных для дальнейшего анализа и прогнозирования критических ситуаций. Кроме того, ключевым отличием разрабатываемой системы является возможность заблаговременно предупредить персонал о экстремальных отклонениях на объекте, без необходимости проведения дополнительных выездных и измерительных мероприятий.

Описание процесса мониторинга с помощью диаграмм AS-IS ТО-ВЕ

Процессу мониторинга предшествует процесс установки системы на объект предприятия. Поэтому будет представлены диаграммы AS-IS, ТО-ВЕ для установки системы.

Изначально для проведения стандартного геотехнического мониторинга без использования системы инклинометров следует установить всё необходимое оборудование. На контекстной диаграмме (см. рисунок 16) весь процесс представлен в виде единого блока, который начинает своё выполнение при получении запроса клиента. На выходе же будет получен геотехнический отчёт и система для проведения дальнейших мониторингов.

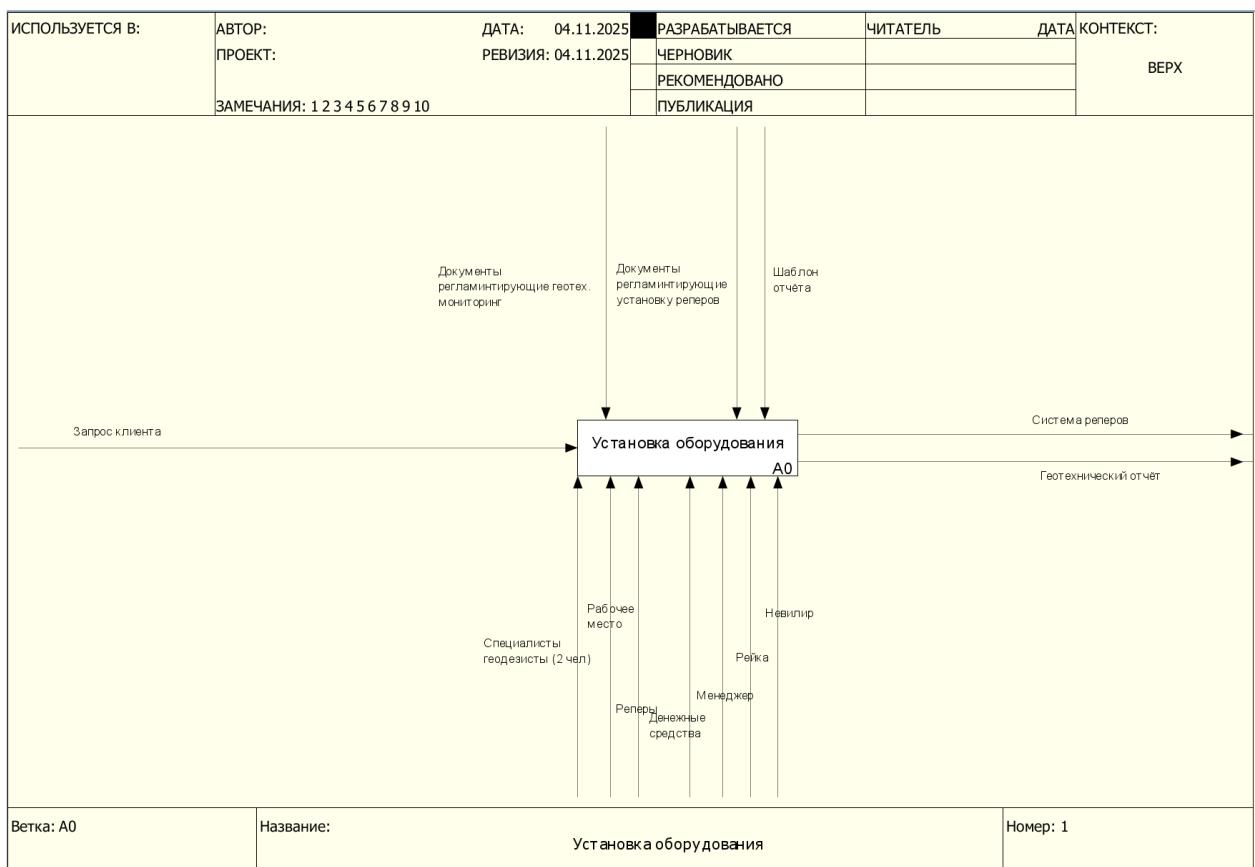


Рисунок 16 – Контекстная диаграмма AS-IS установки оборудования

При первом приближении процесс установки оборудования можно разделить на заключение договора с клиентом и само проведение установочных работ (см. рисунок 17).

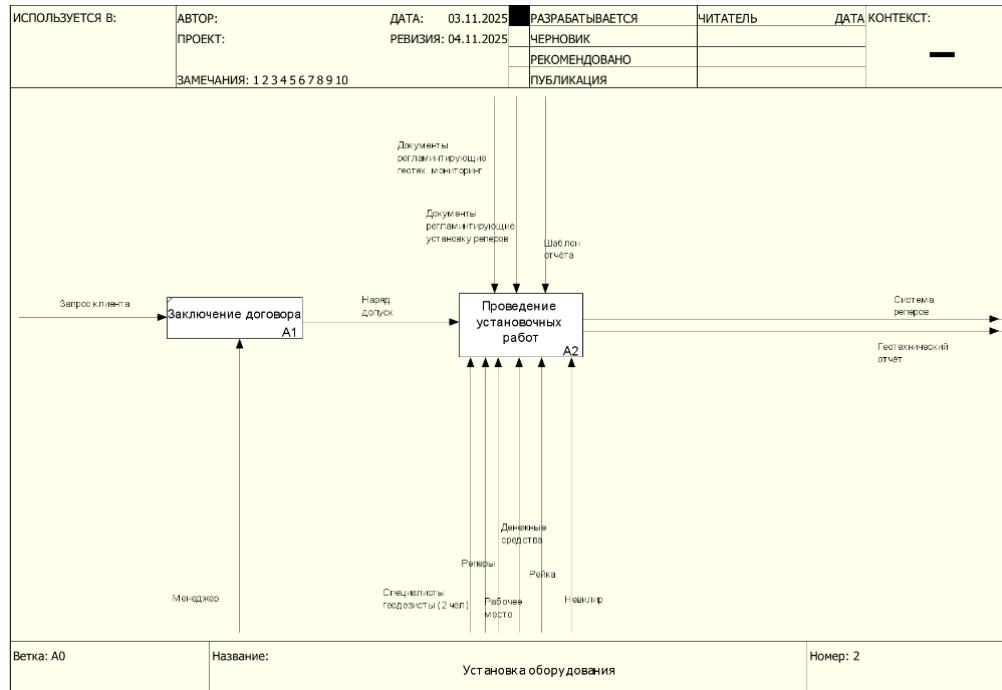


Рисунок 17 - Диаграмма AS-IS установки оборудования первого уровня декомпозиции

При дальнейшей детализации проведение установочных работ можно разбить на 4 блока (см. рисунок 18).

