

Автоматизированная система мониторинга деформаций трубопроводов в условиях криолитозоны (АСМТ)



1. Назначение

1.1. Автоматизированная система мониторинга деформаций трубопроводов в условиях криолитозоны (АСМТ) предназначена для автоматизированного сбора данных и контроля состояния деформаций технологических, промышленных, межпромышленных трубопроводов наземного и надземного исполнения, эксплуатируемых в условиях криолитозоны.

1.2. АСМТ должна обеспечивать в автономном режиме непрерывный контроль состояния опорных и трубных конструкций действующего трубопровода с передачей результатов измерений в единый центр мониторинга.

2. Нормативные ссылки

- 2.1. Федеральный закон РФ от 27.12.2002 г. N 184-ФЗ (ред. 28.11.2018) "О техническом регулировании".
- 2.2. Федеральный закон от 26.06.2008 г. N 102-ФЗ (ред. 13.07.2015) "Об обеспечении единства измерений".
- 2.3. Федеральный закон от 21.12.1994 N 68 (ред. 03.07.2019) "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера".

- 2.4. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния
- 2.5. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформации оснований зданий и сооружений.
- 2.6. ГОСТ 32019-2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки Стационарных систем (станций) мониторинга (с Изменением N 1, с Поправкой)
- 2.7. СП-22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.01-83.

3. Схема измерений. Общие положения

3.1. Для контроля подвижек опорных и трубных конструкций действующего трубопровода, вызванных сезонными подвижками в ММГ, используются автономные прецизионные двухкоординатные инклинометры с двусторонней транзитной маршрутизацией данных, образующие mesh-сеть (или группу самостоятельных mesh-сетей). Передача данных о состоянии всех инклинометров сети производится через шлюз mesh-сети во внешние сети.

3.2. Схема измерений, основанная на непрерывном контроле положения опор и трубных конструкций, позволяет однозначно фиксировать и измерять величину изменения геометрии трубы, угол наклона и величину вертикального смещения опоры.

В общем случае для схемы измерений могут быть предложены три базовых решения:

- инклинометры устанавливаются на каждом пролете трубы между соседними опорами;
- инклинометры устанавливаются на каждой опоре (свайном основании);
- инклинометры устанавливаются на каждом пролете трубы между соседними опорами и на каждой опоре (свайном основании) (рисунок 1).

3.3. Конкретное техническое решение выбирается в ходе проектирования.

