

Система мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений стен камер шлюзов (пилот проект)



Цели и задачи

Цель работы: подтвердить возможность применения автоматизированной технологии наблюдений (мониторинг) за состоянием стенок шлюзовых камер геодезическими методами, с применением высокоточных электронных тахеометров – автоматов.

Задачи:

- Опробовать применение автоматизированной системы мониторинга на реальном объекте.
- Определить чувствительность фиксации перемещений стен камер шлюзов данной системы в реальных условиях.
- Опробовать работу системы по наблюдению за контрольными точками в долгосрочный период.
- Опробовать работу системы по определению трехмерных перемещений контрольных точек в моменты шлюзования.
- Подтвердить полученные результаты дополнительными наблюдениями при помощи различных датчиков и методов наблюдений.
- Получить практический опыт по настройке системы под конкретные условия работы и задачи.



Состав системы

Электронный тахеометр-автомат **TM 30**

Характеристики

- Измерение углов: $\sigma = 1.0''$ (Hz, V)
- Измерение линий: $\sigma = 0.6\text{mm} + 1\text{ppm}$
- Дальность: $>10'000\text{m}$
- Автонаведение на цель: до 3000м
- Точность ATR 1''



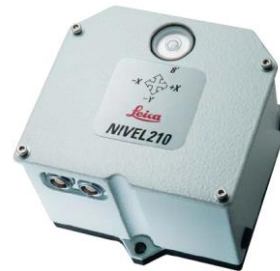
Визирные цели **GMP104**



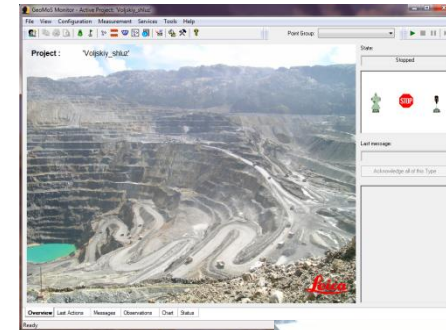
Датчики углов наклона **Nivel**

Характеристики

- Диапазон: A +/- 1.51 мрад (5' 30")
B +/- 2.51 мрад (9' 30")
C +/- 3.00 мрад (11')



Управляющая программа **GeoMos** Каналы связи и инфраструктура



| | | |
|------------|---|-----------------------------|
| ■ Точность | A | $\pm 1,05''$ (0,5 мм/100м) |
| | B | $\pm 3,15''$ (1,5 мм/100м) |
| | C | $\pm 10,05''$ (5,0 мм/100м) |



