

# Геотехнический мониторинг методом лазерного сканирования

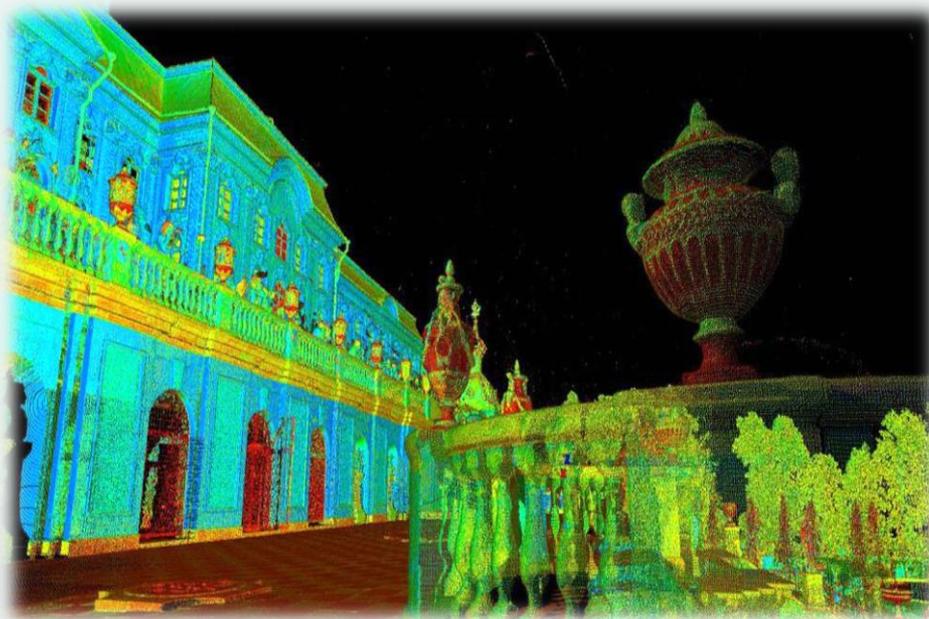


Толстель Сергей Михайлович  
главный маркшейдер



# ЧТО СОБОЙ ПРЕДСТАВЛЯЕТ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ?

2

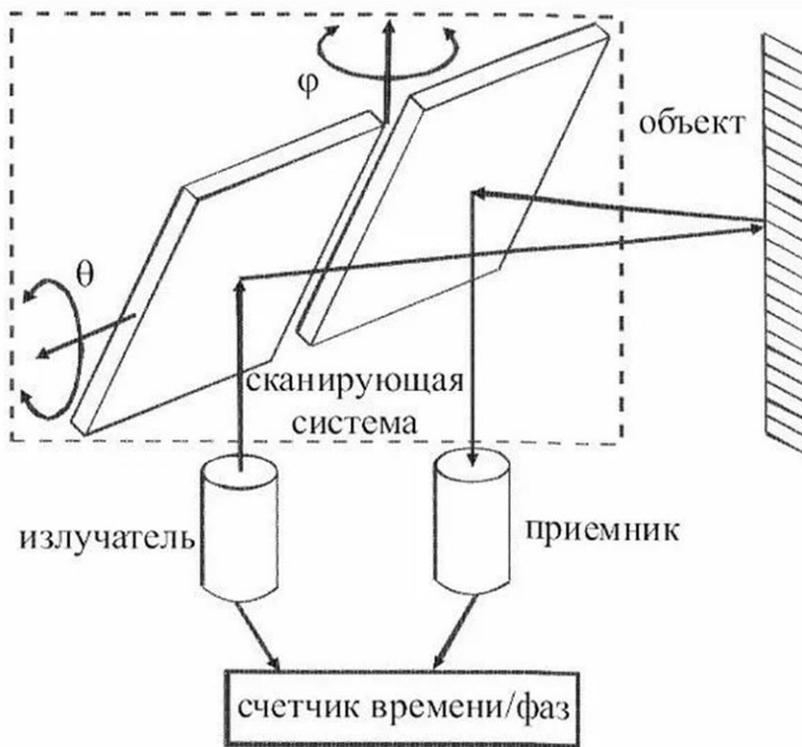


## ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Это новейший метод получения 2D и 3D моделей окружающего пространства. В процессе работы лазерного сканера создается облако точек с пространственными координатами, которые в итоге дают объемное изображение. Полученная модель объекта может содержать от нескольких тысяч до нескольких миллионов координатных точек. При этом измерения проходят с точностью до миллиметра.