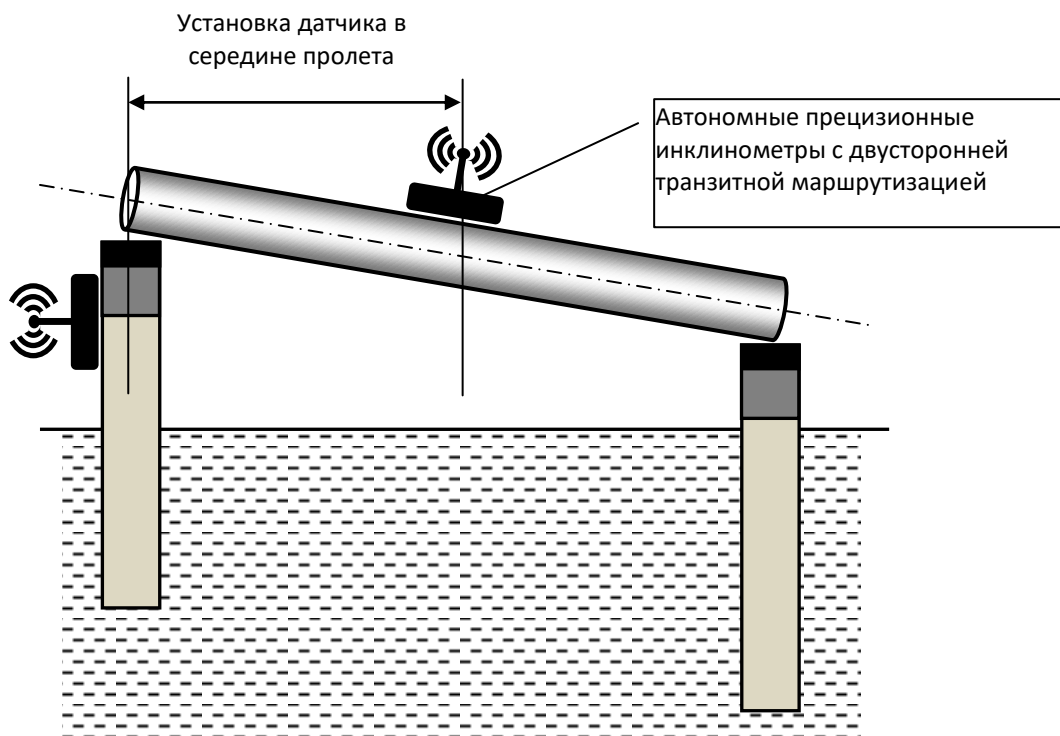


Рисунок 1. Схема установки датчиков

4. Анализ схемы измерений при одновременной установке датчиков на опорах и на трубах

4.1. В исходном положении при первом включении АСМТ фиксирует абсолютное значение ранее накопленных деформаций: углы и величины прогиба каждой секции трубы, углы наклона и величину просадки каждой опоры (Рисунок 2). Эти значения принимаются за начальные. Далее АСМТ непрерывно измеряет динамику отклонений от исходных.

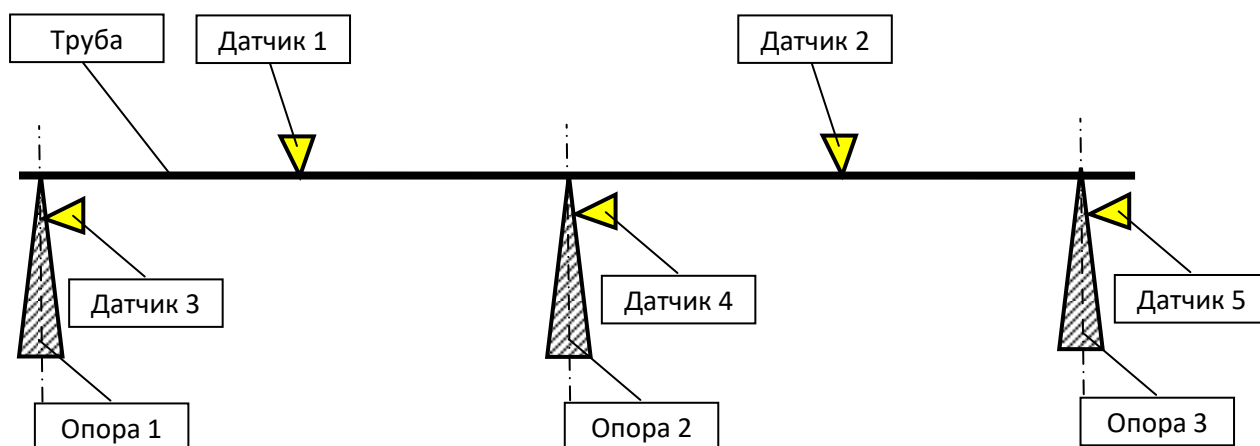


Рисунок 2. В исходном положении АСМТ фиксирует начальное значение ранее накопленных деформаций

4.2. При вертикальном смещении Опоры 2 (Рисунок 3) датчики 1 и 2 фиксируют изменение угла наклона трубы. Их показания совпадают с точностью до знака, если совпадают размеры обоих пролетов. Исходя из показаний датчиков и с учетом расстояния между опорами, вычисляется прогиб трубы Δh и величина смещения опоры. Показания датчиков 3, 4, 5 не изменяются.