Схема расположения, установка

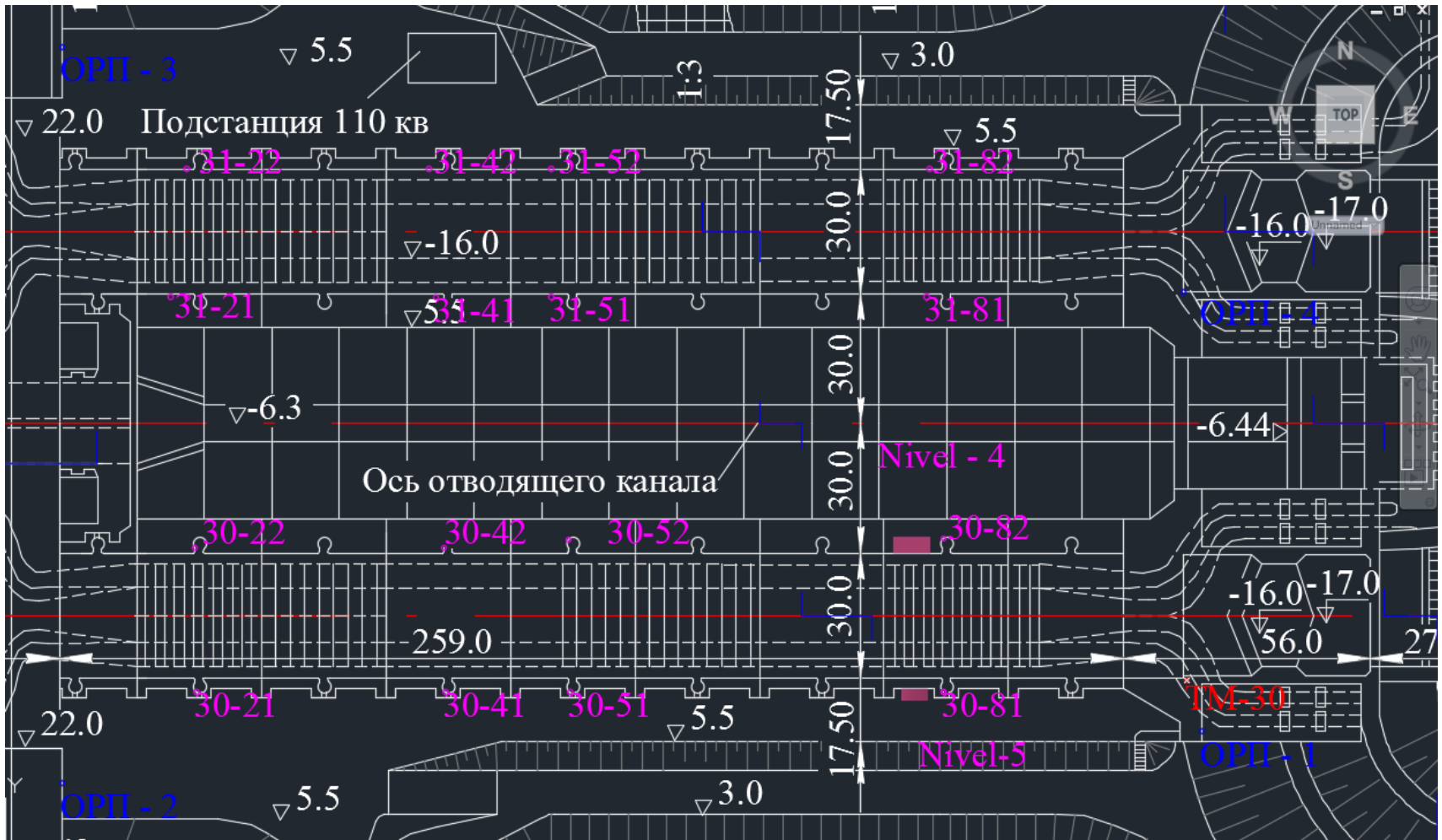


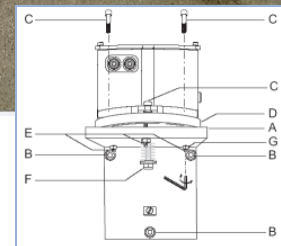
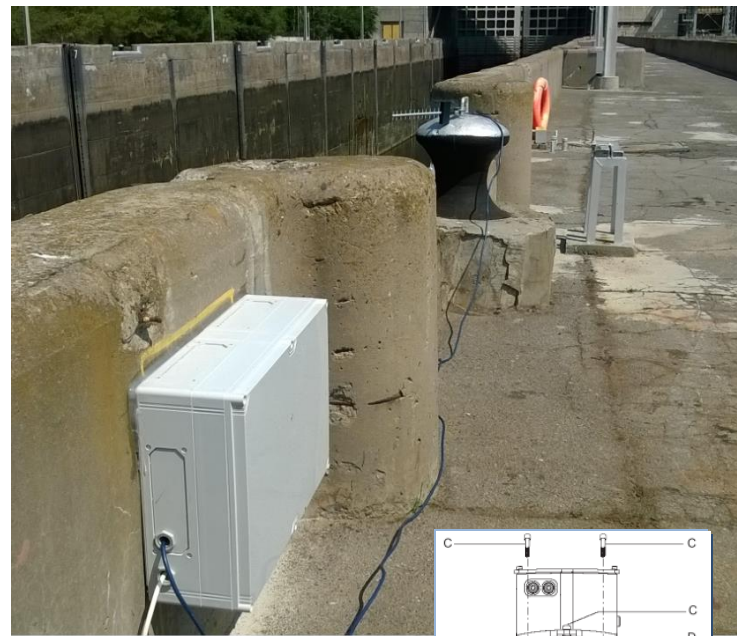
Схема расположения, установка

Электронный тахеометр-автомат **TM 30**



Управляющая программа **GeoMos**
Каналы связи и инфраструктура

Датчики углов наклона **Nivel**

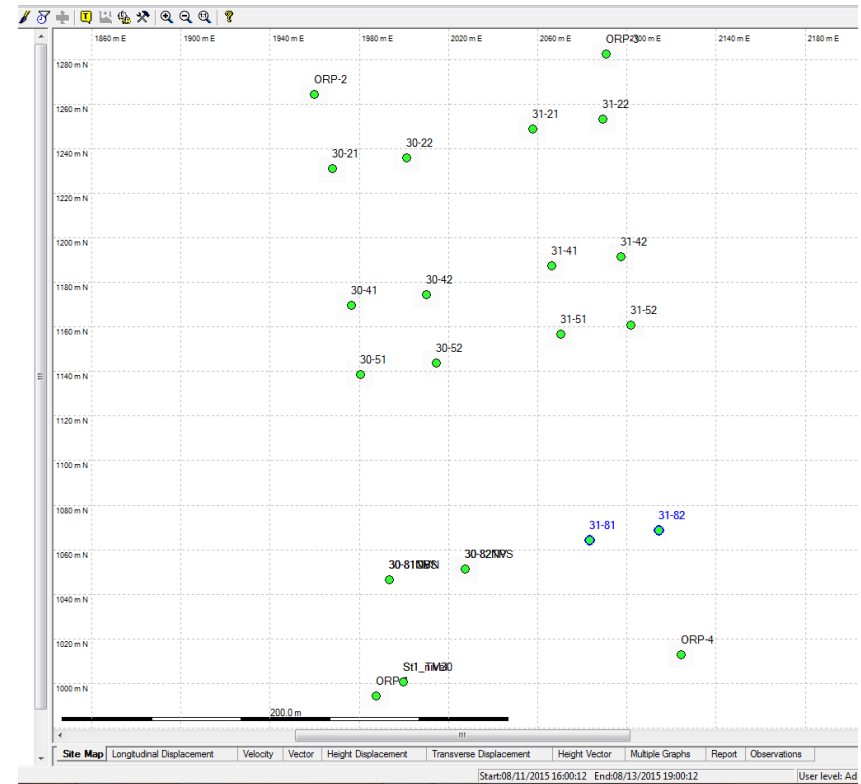


Конфигурация и настройка системы

Задание системы координат – плоская, локальная

Контрольные точки объединены в группы и профили. Для групп назначается период наблюдений для профилей задается направление определяемых смещений.

- В проекте две группы – 30-й и 31-й шлюзы
- Определение смещений в трех направлениях – вдоль оси шлюза, перпендикулярно оси и по высоте
- Тахеометр устанавливался в начале рабочего дня в конце снимался
- Период наблюдений контрольных точек в группе составлял 5 минут
- Учитывается изменение внешних условий (температура и давление)



Стабильность положения электронного тахеометра контролировалась методом обратной засечки по четырем опорным точкам.

- Создана группа «Обратная засечка»
- Период переопределения координат каждые 40 минут
- Программа позволяет контрольные точки определять от последних координат станции, что дает возможность учитывать возможные смещения пилона.



Конфигурация и настройка системы

Определение кренов стенок при помощи датчиков углов наклона

- Датчики фиксируют наклон стенок в двух направлениях – вдоль и перпендикулярно оси шлюза

- Фиксация наклона каждую минуту

- Фиксация температуры датчика каждую минуту

- $\sqrt{(X30_21-X30_22)^2+(Y30_21-Y30_22)^2}$

Виртуальные датчики расчет изменения заданного параметра по формуле.

- Созданы виртуальные датчики расстояний для каждой пары точек на противоположных стенках камеры. Расчет по данным тахеометра.

- Созданы виртуальные датчики для определения горизонтальных смещений контрольных точек по данным Nivel

- Расстояния определялись каждые 5 мнут. Смещения по данным Nivel каждые 2 минуты.

- $(20.000*\tan(\text{Nivel_X_15}-0.0008))*1000$

| Name | Formula | Observ... | Sensor Lc |
|----------------------|--|-----------|-----------|
| Distans2D(3021_3022) | $\sqrt{(X30_21-X30_22)^2+(Y30_21-Y30_22)^2}$ | Distance | 30-21 |
| Distans2D(3041_3042) | $\sqrt{(X30_41-X30_42)^2+(Y30_41-Y30_42)^2}$ | Distance | 30-41 |
| Distans2D(3051_3052) | $\sqrt{(X30_51-X30_52)^2+(Y30_51-Y30_52)^2}$ | Distance | 30-51 |
| Distans2D(3081_3082) | $\sqrt{(X30_81-X30_82)^2+(Y30_81-Y30_82)^2}$ | Distance | 30-81 TPS |
| Distans2D(3121_3122) | $\sqrt{(X31_21-X31_22)^2+(Y31_21-Y31_22)^2}$ | Distance | 31-21 |
| Distans2D(3141_3142) | $\sqrt{(X31_41-X31_42)^2+(Y31_41-Y31_42)^2}$ | Distance | 31-41 |
| Distans2D(3151_3152) | $\sqrt{(X31_51-X31_52)^2+(Y31_51-Y31_52)^2}$ | Distance | 31-51 |

Formula:
 $\sqrt{(X30_21-X30_22)^2+(Y30_21-Y30_22)^2}$

| Name | Sensor | Sensor Locati... | Observation Type | Shift |
|--------|-----------|------------------|------------------|-------|
| X30_21 | TM30/TS30 | 30-21 | Northing | Abs |
| Y30_21 | TM30/TS30 | 30-21 | Easting | Abs |
| Y30_22 | TM30/TS30 | 30-22 | Easting | Abs |
| X30_22 | TM30/TS30 | 30-22 | Northing | Abs |
| X30_41 | TM30/TS30 | 30-41 | Northing | Abs |
| X30_42 | TM30/TS30 | 30-42 | Northing | Abs |
| Y30_41 | TM30/TS30 | 30-41 | Easting | Abs |

Визуализация в модуле GeoMos Analyzer.