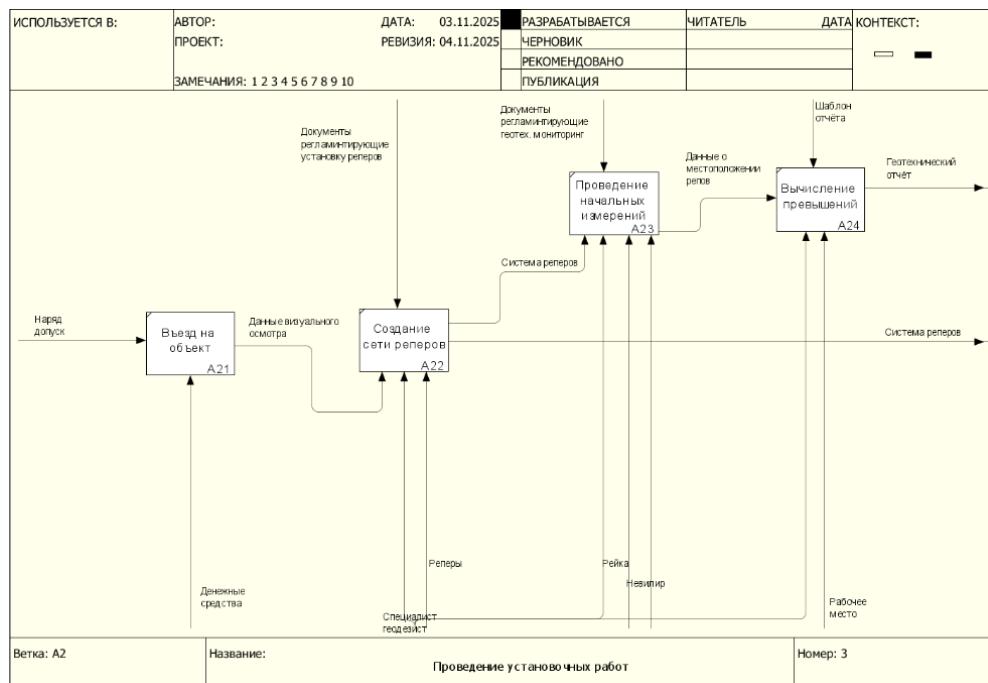


Рисунок 18 - Диаграмма AS-IS установки оборудования второго уровня декомпозиции

Таким образом после заключения договора необходимо снаряжать минимум двух специалистов геодезистов для выезда на объект. После прибытия геодезисты устанавливают на объект специальную систему реперов(см. рисунок 19).



Рисунок 19 - Примеры реперов

Реперы позволяют геодезистам определить положение объекта в пространстве. После того как реперы будут установлены, специалисты начинают проводить измерения. Первый геодезист устанавливает рейку на реперы, второй человек с помощью нивелира производит измерения. Необходимые инструменты представлены на рисунке 20.



Рисунок 20 - Нивелир и нивелирная рейка

По окончанию мониторинга специалисты выезжают с предприятия. Когда геодезисты возвращаются обратно на своё рабочее место, им необходимо произвести некоторые расчёты, а затем на их основе сформировать геотехнический отчёт.

После установки реперов в дальнейшем специалисты могут проводить геотехнический мониторинг с помощью нивелира и рейки. Контекстная диаграмма проведения геотехнического мониторинга представлена на рисунке 21.

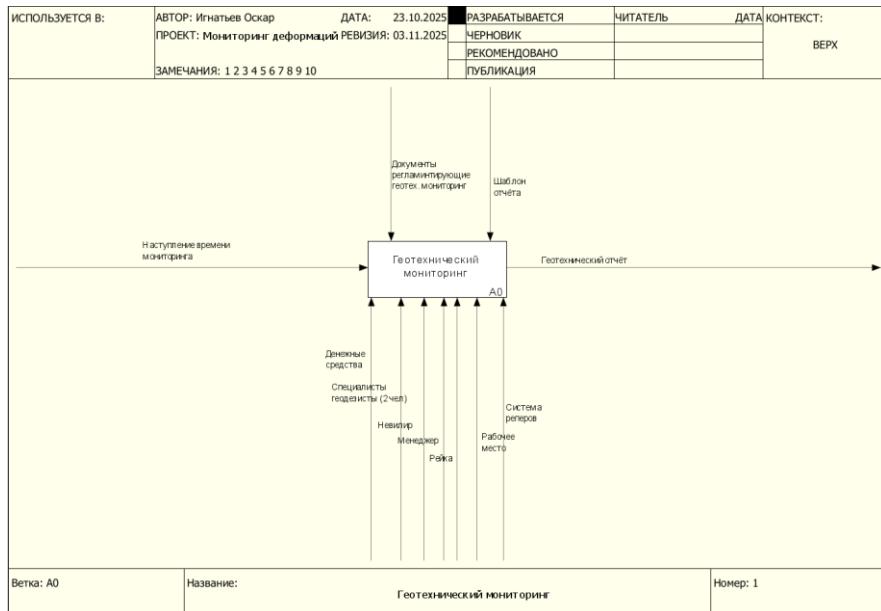


Рисунок 21 - Контекстная диаграмма AS-IS геотехнического мониторинга

Геотехнический мониторинг начинается с того, что менеджер согласует дату и время проведения измерений (см. рисунок 22).

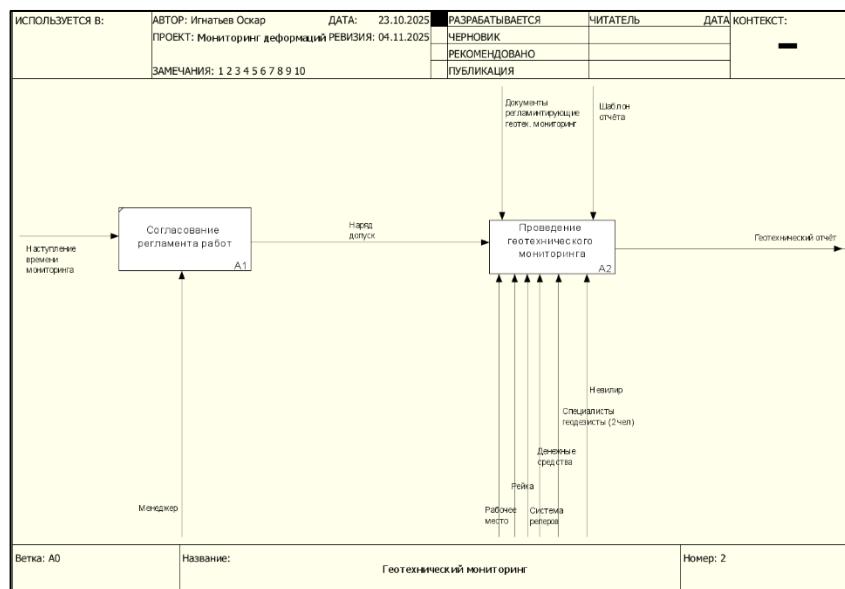


Рисунок 22 - Диаграмма AS-IS геотехнического мониторинга первого уровня декомпозиции

После завершения согласования мониторинга команда из 2 геодезистов, рейки и нивелира направляется на объект (см. рисунок 23). Специалисты проводят измерения описанным ранее способом и уезжают на рабочее место для формирования отчёта.