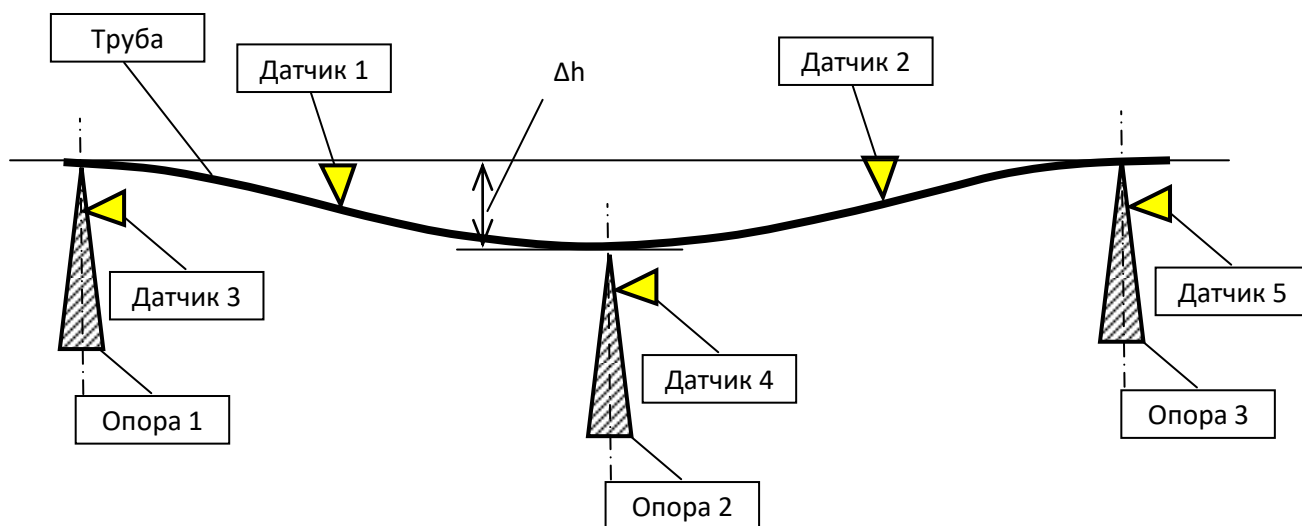


Рисунок 3. При вертикальном смещении опоры прогиб трубы Δh и величина смещения опоры вычисляются как функция от угла наклона, измеренного датчиком 1 (или 2) и от величины пролета

3.3. При наклоне Опоры 2 (Рисунок 4) происходит смещение пятна касания опоры с трубой и, вызванное этим, вертикальное деформирование трубы. Датчики 1 и 2 фиксируют изменение угла наклона трубы. Исходя из показаний датчиков и с учетом расстояния между опорами, вычисляется прогиб трубы Δh . Показания датчиков 3, 5 не изменяются. Система контроля деформаций выдает значение прогиба трубы Δh и величину угла наклона опоры в двух вертикальных плоскостях.

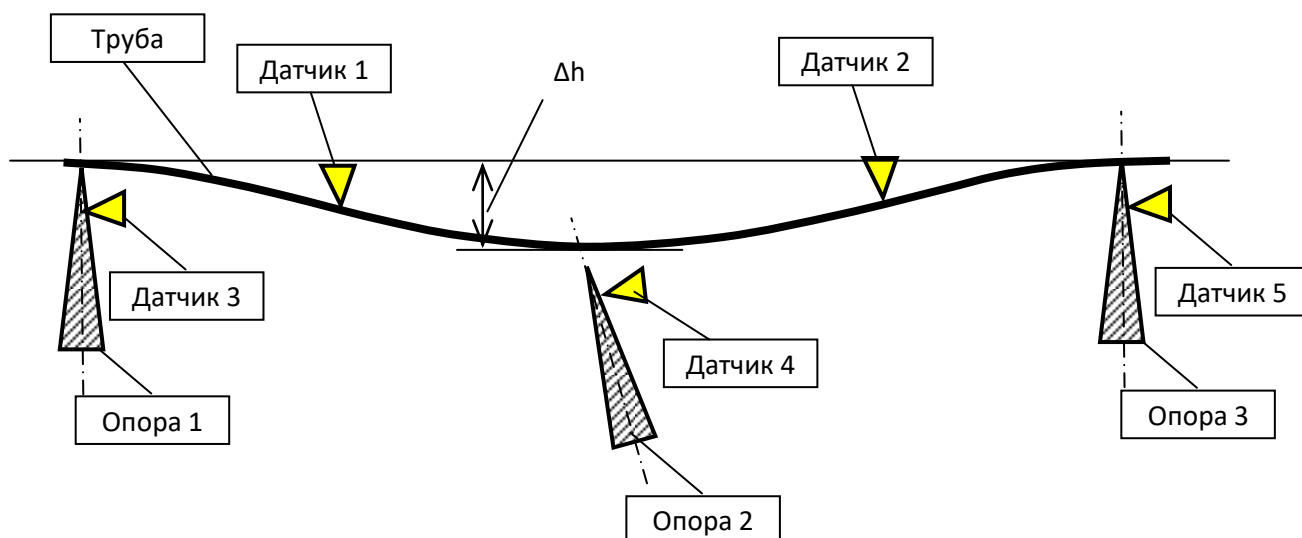


Рисунок 4. При наклоне опоры происходит смещение пятна касания опоры с трубой и, вызванное этим вертикальное деформирование трубы. Система контроля деформаций выдает значение прогиба трубы Δh и величину угла наклона опоры в двух вертикальных плоскостях

3.4. Аналогичным образом может быть рассмотрен ряд других схем возникновения деформаций. Практически в каждом случае АСМТ будет устойчиво вычислять соответствующее значение величины деформации трубы и значение угла наклона опоры.