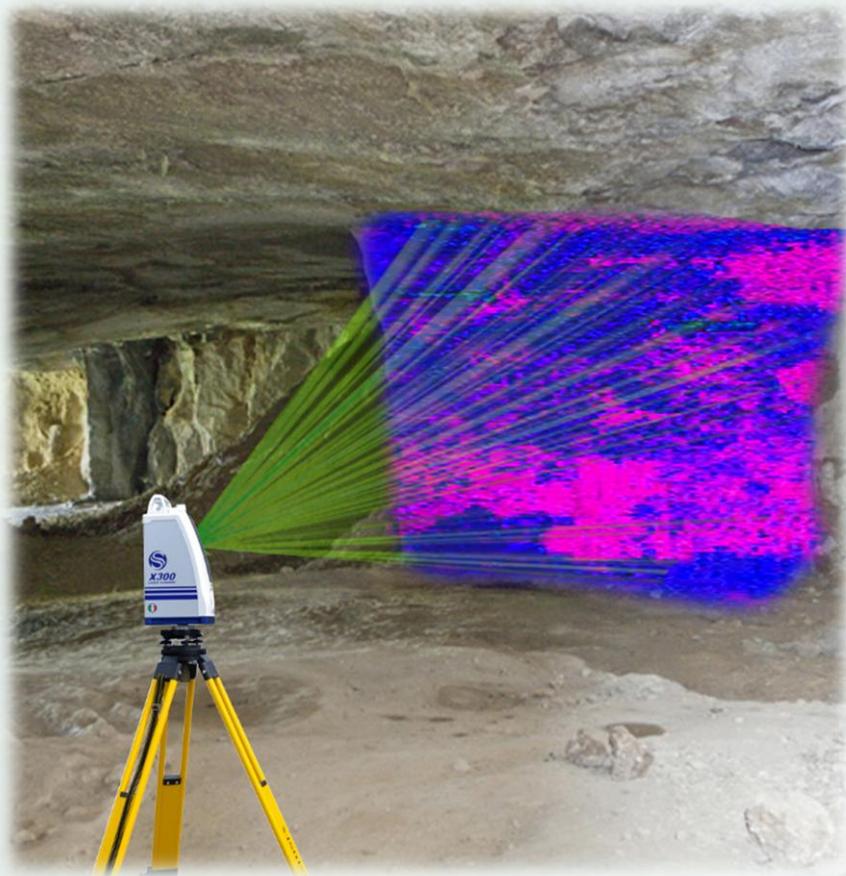
# ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА

3



Принцип работы лазерного сканера можно сравнить с работой любого радара. Он заключается в излучении лазерного луча, который обладает высокой частотой, и отражении его на колеблющемся зеркале. Так, луч достигает объекта, а затем вновь возвращается в отправную точку. В этот момент прибор фиксирует время возврата, согласно которому получает данные о расстоянии, на котором находится объект. Так создается облако точек. При этом стоит отметить, что прибор может отправить сразу множество лучей, то есть мгновенно получить информацию сразу о значительной части объекта.

# ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ



*В отличие от использования тахеометра:*

Данный метод проведения съемки является бесконтактным и автоматизированным. Прибор содержит специальный сервопривод, который самостоятельно вращает измерительную головку в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Специалисту не нужно больше нажимать какие-либо кнопки для включения дальномера или записи полученных координат, выискивать цель через окуляр тахеометра, переставлять технику с места на место.

# ОСНОВНЫЕ ВИДЫ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

5



## НАЗЕМНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Производится с помощью лазерного сканера. Визуализация объекта происходит путем сканирования координатных точек. Затем проходит более детальное моделирование каждой отдельной поверхности и сбор всех полученных данных в единый массив. Для проведения этого типа работ не требуется установка дополнительных отражателей, меток или маркеров.



## МОБИЛЬНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Съемка проходит с помощью лазерных сканеров, но они при этом закреплены на транспортное средство. Оно движется по установленному маршруту для сбора необходимых данных. Сами приборы обладают встроенными компенсаторами наклонов и вибраций, а также очень жестко крепятся к своему «носителю». Все это позволяет избежать каких-либо неточностей, которые могли бы возникнуть за счет осуществления съемки в движении.



## СКАНИРОВАНИЕ С ВОЗДУХА

Такой тип работ считается наиболее быстрым и детальным. Он позволяет получить картинку местности с учетом всех особенностей рельефа. При этом можно установить определенную яркость, чтоб в дальнейшем иметь возможность отдельно работать с объектами инфраструктуры, земной поверхностью, зданиями и пр.

# ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ

6



## ГЛАВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- ✓ Точность
- ✓ Дальность
- ✓ Скорость сбора данных
- ✓ Угол обзора

Выбор сканера зависит от технологических требований изучаемого объекта

### СКАНЕРЫ СРЕДНЕГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ

Дальность до 100 м ;  
Допустима погрешность  
в несколько миллиметров.

### СКАНЕРЫ ДАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Допустима погрешность  
от нескольких мм  
до нескольких см;  
Работают с дальностью  
в сотни метров.

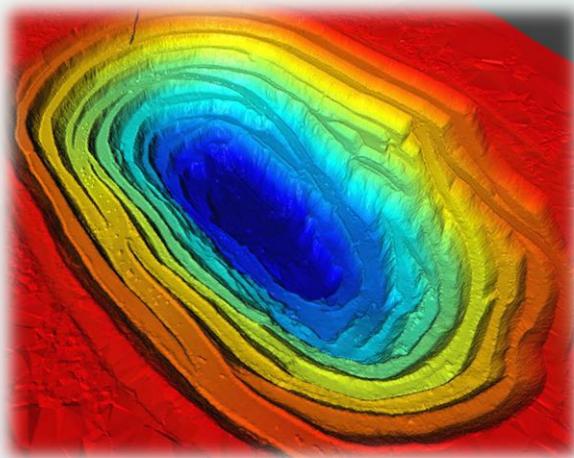
### МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СКАНЕРЫ

Дальность – более 1км;  
Погрешность – до 1дц

## ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Позволяет создавать цифровые модели отдельных зданий и сооружений, а также целых комплексов или территорий. С его помощью можно получить точные данные даже при работе со сложными архитектурными формами.

Лазерное сканирование применяют для решения задач:

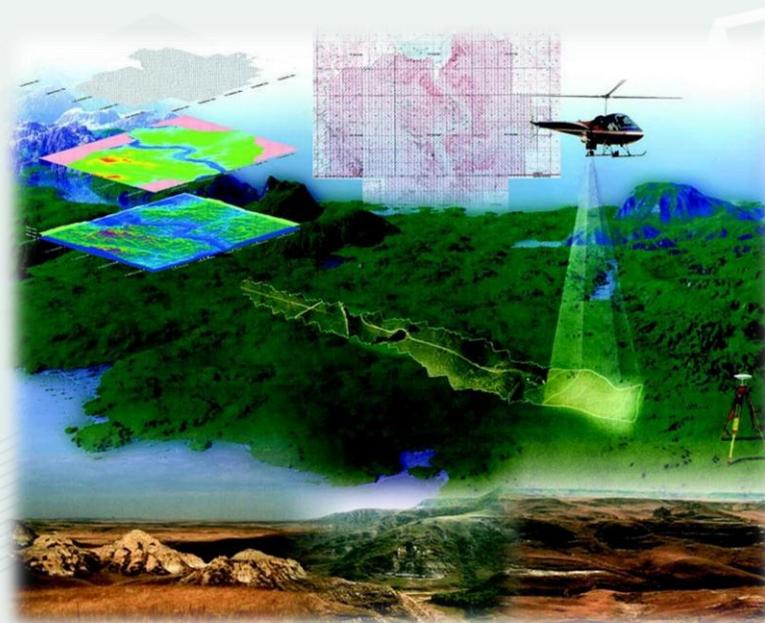


- ✓ создание трехмерного кадастра недвижимости;
- ✓ проектирование или топографическая съемка элементов инфраструктуры, промышленных сооружений;
- ✓ слежение за деформациями готовых или строящихся объектов;
- ✓ создание 3D моделей рельефа, сложных технологических объектов;
- ✓ съемка фасадов любой сложности;
- ✓ сбор данных для дальнейшего строительства объекта, его полной или частичной реконструкции, планового ремонта и т.д.

# ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

## ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

это выгодная экономия материальных и временных затрат. Позволяет в кратчайшие сроки получить максимальное количество данных, а затем создать детальную 3D-модель объекта. Это дает возможность хранить в электронном виде подробную информацию о любом объекте, будь то архитектурный памятник, жилой комплекс, промышленное здание, рельеф территории и пр. Может в дальнейшем быть использована в различных компьютерных программах для планирования реконструкций, ремонтных и строительных работ - создание трехмерного кадастра недвижимости.



Лазерному сканированию характерна высокая точность, полнота информации, мгновенная визуализация, автоматизация и безопасность, когда речь идет о съемке опасных или труднодоступных объектов

# ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

9

## ЦЕЛЬ

Выявление возможных деформаций тоннеля на подземном участке (два направления) действующей линии скоростного трамвая в г. Волгограде, для своевременного принятия мер по устранению или предупреждению критических деформаций.



Проведены следующие работы:

- ✓ Нивелирование по реперам и точкам контурным с целью привязки сканов;
- ✓ Сканирование участков с использованием Stonex X300 от ПК106+18 до ПК106+26 левого и правого тоннеля с четырех точек;
- ✓ Обработка результатов сканирования;
- ✓ Подготовка технического отчета.

Перед началом работ, был выполнен визуальный осмотр участков тоннелей



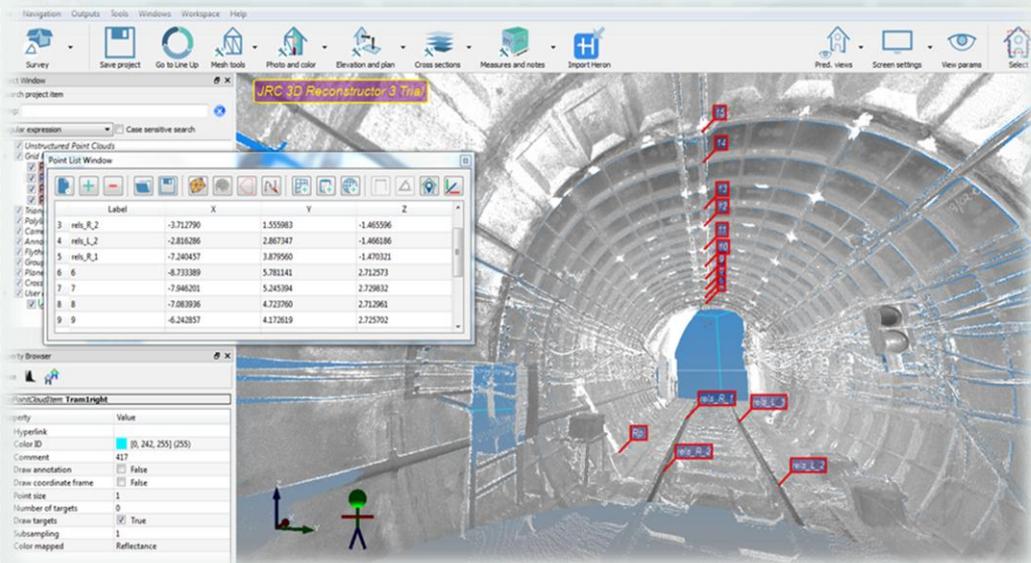
Осмотр показал видимые дефекты тоннеля левого: имеются трещины в основании чугунного кольца, в своде, деформации швов, а также отрыв маячка на границе чугунных и бетонных колец



Съёмка тоннеля выполнялась с использованием технологии наземного лазерного сканирования сканером Stonex X300.