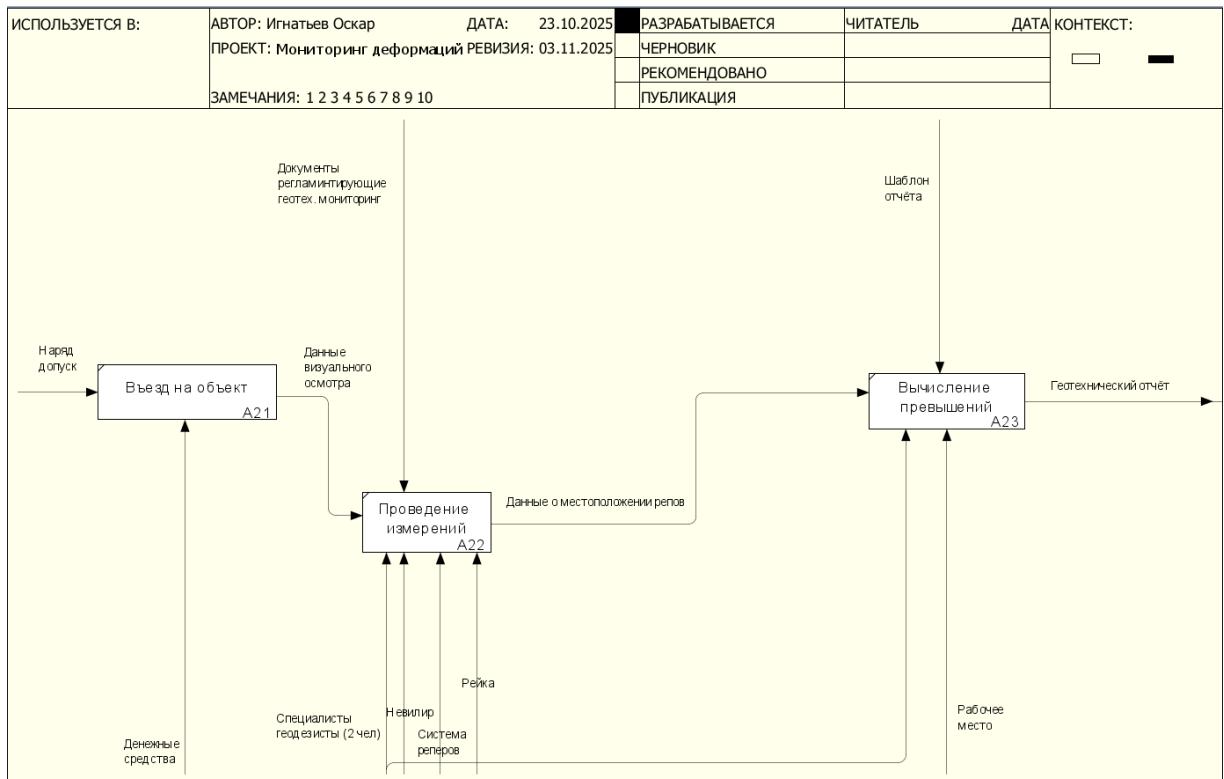


Рисунок 23 - Диаграмма AS-IS геотехнического мониторинга второго уровня декомпозиции

После рассмотрения существующих процессов для реализации геотехнического мониторинга следует отметить ключевые проблемы:

- Регулярное проведение мониторинга требует как время, так и денежные средства на дорогу до предприятия. Более того затраты могут расти в зависимости от разницы в расстоянии между клиентом и заказчиком
- Из-за низкой периодичности выполнения измерений возникает риск допустить опасную ситуацию на производстве
- Интервал измерений гарантирует лишь 1 измерение в месяц, таким образом тенденция за год может состоять из 12 позиций

Для решения обозначенных проблем процесс проведения геотехнического мониторинга был модифицирован с использованием инклинометров. В сущности, процесс установки системы представлен на контекстной диаграмме на рисунке 24.

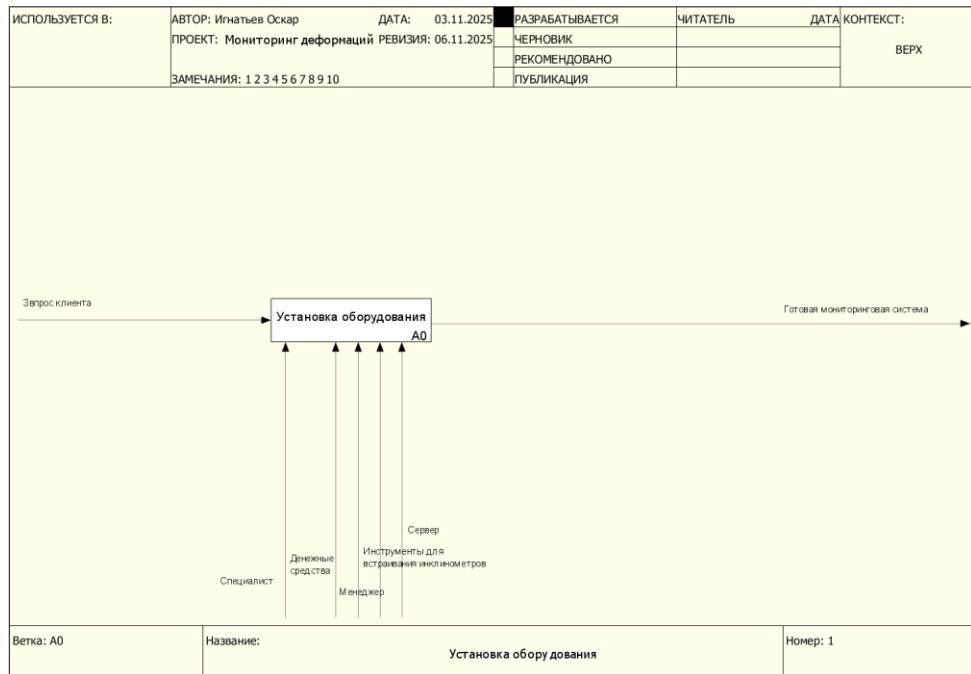


Рисунок 24 - Контекстная диаграмма ТО-ВЕ установки оборудования

При детальном рассмотрении установка системы начинается с заключения договора с предприятием (см. рисунок 25). Далее проводятся установочные работы.

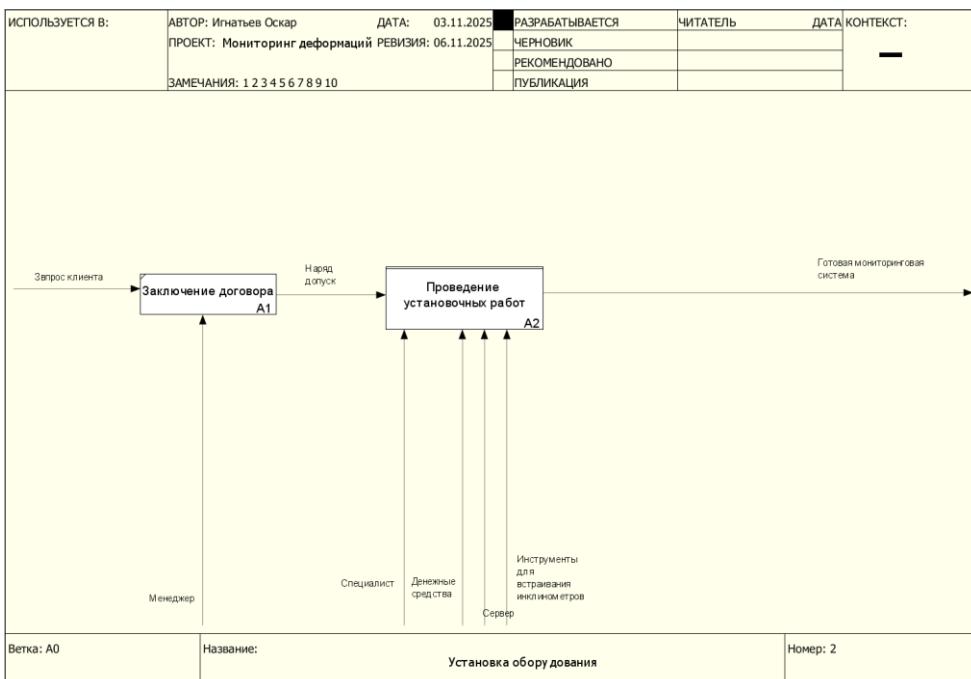


Рисунок 25 - Диаграмма ТО-ВЕ установки оборудования первого уровня декомпозиции

При проведении установочных работ специалисту следует въехать на объект, затем подключить инклинометры и установить на территорию предприятия сервер для хранения/обработки данных (см. рисунок 26).