3.5. Возможен вариант, когда деформации трубы отстают от смещения опоры: величина смещения опоры превышает величину деформации трубы. В этом случае происходит отрыв трубы от опоры в точке касания и провисание трубы. Поскольку при этом непрерывно будет происходить нарастание деформаций трубы, датчики 1 и 2 будут фиксировать непрерывное изменение собственных углов наклона.

3.6. Вариант одновременного смещения соседних опор является частным случаем рассмотренных выше ситуаций и не влияет на общность рассуждений.

5. Архитектура АСМТ

5.1. ПСМТ представляет собой трехуровневую информационную систему, использующую беспроводные каналы связи, и включающую в себя (рисунок 5):

- подсистему беспроводных первичных датчиков (инклинометров), устанавливаемых на трубе и / или на опоре;

- подсистему сбора и передачи информации, включающую в себя шлюзы для сбора данных и передачи их во внешние сети;
- подсистему накопления и обработки информации, включающую серверное оборудование, специальное программное обеспечение и автоматизированное рабочее место оператора.

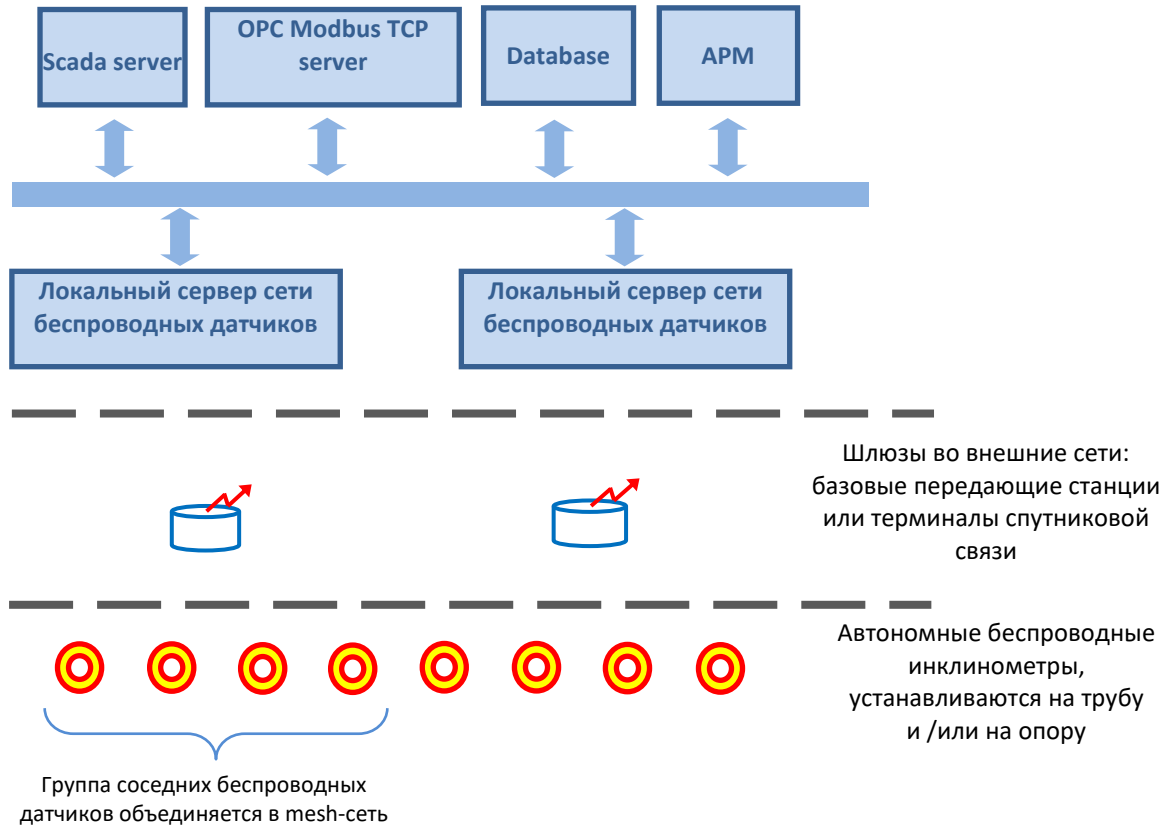


Рисунок 5. Архитектура системы ГТМ

5.2. Группы соседних инклинометров (предположительно, до 500 шт) образуют единую одноранговую mesh – сеть, использующую для внутренних коммуникаций специализированный протокол на базе технологии LoRa. Выход во внешние сети IIoT производится через несколько шлюзов.