- Создание графиков, диаграмм таблиц для анализа результатов.
- Сохранение в SQL базе данных для анализа во внешнем профессиональном ПО



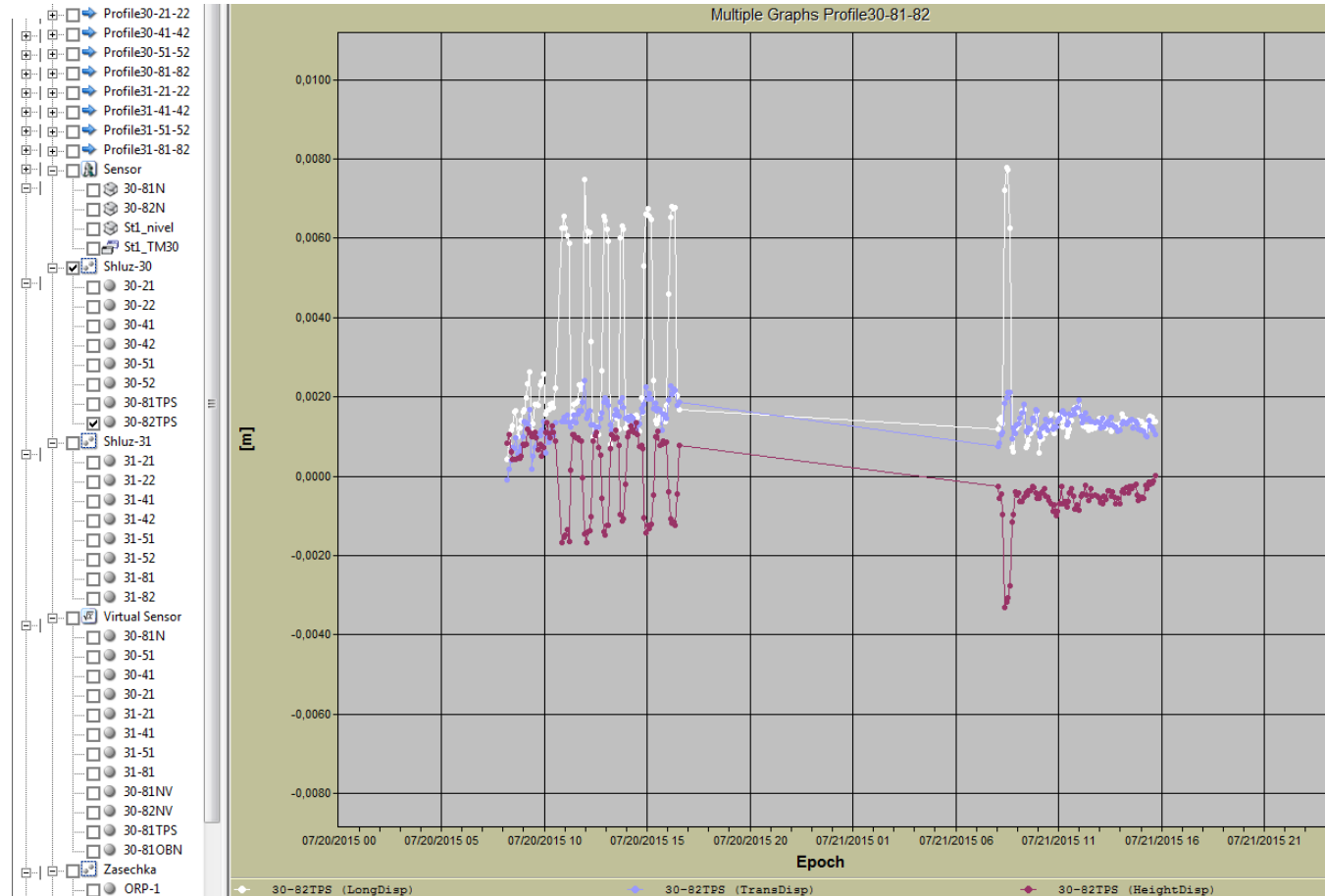
Оценка результатов

Пространственные смещения контрольных точек, закрепленных на стенах шлюзовых камер.

Шлюз № 30 точка 82 период с 07.08.15 по 08.03.15.

Смещения перпендикулярны оси (белый) и вдоль оси (синий). Смещения определены относительно начала периода. Их можно также показывать относительно начального цикла и т. д.