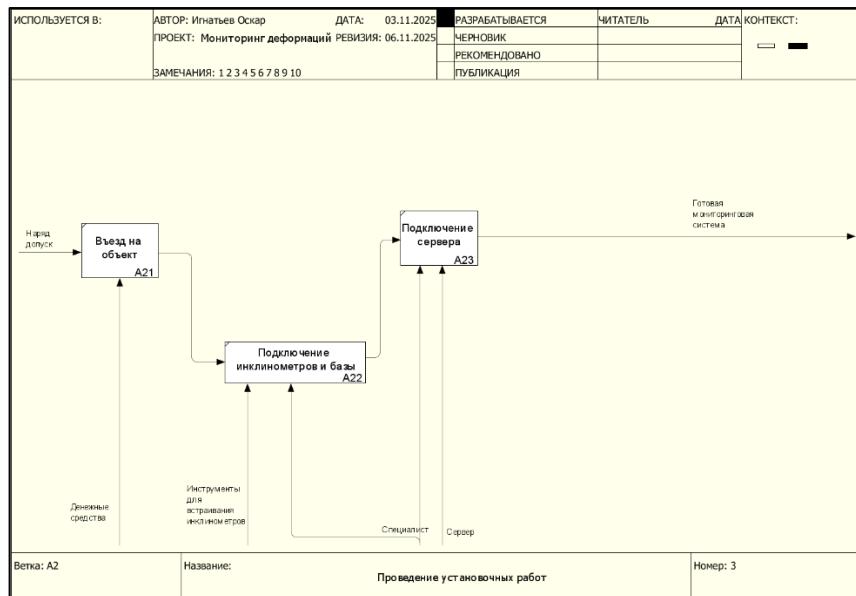


Рисунок 26 - Диаграмма ТО-ВЕ установки оборудования первого уровня декомпозиции

После установки всего необходимого оборудования клиент может выгружать геотехнический мониторинг в любой момент. Более того система предупредит если будет обнаружено критическое превышения ключевых параметров. Процесс геотехнического мониторинга в виде цельного блока представлен на рисунке 27.

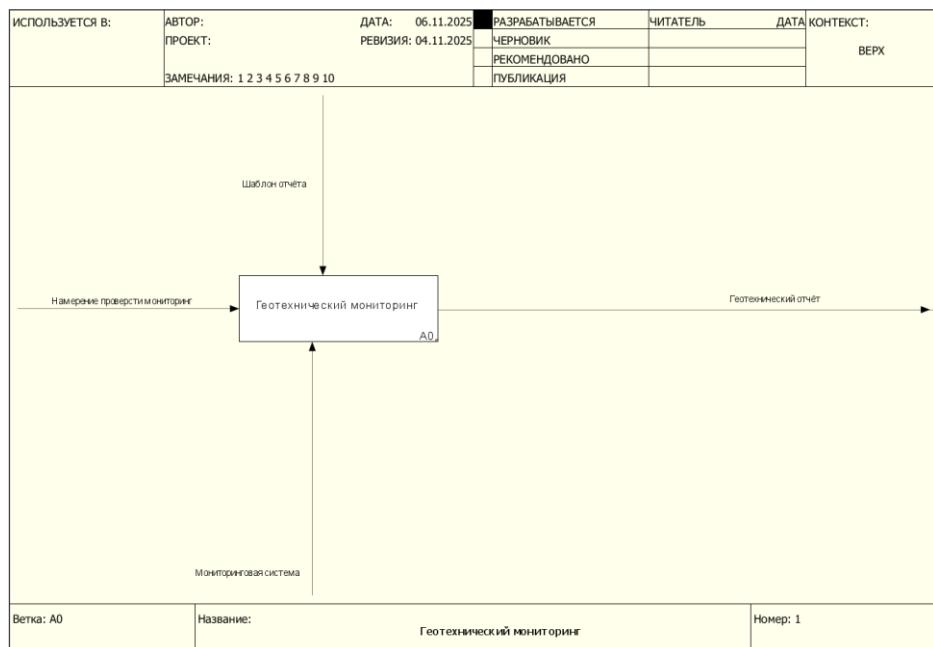


Рисунок 27 - Контекстная диаграмма ТО-ВЕ геотехнического мониторинга

Благодаря автоматизированной системе создания геотехнического отчёта клиент может создать отчёт на основе данных, полученных за указанный период (см. рисунок 28).

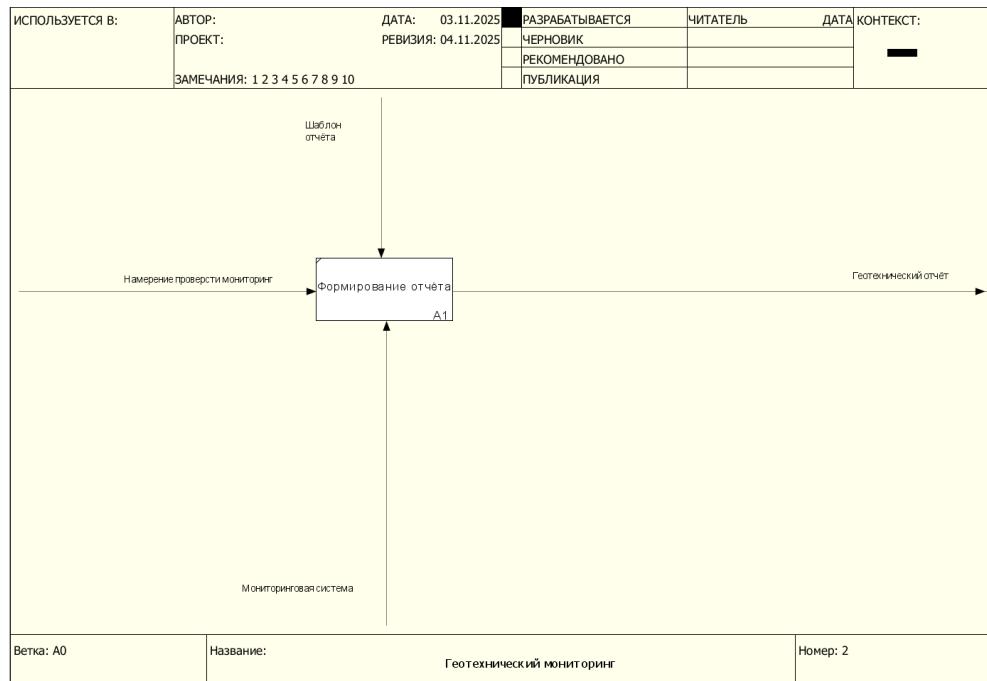


Рисунок 28 – Диаграмма ТО-ВЕ геотехнического мониторинга первого уровня декомпозиции

Совокупность модифицированных процессов гарантирует, что:

- Проведение геотехнического мониторинга потребует выезда специалиста только в случае технической неисправности
- Затраты на проведение наблюдений в наименьшей степени будут зависеть от удалённости предприятия
- Будет получено достаточно количество данных как для анализа тенденций, так и для прогнозирования

Описание вариантов использования

Программный продукт предназначен специалисту ответственному за опасные производственные объекты (ОПО) на предприятии (см. рисунок 29). Данный специалист может производить учёт и диагностику ОПО. Для просмотра динамики ключевых параметров пользователь может вывести данные за определённый период. Предусматривается возможность формирования геотехнического отчёта.