5.3. В качестве шлюзов, в зависимости от местных условий, используются базовые приемные станции (протокол LoRaWan) или терминалы спутниковой связи.

5.4. В группе датчиков, объединенных в общую mesh-сеть, осуществляется двусторонний обмен данными. В соответствии с разработанным протоколом сети организуется транзитная маршрутизация данных (рисунок 6).

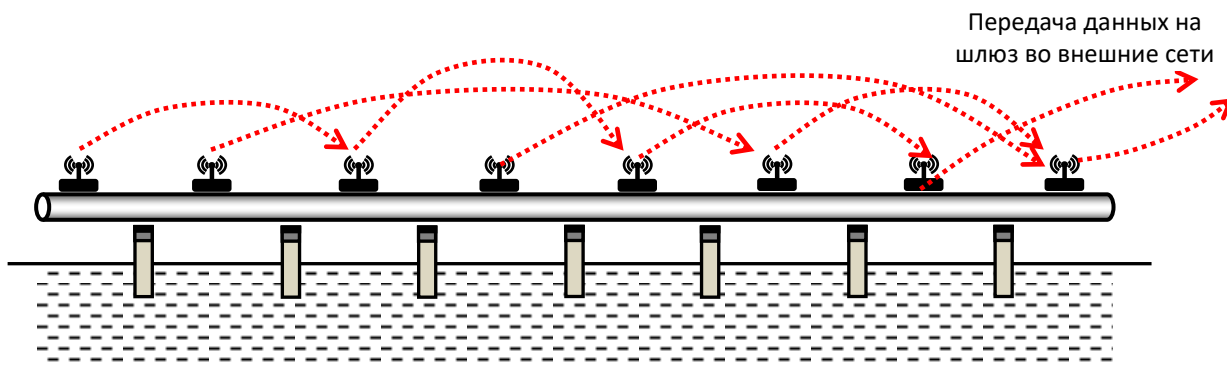


Рисунок 6. В группе датчиков, объединенных в общую mesh - сеть, осуществляется двусторонний обмен данными с выходом через шлюз во внешнюю сеть

5.5. Сервер верхнего уровня принимает и накапливает информацию о текущем состоянии опор. Специальное программное обеспечение позволяет проводить оперативный анализ состояния, выявлять опоры, подвижки которых превосходят допустимые значения, формировать прогноз развития по каждой опоре.

6. Датчики

6.1. Для контроля подвижек опор и деформаций трубных конструкций используются автономные прецизионные инклинометры с двусторонней транзитной маршрутизацией данных.



Рисунок 7. Структурная схема беспроводного инклинометра для контроля состояния опор и трубных сооружений

6.2. В компании ООО «Флагман Гео» (<http://flagman-geo.ru/>) в настоящее время завершается разработка семейства прецизионных беспроводных инклинометров ФЛН-205, предназначенных для использования в автоматических системах мониторинга с длительным сроком автономной эксплуатации (Рисунок 8).

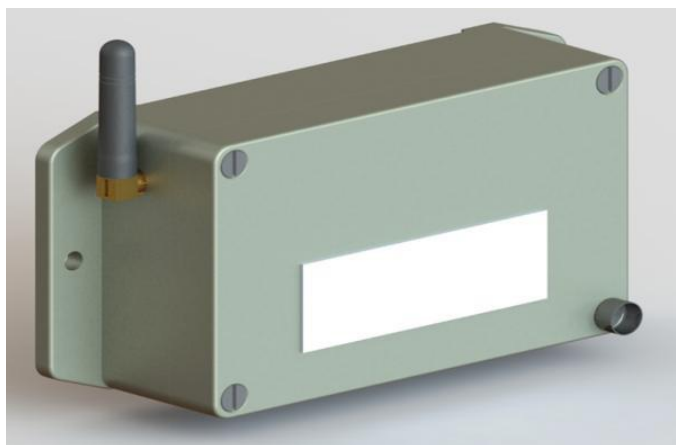


Рисунок 8. Беспроводный инклинометр ФЛН-206.