Увеличен отдельный интервал за тот же период. Добавлено смещение по высоте



Плановые смещения за период в пределах 2мм, высотные 2,5 мм

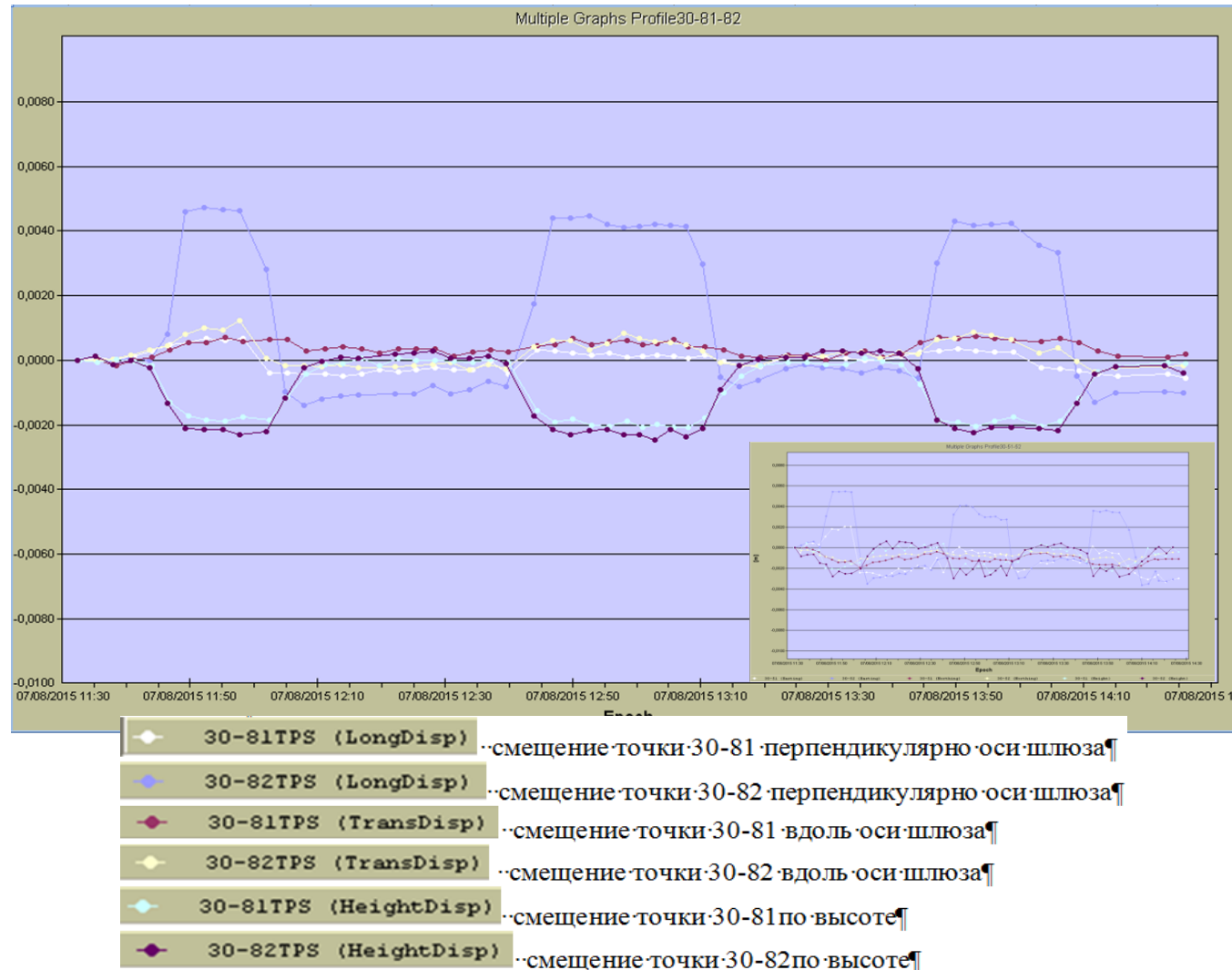


Оценка результатов

Смещения стенок шлюзовых камер во время шлюзований.

Плановые смещения фиксировались на уровне 3,5 -5.5 мм для разных секций в разные периоды, высотные смещения: 2-2, 5 мм

Точки со стороны отводящего канала двигаются в диапазоне 3 – 4мм. со стороны грунтовой засыпки 1.5 – 2мм. Наблюдается зависимость результатов измерений от расстояния тахеометра до контрольных точек (1-й график 50 метров, второй 150 метров.)

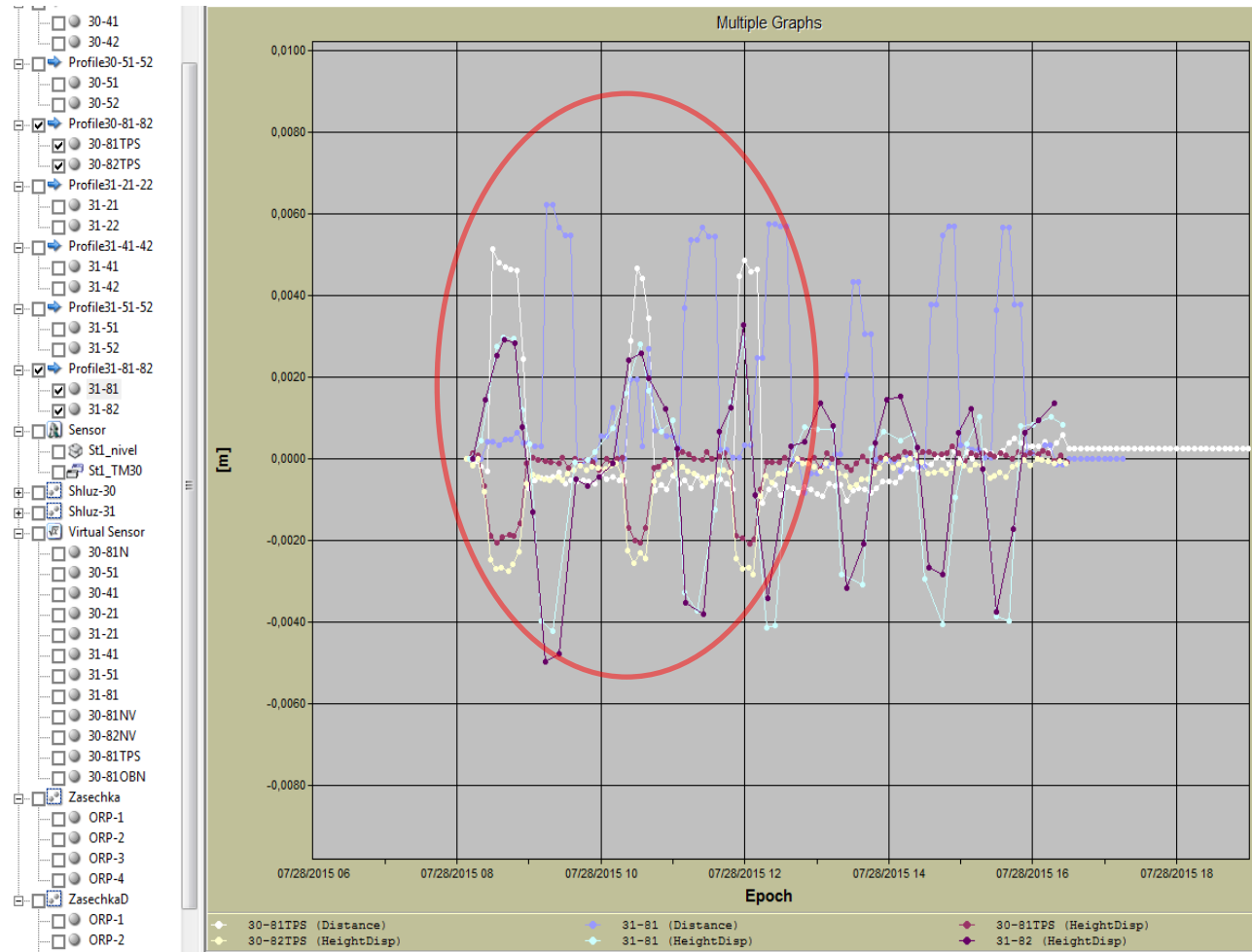


Оценка результатов

Смещения стенок камер при одновременной работе двух шлюзов.

Наполнение на 30-м шлюзе (белая линия) – «всплытие» 31 шлюза (бордовая линия) в среднем на 2 мм.
Наполнение на 31-м шлюзе – голубая линия
Обратной зависимости не прослеживается!

Взаимное влияние на плановое положение при наполнении и опорожнении камер наибольшим образом сказывается на стенках, примыкающих к отводящему каналу.