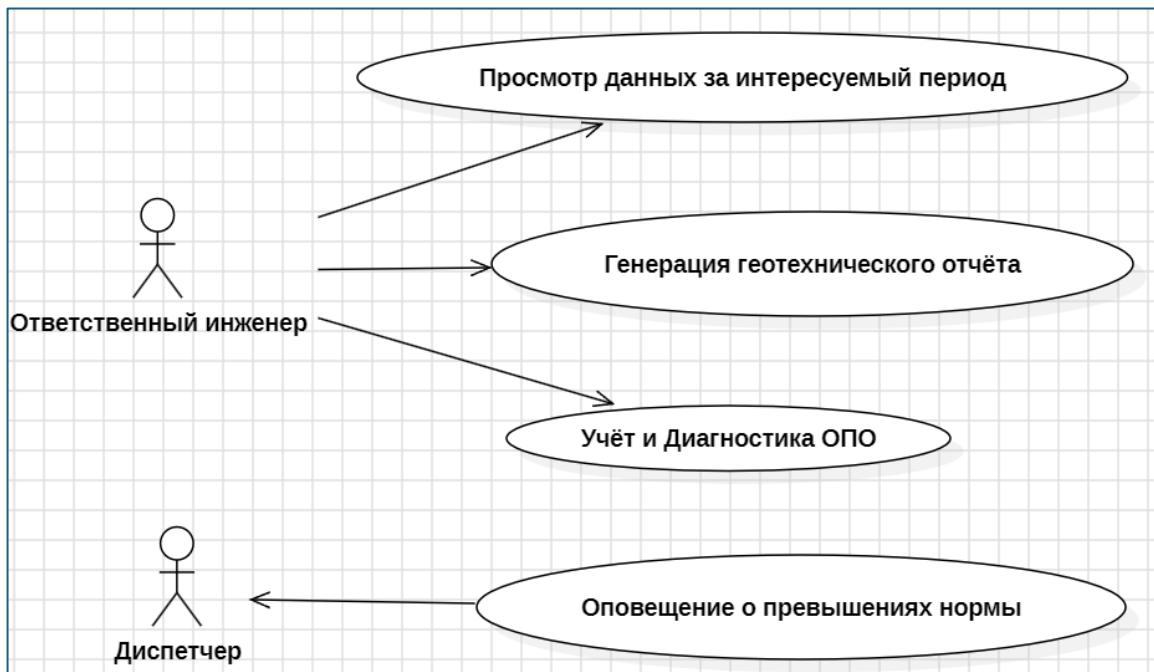


Рисунок 29 - Диаграмма вариантов использования

1) Просмотр данных за интересуемый период

Автор: Ответственный инженер

Цель: Определение динамики для предсказания дальнейшего поведения

Краткое описание: Пользователь выбирает дату и время границ интервала, выбирает данные для отображения, после подтверждения ему выводится график. На основе графика специалист делает вывод о динамике

Предусловия: Наличие данных в системе

2) Генерация геотехнического отчёта

Автор: Ответственный инженер

Цель: Формирование текущей ситуации на предприятии в виде нормативных документов

Краткое описание: Пользователь выбирает дату и время границ интервала, выбирает опцию “Скачать геотехнический мониторинг”. Спустя некоторое время отчёт скачивается в формате pdf.

Предусловия: Наличие данных в системе

3) Учёт и диагностика ОПО

Автор: Ответственный инженер

Цель: Контроль работы ОПО

Краткое описание: Специалист выбирает объект по фильтру. Может посмотреть какие на объекте установлены инклинометры. Есть возможность посмотреть состояние датчиков, установленных на объекте. Предусмотрено добавление нового объекта с помощью графического интерфейса.

Предусловия: Данные об инклинометрах и объектах занесены в систему

4) Оповещение о превышениях нормы

Автор: Разрабатываемая система

Цель: Оповещение о критической ситуации

Краткое описание: Система отправляет SMS сообщение в диспетчерскую на предприятии. Далее диспетчер оповещает ответственного по безопасности для принятия необходимых мер.

Предусловия: Система установлена на предприятии

Выработка требований и постановка задачи

Требования к функциональности:

- Необходима возможность просмотра объектов. При просмотре объекта следует предусмотреть возможность просмотра дополнительно информации о инклинометрах расположенных на выбранном объекте
- Необходима возможность добавления ОПО через графический интерфейс. При этом на объект можно будет добавлять инклинометры, которые обнаружила система (система обнаружит инклинометр если получит от него хотя бы 1 сообщение)
- Требуется реализовать просмотр данных за выбранный период в виде графиков
- Следует реализовать дополнительные настройки для построения графиков
 - Устранение инструментальной ошибки. Другими словами, необходимо вычесть заданную величину от всех значений на графике
 - Нормализация. Должна работать в случае, когда пользователь выводит на один график более одной метрики. Нормализация в этом случае должна привести данные к формату от -1 до 1
 - Фильтр Калмана. Должен сглаживать график
 - Компенсация температурной ошибки. Измерения инклинометров зависят от температуры среды. Данная функция должна исключить влияние температуры на полученные данные
- Все дополнительные настройки, при возможности, должны быть настраиваемые через задаваемые пользователем коэффициенты. Заполнение коэффициентов должно быть на отдельной странице

Требования к интерфейсу:

- Интерфейс должен быть на русском языке
- Цветовая палитра должна содержать цвета представленные на рисунке 30

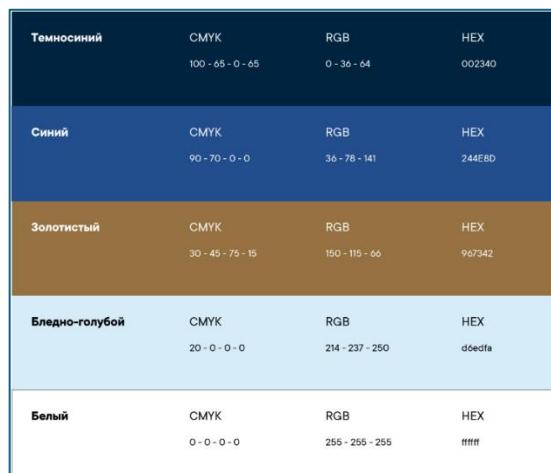


Рисунок 30 - Цветовая палитра компании

Требования к работе системы:

- В процессе эксплуатации сервис не должен иметь доступа к сети интернет
- Время реакции системы не должно превышать 1 секунды
- Время загрузки данных должно быть соразмерно объёму получаемых данных
- Непредвиденные ошибки должны корректно обрабатываться

Требования к математическому обеспечению:

- Погрешность вычислений должна быть не выше, чем кол-во зарядов после запятой у принимаемых данных. Таким образом если система получает число 1.104, то погрешность дальнейших вычислений с этим числом не должна превышать 3 знака после запятой

Требования к реализации системы:

- Входные данные проходят форматно-логический контроль по списку разрешенных типов данных
- Весь HTML-код, нейтрализован с помощью библиотеки санитизации соответствующего фреймворка
- Отсутствует использования eval() или других функций динамического исполнения кода
- Весь пользовательский ввод нейтрализуется и не способен повлиять на работу шаблонизатора
- Выполняется контекстно-зависимое сканирование выходных данных для предотвращения XSS-атак
- Запросы к базам данных параметризованы посредством ORM, Entity Framework или иным образом защищены от SQL инъекций
- Функции обрабатывающие данные в формате JSON исключают JSON-инъекции и не допускают интерпретацию JavaScript кода;

Выбор и обоснование средств проектирования и реализации

В процессе проектирования были сформированы AS-IS, TO-BE диаграммы в формате IDEF0. Для данной задачи было использовано ПО с открытым исходным кодом – Rarus. Пример схемы в приложении Rarus приведён на рисунке 31.