Предназначен для использования в составе автоматической системы мониторинга с длительным сроком автономной эксплуатации

7. Точностные характеристики системы ГТМ

7.1. Автоматическая система контроля деформаций опор и трубных конструкций обеспечивает:

- точность измерения угла наклона: не хуже ± 1 угл.мин,
- точность определения вертикального перемещения: не хуже ± 1 мм.

7.2. Такие значения соответствуют требованиям ГОСТ 24846-2012 "Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений", п.4.6.: «Допускаемая погрешность измерения перемещений для эксплуатационного периода на глинистых грунтах при расчетном значении вертикальных или горизонтальных перемещений, предусмотренных проектом, до 500 мм, должна составлять не менее 5 мм», а также п.8.2. «Предельные погрешности при определении крена в зависимости от высоты H наблюдаемого здания (сооружения) не должны превышать следующих значений, мм: ... $0,0005 H$ - для промышленных зданий и сооружений, дымовых труб, доменных печей, мачт, башен и др.».

В значительной степени такая точность обеспечена метрологическими характеристиками семейства инклинометров ФЛН-205: точность измерений: не хуже ± 30 угл.сек, диапазон измерений: ± 30 угл.град.

8. Условия эксплуатации

Автоматическая система контроля деформаций опор и трубных конструкций будет обеспечивать возможность долговременной эксплуатации в условиях криолитозоны:

- диапазон температур проведения измерений: -40 град С ... + 60 град С;

- диапазон температур сохраняемости: -55 град С ... + 80 град С.

Такие характеристики обеспечиваются параметрами компонентной базы и принятыми техническими решениями.

9. Условия автономности

9.1. Длительность автономной работы без смены источников питания при режиме измерений 1 раз в сутки составит не менее 3-х лет (характеристики подтверждены в ходе испытаний, проведенных в ООО «Флагман Гео»).

9.2. Режим измерений может изменяться в автоматическом режиме или по команде оператора.

9.3. Предельный срок эксплуатации - не менее 15 лет.

10. Монтаж датчиков

Схема монтажа исключает нарушение целостности материала трубы. Наиболее предпочтительный вариант: использование монтажного комплекта, в состав которого входят бандаж и укрепленная на нем площадка для установки инклинометров. Подобный метод крепления широко применяется для крепления волоконно-оптических датчиков на трубопроводе (рисунок 9).