Для получения полной информации на данных участках сканирование оборудованием Stonex X300 выполнено с четырех точек, по две на каждую часть тоннеля. Для передачи отметок с целью привязки сканов были использованы существующие тоннельные репера

Камеральная обработка Clouds выполнена с использованием ПО и включала процессы:



- ✓ Объединение сканов
- ✓ Внешнее ориентирование сканов с высотной привязкой
- ✓ Определение отметок свода колец по съёмке
- ✓ Подготовка технического отчета

В соответствии с полученными отчетами по обработке сканов левого и правого участка точность сканирования:

- ✓ левого участка составляет **0,0249 метра**;
- ✓ правого участка составляет **0,0168 метра**;
- ✓ после обработки и уравнивания левого участка составляет **0,00073 метра**;
- ✓ после обработки и уравнивания правого участка составляет **0,00167 метра**.

## Bundle adjustment report

Project: tunnel

Ср дек 26 2018

Summary  
2 scans have been finely registered with bundle adjustment.

Num ICPs used: 1  
Average ICP error: 0.016223 m  
Average registration error of corresponding points: 0.001677 m

### Input parameters

Max neighbors for each scan: 4  
ICP selection severity: Strict ICP selection  
ICP min search distance: 0.500000 m  
ICP max divergence among point normals: 45°

List of registered clouds:  
Tran1(right) (Reference scan)  
Tran2(right) (Fixed vertical)

### Detailed results

ICPs executed: 1  
ICPs used: 1  
Average ICP error: 0.016223 m  
Maximum ICP error allowed: 0.016723 m  
Total cost before minimization: 1.860954  
Total cost after minimization: 0.018652

Reason of convergence:

Function tolerance reached. (cost\_change/cost: 5.115237e-014 <= 1.0e-08)  
Average registration error of corresponding points: 0.001677 m  
N° corresponding points: 10256  
N° iterations: 2

N° parameters: 4, N° effective parameters: 4  
N° threads used: 4  
Time taken for final bundle adjustment [mm:ss.msec]: 0:00.967  
Total elapsed time [mm:ss.msec]: 0:29.406

### Report by edge, sorted by error

10256 corresponding points found between scans Tran1(right) and Tran2(right).  
ICP error: 0.016223 m, correction after bundle adjustment: 0.001677 m

### Edges not used

All edges have been used

## Bundle adjustment report

Project: tunnel

Ср дек 26 2018

Summary  
2 scans have been finely registered with bundle adjustment.

Num ICPs used: 1  
Average ICP error: 0.024919 m  
Average registration error of corresponding points: 0.000730 m

### Input parameters

Max neighbors for each scan: 4  
ICP selection severity: Strict ICP selection  
ICP min search distance: 0.500000 m  
ICP max divergence among point normals: 45°

List of registered clouds:  
Tran1(left) (Reference scan)  
Tran2(left) (Fixed vertical)

### Detailed results

ICPs executed: 1  
ICPs used: 1  
Average ICP error: 0.024919 m  
Maximum ICP error allowed: 0.025419 m  
Total cost before minimization: 0.011337  
Total cost after minimization: 0.000290

Reason of convergence:

Function tolerance reached. (cost\_change/cost: 3.445167e-014 <= 1.000000e-008)  
Average registration error of corresponding points: 0.000730 m  
N° corresponding points: 615  
N° iterations: 2

N° parameters: 4, N° effective parameters: 4  
N° threads used: 4  
Time taken for final bundle adjustment [mm:ss.msec]: 0:00.031  
Total elapsed time [mm:ss.msec]: 0:41.652

### Report by edge, sorted by error

615 corresponding points found between scans Tran1(left) and Tran2(left).  
ICP error: 0.024919 m, correction after bundle adjustment: 0.000730 m