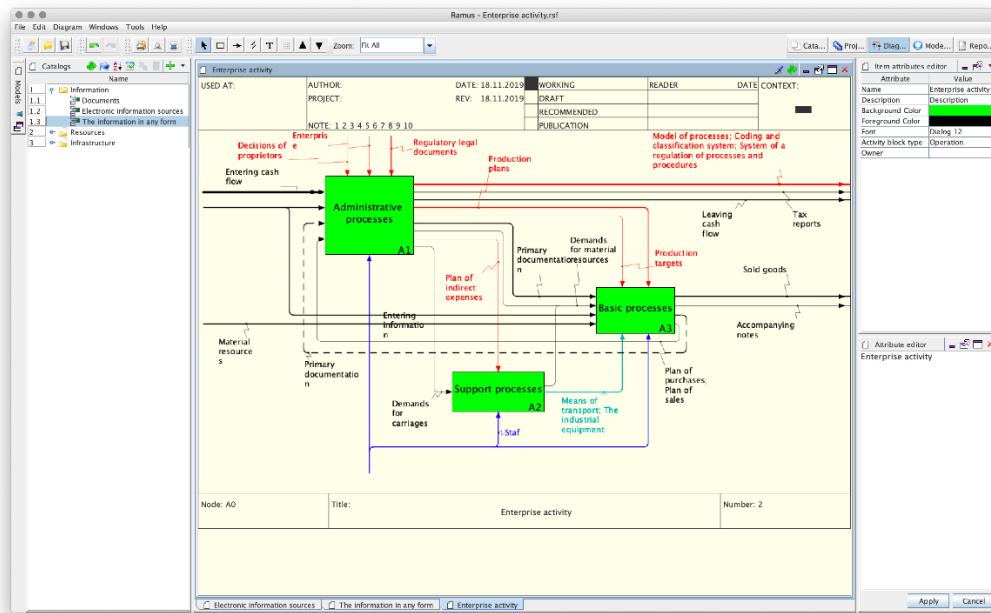


Рисунок 31 - Пример схемы с использованием программы Rarus

Для проектирования диаграмм вариантов использования был использован StarUML. Пример схемы, сформированной с помощью StarUML приведён на рисунке 32.

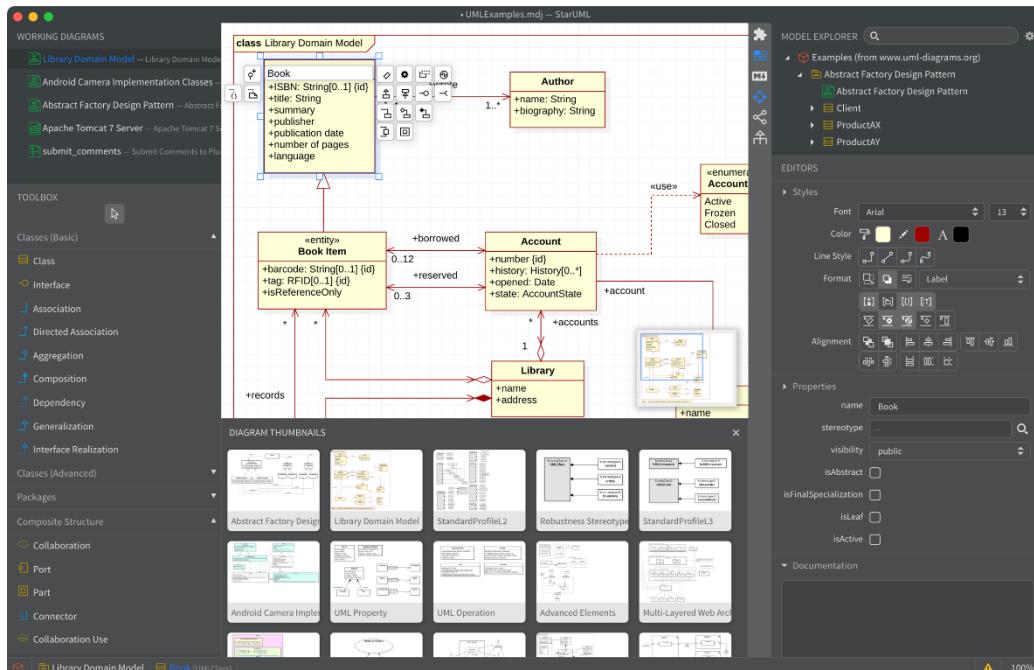


Рисунок 32 - Пример схемы с использованием программы StarUML

Система будет работать в виде веб сервиса. Выбор обосновывается кроссплатформенностью системы. Таким образом на предприятии можно использовать сервис на любых устройствах, подключенных к корпоративной сети.

Для быстрой разработки был выбран framework языка python – Django. Фреймворк позволяет быстро разработать многостраничный веб-сервис с поддержкой множества СУБД и продвинутыми механизмами защиты в сфере ИБ.

В качестве СУБД будет использоваться PostgreSQL 17 и ClickHouse 26. ClickHouse следует для хранения непрерывных данных, которые система получает от датчиков. Архитектура ClickHouse позволяет работать с большими данными. PostgreSQL предназначен для хранения дополнительных, менее объёмных данных. Добавление PostgreSQL позволит хранить данные, которые менее вероятно будут меняться, как например: координаты инклинометра, координаты объекта, и т.д. Также с помощью PostgreSQL будет реализована связь объектов и установленных на них инклинометров.

Docker предоставит возможность легко развернуть все выше перечисленные инструменты на любом сервере.

Со стороны frontend будут использоваться несколько библиотек. Plotly – библиотека для создания **интерактивных** графиков (см. рисунок 33)

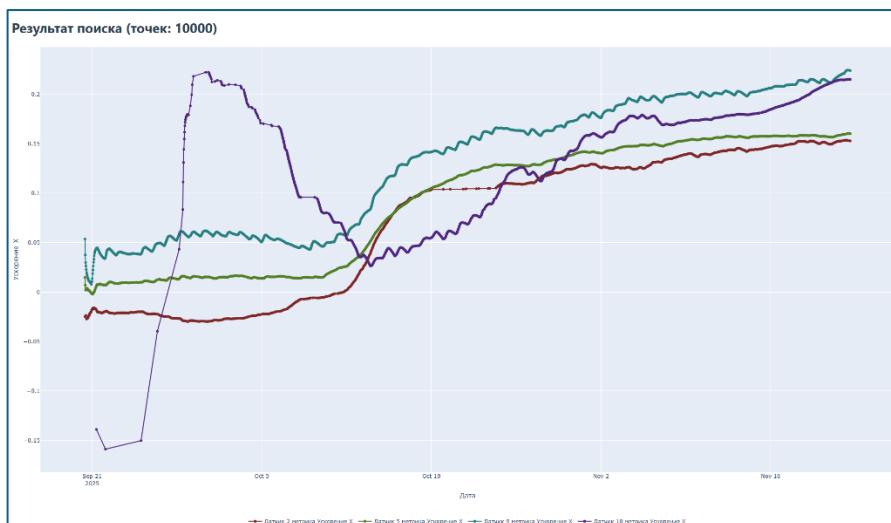


Рисунок 33 - Пример графика, созданного с помощью plotly

Django-select2 – библиотека для размещения функциональных форм с поддержкой мульти выбора и поиска вариантов при написании (см. рисунок 34).