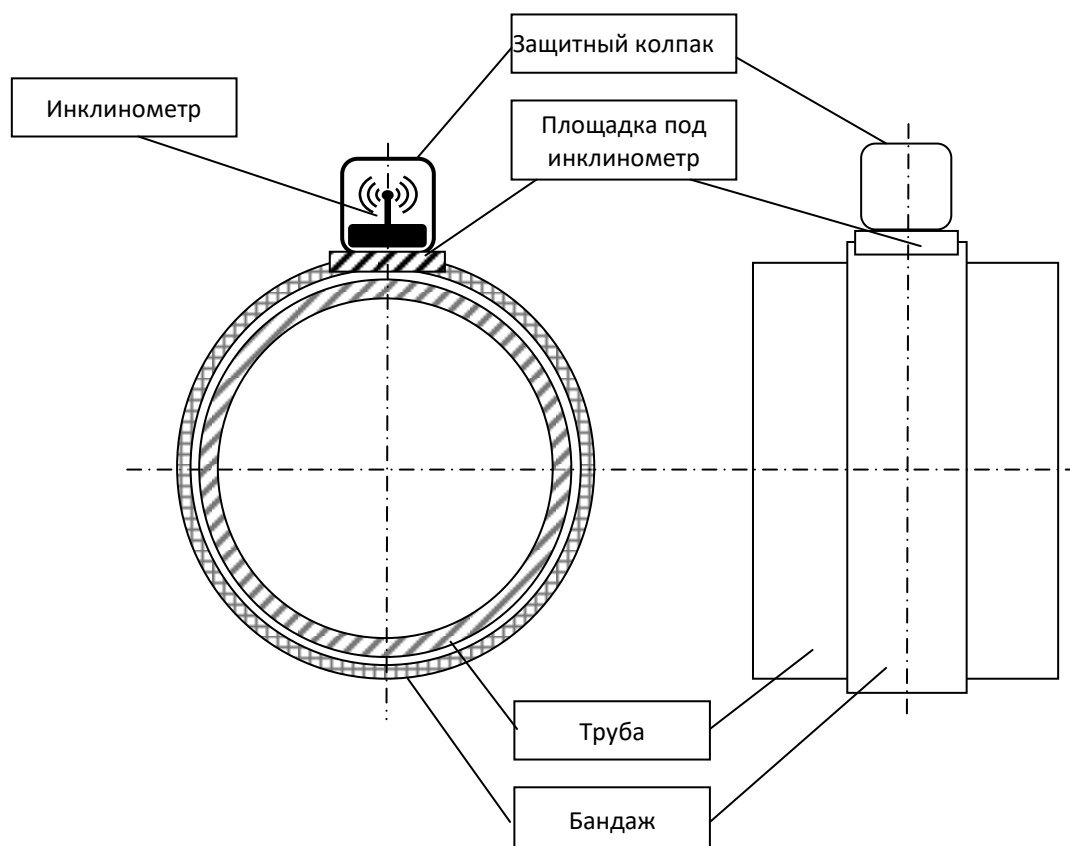


Рисунок 9. Схема монтажа датчиков на трубу

10. Основные технические характеристики АСМТ

№	Техническая характеристика	Значение	
1	Точность измерения угловых характеристик, не хуже, угл.мин.	$\pm 1,0$	
2	Точность определения линейных характеристик, не хуже, мм	$\pm 1,0$	
3	Диапазон измерения угловых характеристик, град	± 30	
4	Диапазон измерения линейных характеристик, мм	± 300	
5	Канал передачи данных	Беспроводный канал связи	
6	Требования по питанию	Автономное, батарейное	
7	Частота съема информации	в штатном режиме	1 раз в сутки
		в ускоренном режиме	1 раз минуту, 1 раз в час
8	Управление режимом частоты съема информации	автоматическое / ручное	
9	Время автономной работы (без смены источников питания) в штатном режиме	Не менее 3-х лет	
10	Форматы выходных данных	угловые перемещения	угловая минута
		линейные смещения	мм
12	Тип датчика наклона	Двухкоординатный, микромеханический	
13	Длина объекта мониторинга, не менее км	100	

14	Архитектура сети датчиков	Группы соседних датчиков (до 500 шт) образуют единую одноранговую mesh – сеть, использующую для внутренних коммуникаций специализированный протокол на базе технологии LoRa
15	Используемые шлюзы для выхода во внешние сети	- базовые приемные станции (протокол LoRaWan); - терминалы спутниковой связи
16	Количество используемых датчиков в составе единой системы ГТМ	Не менее 10 000 штук
17	Диапазон температур проведения измерений, град С	-40 ... +60
18	Диапазон температур сохраняемости, град С	-55 ... +80
19	Требования по взрывозащите и искробезопасности	По согласованию
20	Наличие свидетельства об утверждении типа СИ, описания типа СИ и методики поверки СИ (копии)	Да
21	Наличие свидетельства о первичной поверке СИ	Да
22	Способ монтажа	На монтажную площадку
22	Срок гарантийного обслуживания, год	3
24	Предельный срок эксплуатации, не менее, год	15