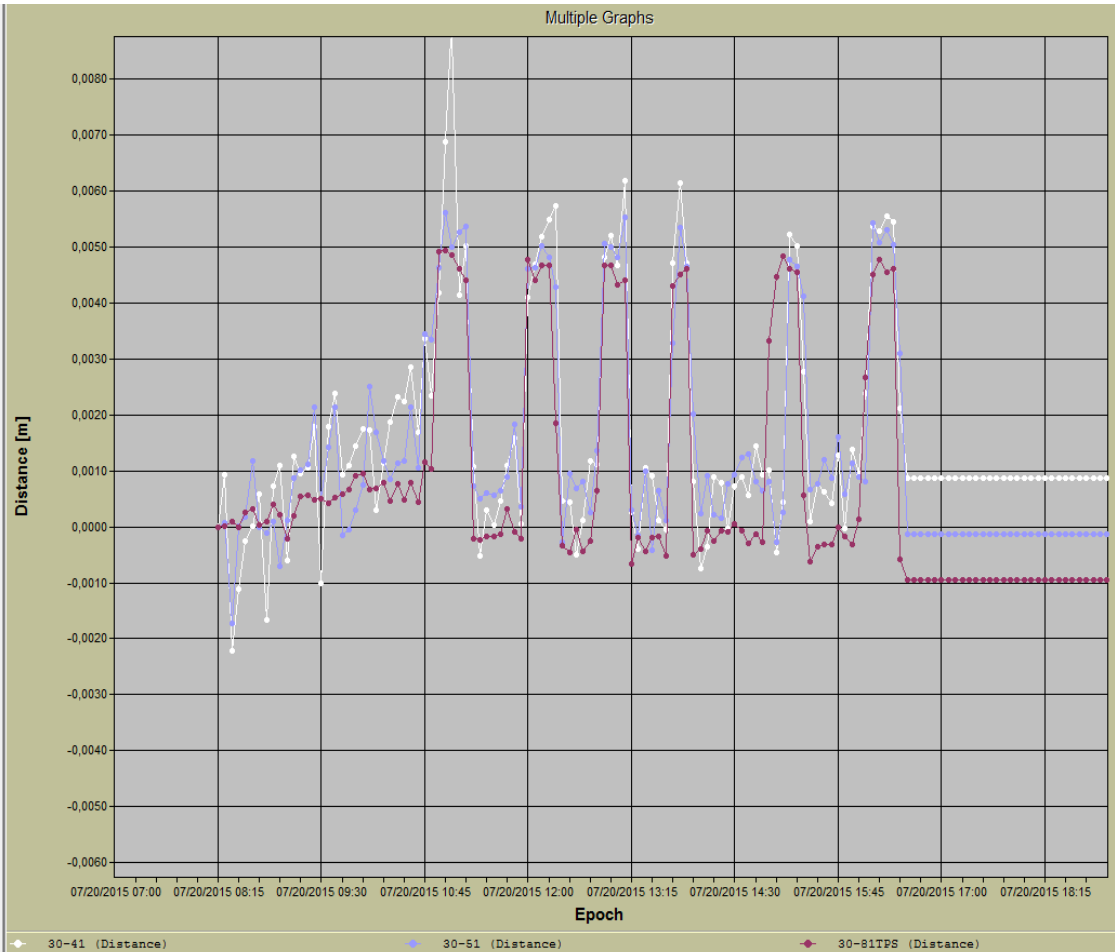
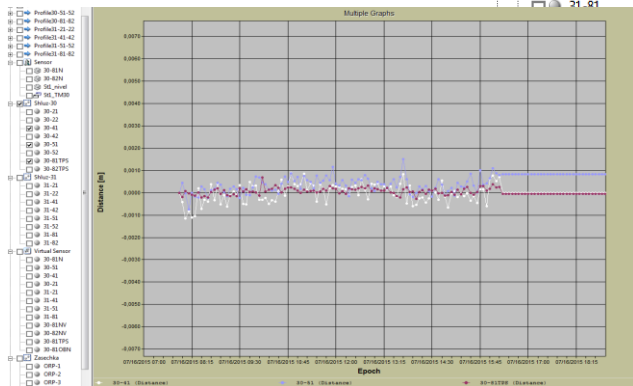
Оценка результатов

Определение изменения расстояний между стенками по формуле (виртуальный датчик).

Шлюз 30 секции 4,5,8
Расстояния определяются одинаково корректно для всех секций. С минимальным влиянием внешних условий.

В отсутствие шлюзований «шум» при определении расстояний не превышает 1 мм.

- Profile30-51-52
- Profile30-81-82
- Profile31-21-22
- Profile31-41-42
- Profile31-51-52
- Profile31-81-82
- Sensor
- 30-81N
- 30-82N
- St1_nivel
- St1_TM30
- Shluz-30
 - 30-21
 - 30-22
 - 30-41
 - 30-42
 - 30-51
 - 30-52
 - 30-81TPS
 - 30-82TPS
- Shluz-31
 - 31-21
 - 31-22
 - 31-41
 - 31-42
 - 31-51
 - 31-52
 - 31-81
 - 31-82