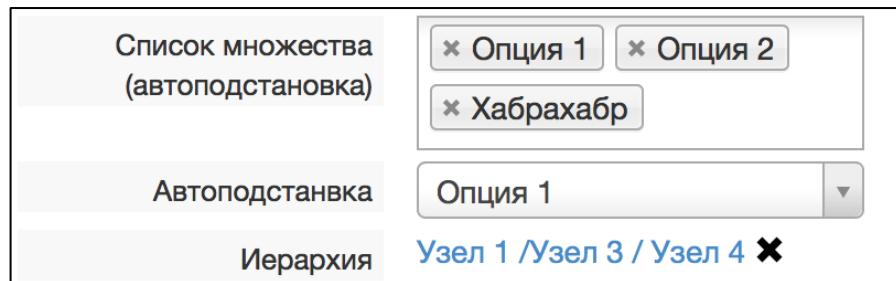


Рисунок 34 - Пример формы, созданной с помощью Django-select2

Также планируется использовать библиотеку three.js для работы с 2D/3D графикой. Данная библиотека предоставить возможность визуализации как объектов, так и установленных инклинометров. Демонстрация возможностей библиотеки представлена на рисунке 35.

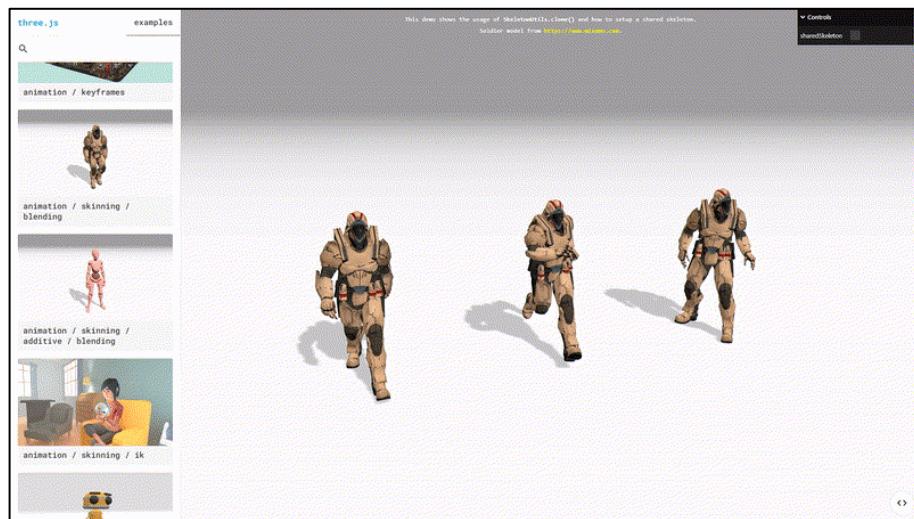


Рисунок 35 - Демонстрация возможностей библиотеки three.js

Основные страницы

При первом заходе на сервис пользователь видит все зарегистрированные на предприятии объекты. В карточке объекта указаны все датчики, которые на нём установлены (см. рисунок 36).

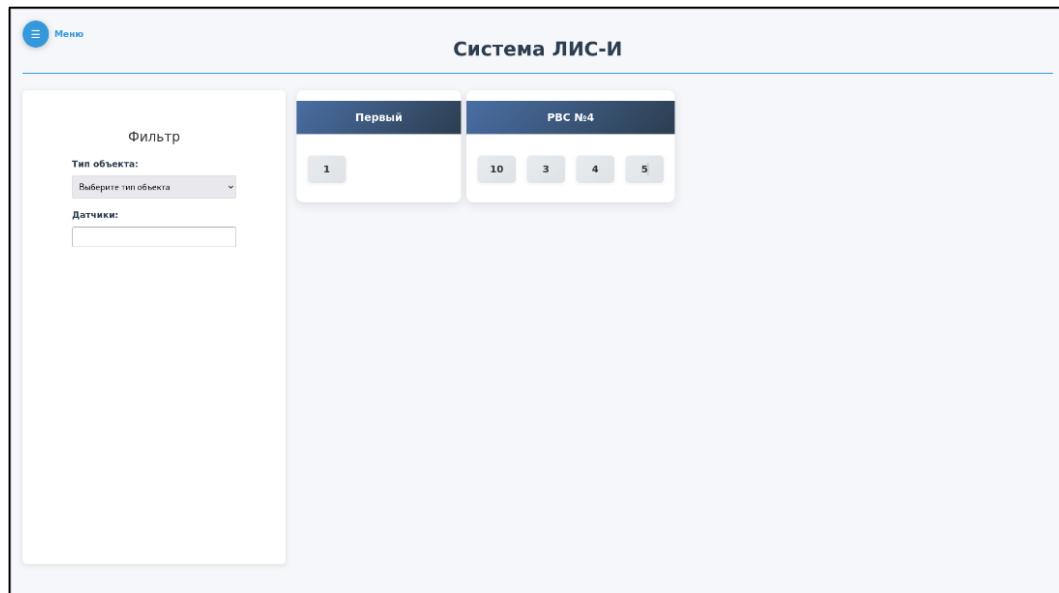


Рисунок 36 - Главная страница сайта

Данные объекты можно создать на соответствующей странице. Слева необходимо заполнить данные об регистрируемом объекте (см. рисунок 37).

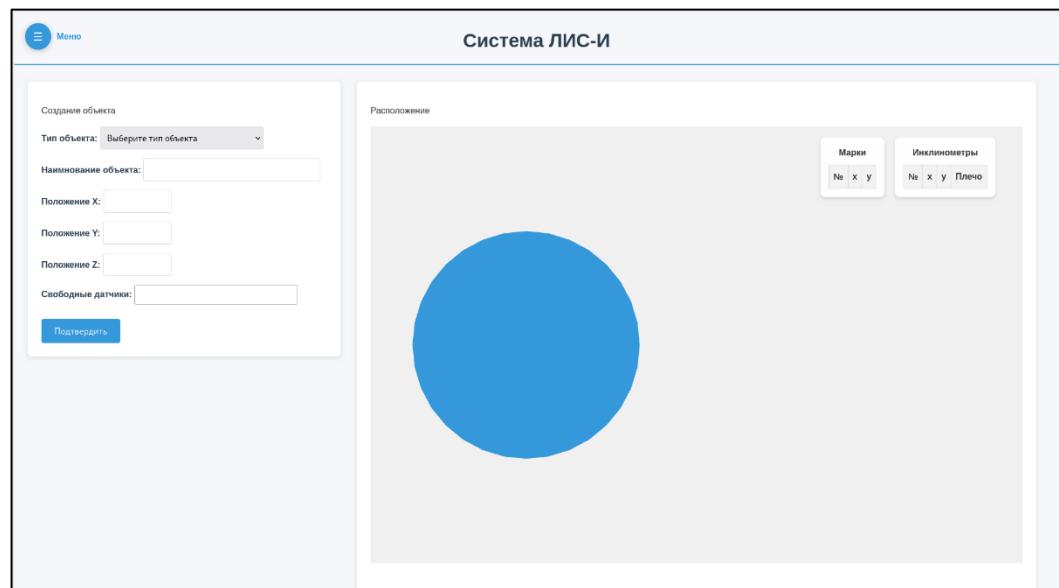


Рисунок 37 - Страница создания объекта

При выборе датчиков в панели слева, обновится таблица в правом верхнем углу. Тогда для создания объекта следует её заполнить и нажать кнопку "Подтвердить" (см. рисунок 38).

№	x	y
1	22.1	42.4
2	15.6	22.6
3	25.5	31.5

№	x	y	Плечо
6	24.1	11.6	233
7	11.5	12.2	342
8	41.2	24.1	422

Рисунок 38 - Заполненная форма для создания объекта

Страница "Просмотр графиков" предоставляет функционал для просмотра и анализа данных (см. рисунок 39).