11. Приложение 1. Реакция инклинометра на подвижки трубы, опоры, бандажа

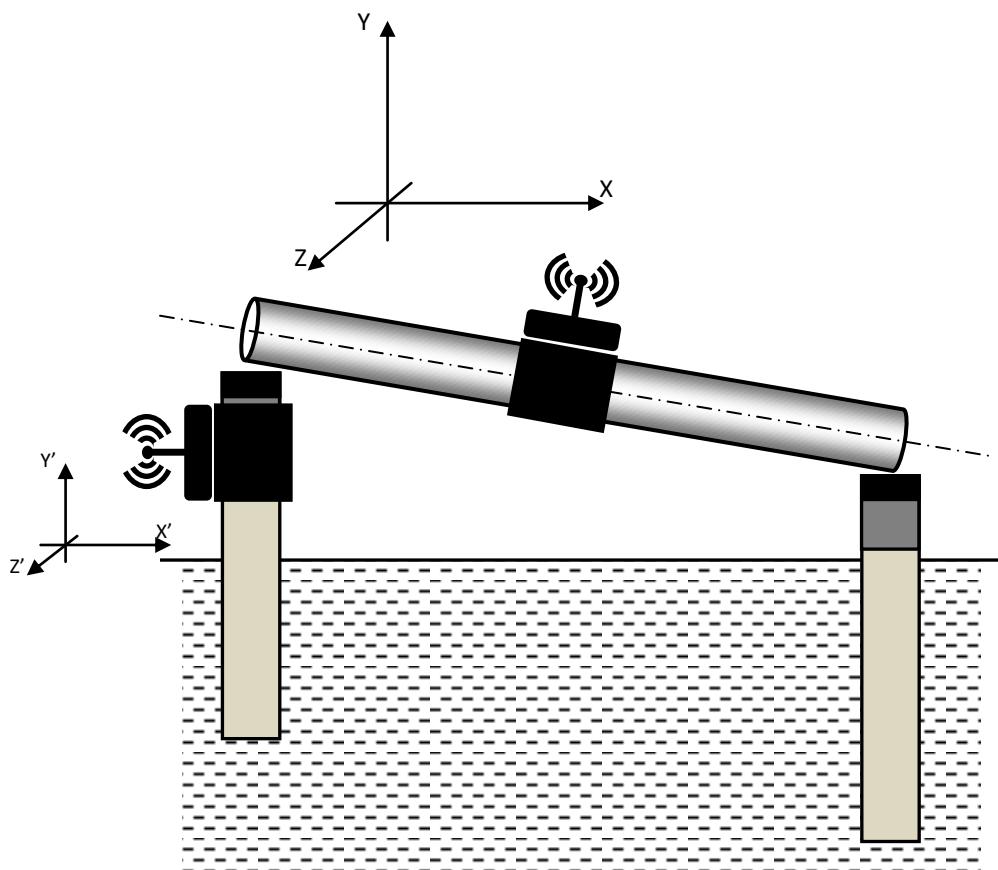


Рисунок 10. Система координат XYZ привязана к трубе в исходном положении, система координат X'Y'Z' привязана к опоре в исходном положении

1) Привязка системы координат XYZ к местной системе координат:

- ось X привязана к продольной оси трубы в исходном положении, лежит в горизонтальной плоскости;
- ось Y совпадает с градиентом силы тяжести, лежит в вертикальной плоскости, ортогонально к оси X;
- ось Z лежит в горизонтальной плоскости, ортогонально к осям X и Y.

2) Просадка (подъем) трубы – это поворот в вертикальной плоскости относительно оси Z. Инклинометр выдает величину угла поворота.

3) Прочие изменения положения трубы (скручивание относительно оси X и вращение относительно оси Y) не рассматриваются, так как они маловероятны, имеют очень небольшую величину и могут появляться как следствие просадок (подъемов) в сочетании с рядом особенностей (например, соседние опоры наклоняются в разные стороны, а сама труба по проекту делает поворот). При выявлении таких ситуаций первоначально будут обнаружены наклон трубы и наклон опор.

4) Разворот бандажа на трубе вызовет реакцию инклинометра как разворот относительно оси X. Поскольку оси X и Z ортогональны, то разворот относительно оси X не влияет на показания по оси Z. Более того: сигнал относительно оси X однозначно укажет на разворот бандажа. При этом работоспособность датчика на трубе не нарушится.

5) При наклоне опоры вправо/влево сработает датчик на опоре. Он выдаст угол наклона опоры относительно оси X', связанной с датчиком на опоре и параллельной оси X.

6) При наклоне опоры вперед/назад датчик на опоре выдаст информацию об угле наклона опоры относительно оси Z', связанной с датчиком на опоре и параллельной оси Z.

7). Абсолютно вертикальные смещения опоры практически невозможны. Вертикальные смещения опоры будут зафиксированы датчиком на опоре, как только угол опоры выйдет за диапазон ± 15 угл.сек.

8) Общий вывод:

- оптимальная конфигурация датчиков, обеспечивающая полный непосредственный контроль смещения трубы, бандажа и опор требует установки одного датчика на опору и одного датчика на пролет трубы;
- минимальная конфигурация датчиков, обеспечивающая непосредственный контроль смещения трубы, бандажа и косвенный (расчетный) контроль смещения опор, требует установки одного датчика на пролет трубы.