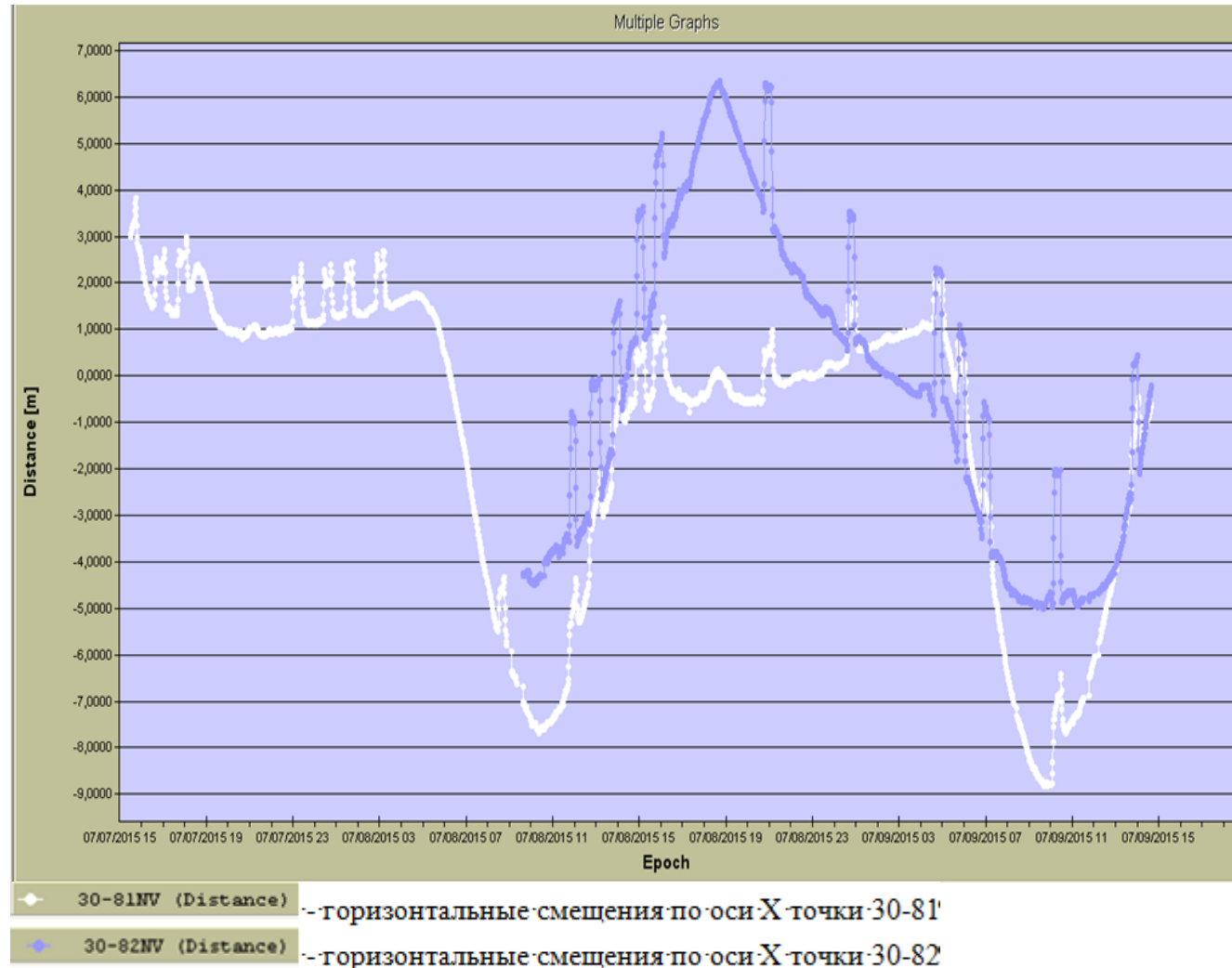
Оценка результатов

Определение изменения расстояний между стенками шлюзов с помощью датчиков углов наклона Nivel

Данные датчиков представляются в виде наклона по двум осям, ось X – перпендикулярна оси шлюза

На графиках пример представления данных в виде линейных смещений (виртуальный датчик)

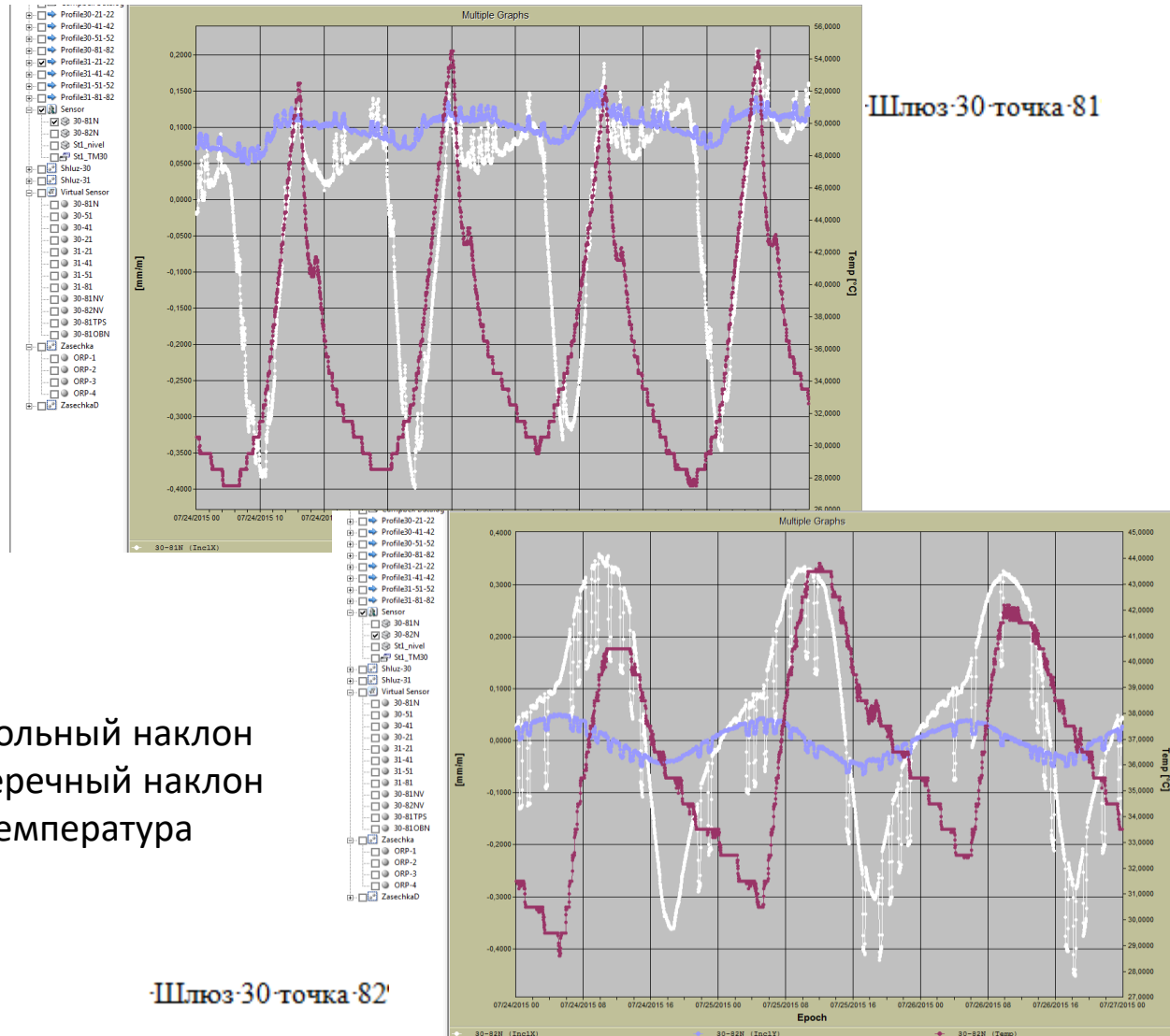
Полное подтверждение данных, полученных с тахеометра. (1 -1.5 и 2,5 - 3.5 мм для противоположных стенок) дает возможность утверждать, что стенки при шлюзовании наклоняются целиком, без изломов.



Оценка результатов

Суточные изменения наклонов, зависимость от температуры (по данным Nivel).

Графиками еще раз подтверждается разные величины наклонов левой и правой стенок шлюза, а так же разный режим температурных деформаций.