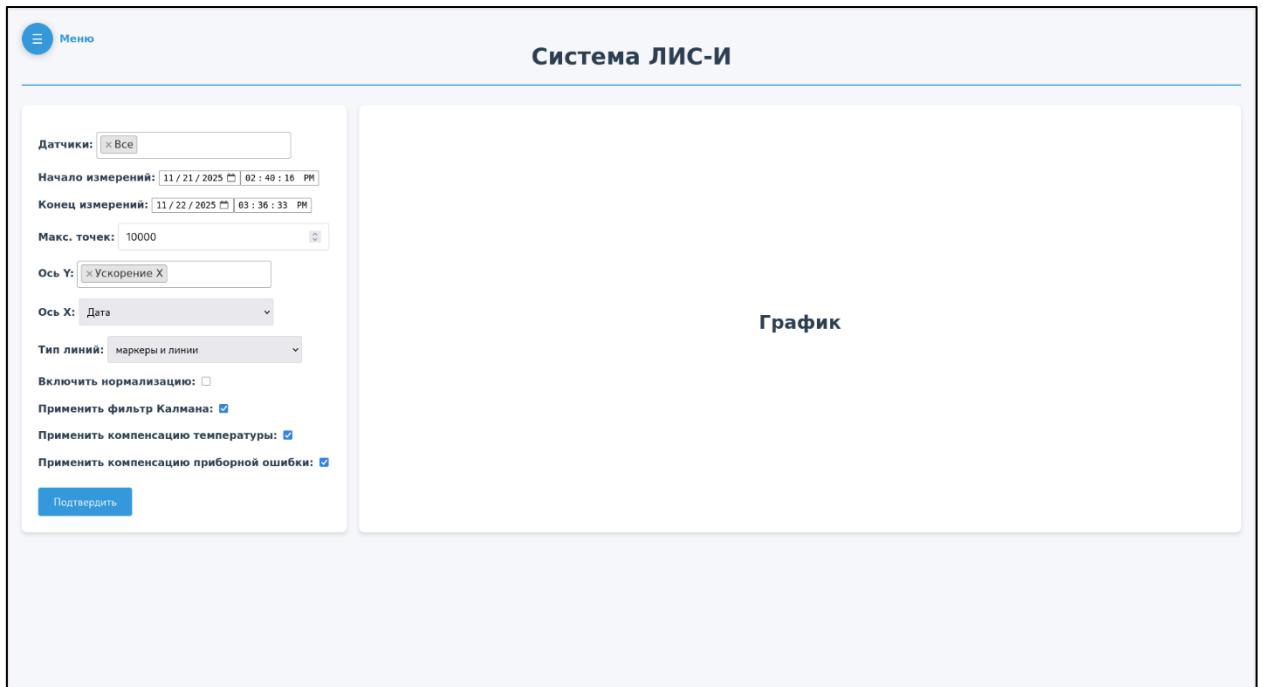


Рисунок 39 - Страница "Просмотр графиков"

Страница “Конфигуратор графиков” (см. рисунок 40) предоставляет пользователю дополнительные настройки для анализа данных на странице “Просмотр графиков”.

Меню

Система ЛИС-И

График

Датчики: Все
Начало измерений: 11/21/2025 02:40:16 PM
Конец измерений: 11/22/2025 03:56:46 PM
Макс. точек: 10000
Ось Y: Ускорение X
Ось X: Дата
Тип линий: маркеры и линии
Включить нормализацию:

Фильтр Калмана
Шум процесса (Q):
Шум измерений (R):

Температурная компенсация
Реф.тепл:
Коэф.Х:
Коэф.У:
Коэф.З:

Компенсация ошибки

Подтвердить

Рисунок 40 - Страница “Конфигуратор графиков”

Последняя страница сервиса - “График просадок” (см. рисунок 41). Данная страница необходима для вычислений просадок на выбранных графиках.

Меню

Система ЛИС-И

График

Датчики: Все
Начало измерений: 11/22/2025 02:39:20 AM
Конец измерений: 11/23/2025 02:43:27 AM
Макс. точек: 10000
Ось Y: Ось Y
Ось X: Дата
Тип линий: маркеры и линии
Включить нормализацию:
Применить фильтр Калмана:
Применить компенсацию температуры:
Применить компенсацию приборной ошибки:

Настройка смещения
Расстояние между реперами (мм):

Подтвердить

Рисунок 41 - Страница “График просадок”

Заключение

В ходе выполнения работы была спроектирована автоматизированная система геотехнического мониторинга на основе инклинометров, предназначеннной для непрерывного контроля деформаций опасных производственных объектов и строительных сооружений. Система призвана устранить ключевые недостатки традиционных методов мониторинга, такие как низкая периодичность измерений, высокие операционные затраты на выезды специалистов и риск несвоевременного выявления критических отклонений.

Основным преимуществом предлагаемого решения является его способность обеспечивать круглосуточный сбор данных с высокой частотой (до 4320 измерений в месяц), что на несколько порядков превышает возможности классических методик. Это позволяет не только оперативно реагировать на аномальные изменения, но и накапливать достаточный объём данных для проведения глубокого анализа и построения прогнозных моделей поведения конструкций.

Техническая реализация системы основана на современных и надёжных технологиях: трёхосевых инклинометрах, передаче данных по протоколу LoRa, а также программном комплексе на базе фреймворка Django с использованием СУБД PostgreSQL и ClickHouse. Такой стек обеспечивает масштабируемость, высокую производительность при работе с большими данными и безопасность хранения информации.

Внедрение системы позволит существенно снизить затраты на проведение мониторинга за счёт минимизации необходимости регулярных выездов персонала, а также повысит уровень промышленной безопасности благодаря автоматическому оповещению о превышении критических параметров в режиме реального времени. Кроме того, наличие инструментов визуализации, анализа и автоматического формирования отчётов значительно облегчит работу специалистов и повысит точность принимаемых решений.

Таким образом, разработанная система представляет собой экономически эффективное и технически обоснованное решение для задач геотехнического мониторинга, соответствующее требованиям современного законодательства в области промышленной и строительной безопасности. Её внедрение будет способствовать предотвращению аварийных ситуаций, подобных норильской экологической катастрофе 2020 года, и обеспечению устойчивой эксплуатации ответственных объектов.

Список использованных источников

1. Ворковастов, К.С. Автоматизированные системы маркшейдерского обеспечения карьеров : справочное пособие / К.С. Ворковастов, М.Г. Маждраков, С.Г. Могильный, В.Г. Столчиев, В.Я. Финковский ; под ред. К.С. Ворковастовой. — Москва : Недра, 1991. — 271 с. : ил. — УДК 622.1. — ISBN 5-247-01323-9.
2. Гутгарц Р.Д. Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления : учебное пособие для вузов. — Москва : Юрайт, 2024. — 351 с.
3. Казикаев, Д.М. Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов / Д.М. Казикаев, С.В. Сергеев. — Москва : Горная книга, 2011. — 244 с. : ил. — ISBN 978-5-98672-271-9. — URL: <https://bibl.gorobr.ru/avtory?view=content&id=29950&bauthor=51548> (дата обращения: 21.11.2025).
4. СП 305.1325800.2017. Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Правила производства работ [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/456075522> (дата обращения: 01.11.2025).
5. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 14.07.2022) [Электронный ресурс]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 22.10.2025).
6. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (ред. от 02.07.2021) [Электронный ресурс]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95760/ (дата обращения: 16.10.2025).