Оценка результатов

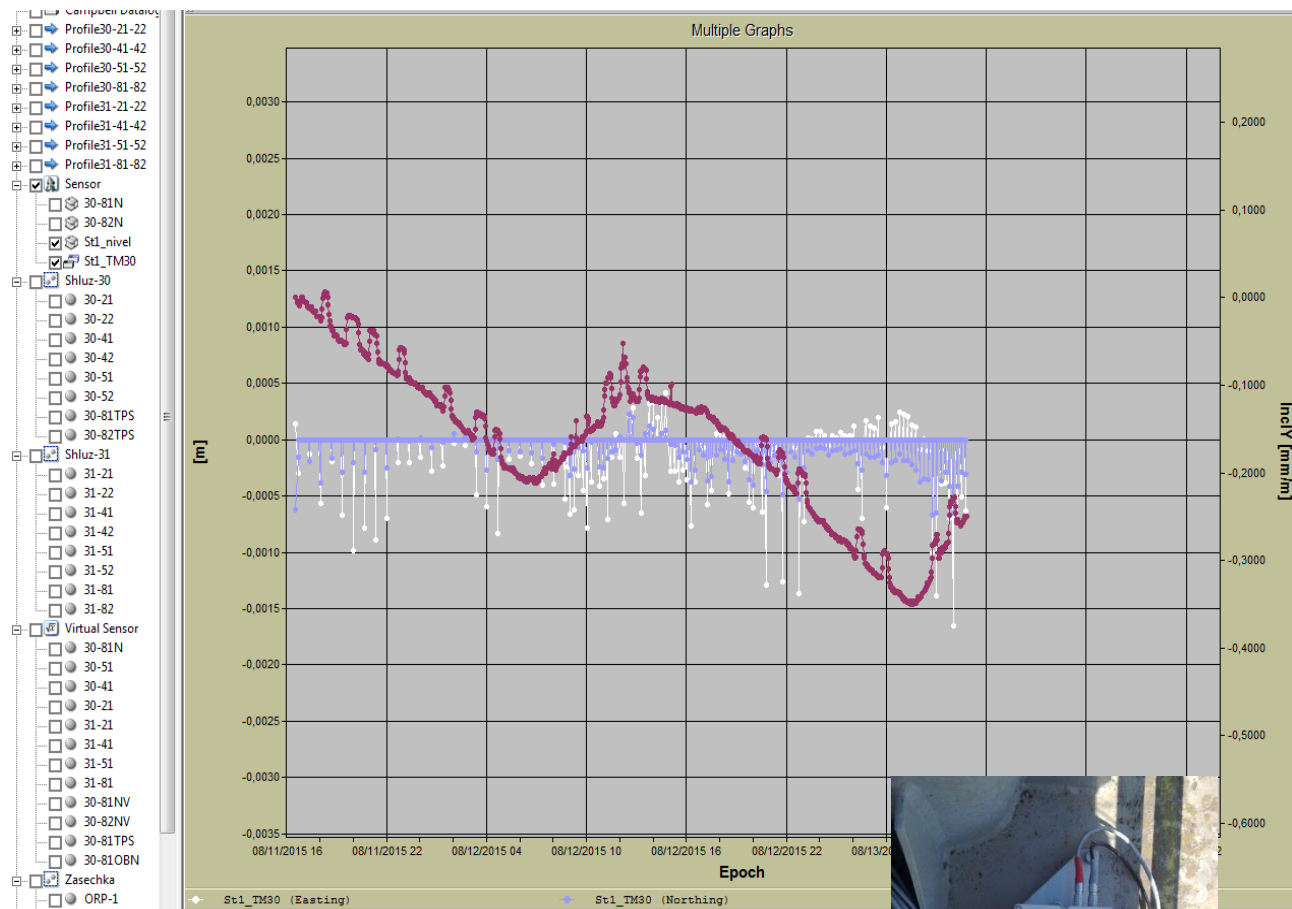
Определение стабильности пилона с электронным тахеометром

На графике данные по Nivel, установлен рядом с пилоном на 2 суток. Наклоны вдоль оси шлюза.

Обратная засечка, линейно-угловая, в автомате разброс координат $\pm 0,5\text{мм}$

Обратная засечка, линейная, в автомате разброс координат $\pm 0,25\text{мм}$

Отраженные на графиках изменения координат – результат нестабильности опорного обоснования, влияния внешних факторов, нестабильность конструкций, на которых установлен пилон. В результате эксперимента уровень перемещений пилона за двое суток 2-3 мм.



Выводы и рекомендации

- 1. Система мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений стен камер шлюзов, основанная на высокоточных тахеометрах-автоматах позволяет фиксировать относительные пространственные перемещения контрольных точек на уровне (с чувствительностью) 1 мм и меньше.**
 - для достижения указанных результатов за длительный период наблюдений необходимо обеспечить точное периодическое переопределение координат тахеометра, что подразумевает организацию стабильной опорной геодезической сети.
 - подтверждено, что для обеспечения наилучших результатов необходимо для переопределения координат тахеометра использовать метод линейной засечки.
 - наполнение или опорожнение одного шлюза, сказывается на движении элементов соседнего шлюза, что существенно затрудняет оценку результатов и наглядность представления в виде графиков
- 2. Изменения трехмерного положения контрольных точек в моменты шлюзования при помощи высокоточного электронного тахеометра определяются достаточно надежно.**
 - опытным путем для конкретных условий проведения эксперимента и расположения оборудования установлено, что наилучшие результаты получаются при удалении контрольных точек от тахеометра не более 170-180 метров
 - Система надежно фиксировала плановые перемещения в моменты шлюзования в пределах 4-5 мм, высотные перемещения составили 2мм.



Выводы и рекомендации

3. Высокоточный электронный тахеометр-автомат с точностью дальномерной части 0,6 мм и угловой точностью 1" или 0,5" позволяет достаточно надежно определять расстояния (динамику изменений расстояний) между стенками шлюза.

- динамика изменения собственно расстояний между контрольными точками на противоположных стенках шлюза определяется надежнее, чем трехмерные смещения каждой контрольной точки в отдельности

4. Подтвердилась возможность фиксировать изменение горизонтальных смещений стенок секций шлюзов с использованием высокоточных датчиков наклона Nivel.

- Направление кренов в продольном и поперечном направлении в моменты шлюзования, а так же вычисленные значения горизонтальных поперечных смещений полностью совпадают с данными от тахеометров
- Данные от датчиков являются достаточно объективными и наглядными, поскольку лишены влияния человеческого фактора, в отличие от данных полученных тахеометром. Датчики работают полностью в автоматическом режиме, имеют высокую чувствительность и отражают все изменения 24 часа в сутки.



Опыт применения автоматизированных систем мониторинга на ГЭС

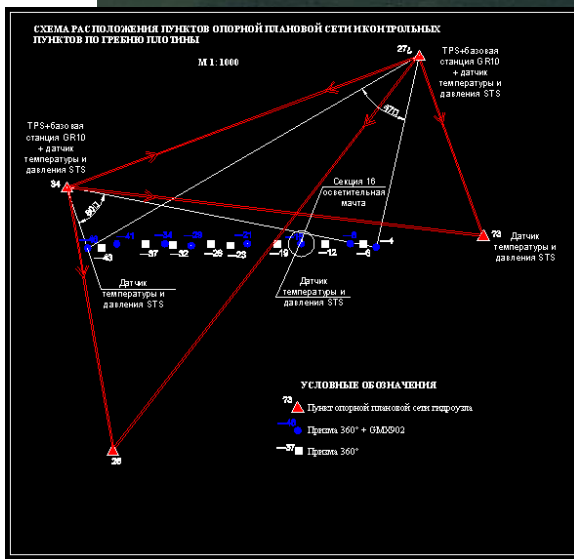
Красноярская ГЭС

Система
геодезического
мониторинга
мостовых переходов

Рабочий пункт для
наблюдений



Красноярская ГЭС



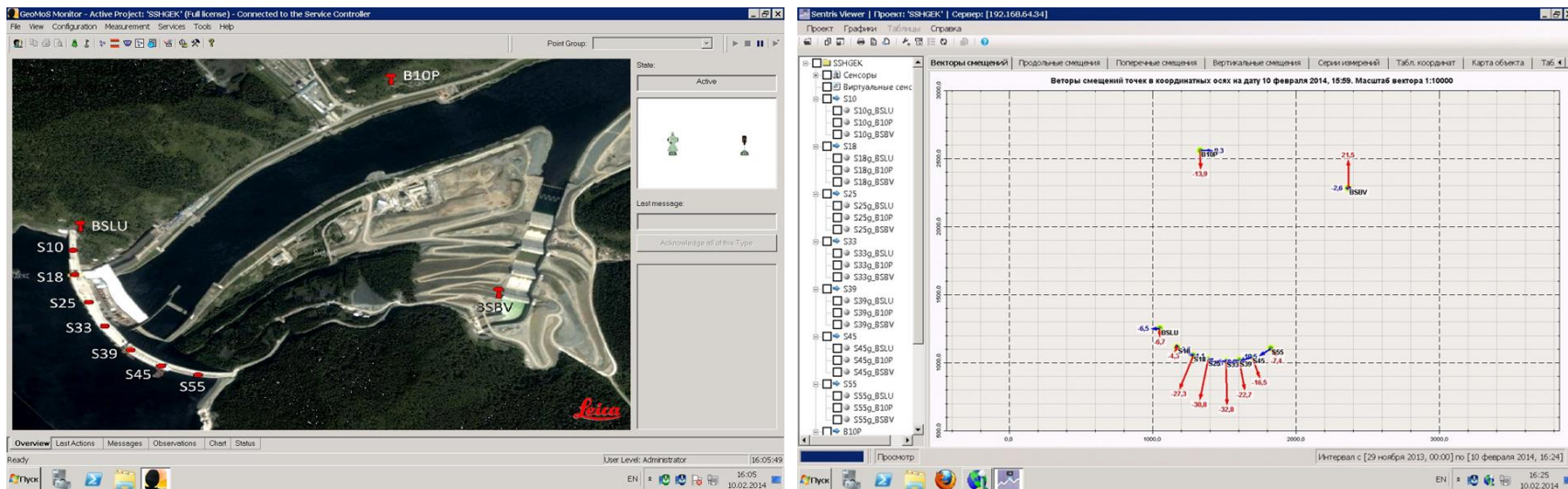
Пункты установки электронного тахеометра-автомата



Наблюдаемые точки



Система автоматизированного деформационного мониторинга Саяно-Шушенская ГЭС



- 3 спутниковых базовых станций ГЛОНАСС/GPS
- 7 мониторинговых приемников ГЛОНАСС/GPS на гребне
- ПО Spider, GeoMos, Sentris
- Центр управления и вычислений (сервер)
- Каналы связи и инфраструктура



Система автоматизированного деформационного мониторинга

Саяно-Шушенская ГЭС



Монтаж базовой станции



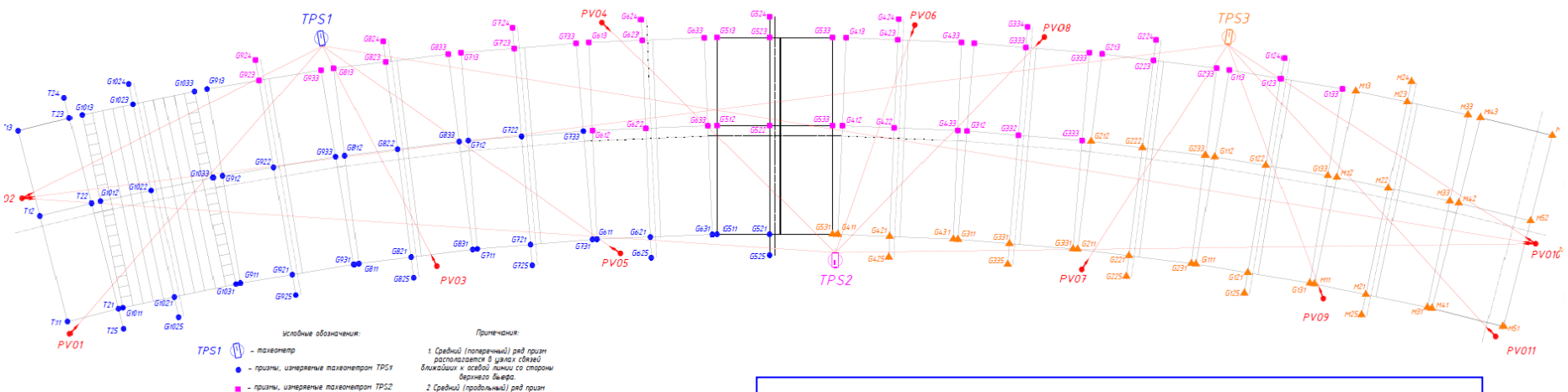
Монтаж мониторингового приемника



АСДМ МАРХИ - Мониторинг перекрестно-стержневых конструкций покрытия машинного зала Саяно-Шушенской ГЭС



АСДМ МАРХИ - Саяно-Шушенская ГЭС



Состав системы

- Центральный пульт (сервер) 1 шт.
- Тахеометра Leica TM-50-1" 3 шт.
- Призмы ПВО 12 шт.
- Призмы Монитор 165 шт.
- Сейсмокомплекс Zet048C-GNSS-6 2 шт.
- GNSS антенны 2 шт.
- Коммуникации и инфраструктура
- АРМ «Sentris-Viewer»



ООО «Фирма Г.Ф.К.»

Инновационные геодезические технологии и оборудование



111524, г. Москва, ул. Перовская, дом 1

(495) 232-60-68

www.gfk-leica.ru

info-gfk@leica-gfk.ru