### Edges not used

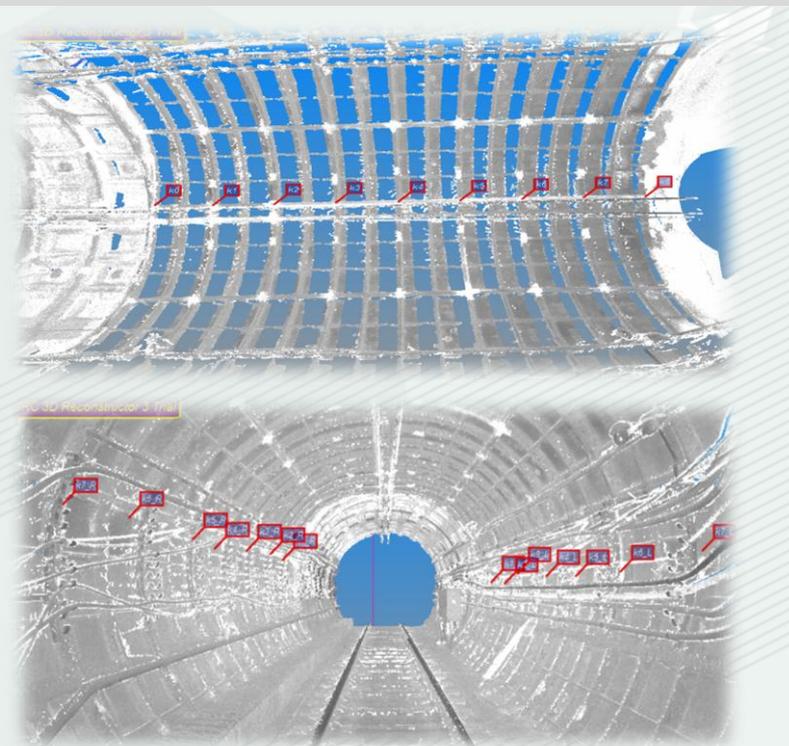
All edges have been used



# СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ

Сравнение данных двух исполнительных съёмок 2005 года и 2018 года

Тип колец	Фактические отметки свода колец по съёмке						
	Пикет передней грани кольца	по исполн. чертеж.	14.11.2005 г.	12.12.2018 г.	$\Delta h$ в мм.	Гор.	Вер. от УГР
<b>ЛЕВЫЙ ПЕРЕГОННЫЙ ТОННЕЛЬ</b>							
Чуг.	106+18.9		42.969	42.947	-0.022	5.261	4.073
Чуг.	106+19.9		42.976	42.935	-0.041	5.359	4.061
Чуг.	106+20.9		42.977	42.933	-0.044	5.382	4.059
Чуг.	106+21.9		42.961	42.93	-0.031	5.430	4.056
Чуг.	106+22.9		42.971	42.933	-0.038	5.426	4.059
Чуг.	106+23.9		42.969	42.946	-0.023	5.406	4.072
Чуг.	106+24.9		42.967	42.942	-0.025	5.579	4.068
Чуг.	106+25.9	43.09	42.964	42.936	-0.028	5.417	4.062
<b>ПРАВЫЙ ПЕРЕГОННЫЙ ТОННЕЛЬ</b>							
Чуг.	106+18.0		43.05	43.092	0.042	5.247	4.207
Чуг.	106+19.0		43.055	43.076	0.021	5.249	4.191
Чуг.	106+20.0	43.14	43.054	43.075	0.021	5.261	4.190
Чуг.	106+21.0		43.075	43.087	0.012	5.317	4.202
Чуг.	106+22.0		43.082	43.073	-0.009	5.371	4.188
Чуг.	106+23.0		43.044	43.069	0.025	5.375	4.184
Чуг.	106+24.0		43.05	43.093	0.043	5.377	4.208
Чуг.	106+25.0		43.05	43.067	0.017	5.08	4.182



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работ можно сделать следующие выводы:



- ✓ Полученные результаты проведенной работы подтверждают продолжение просадки свода чугунных колец ЛПТ в диапазоне от 22 до 44 мм.
- ✓ Просадка свода чугунных колец ППТ имеет разнонаправленный характер, с преобладанием поднятия в диапазоне от -9 до +43 мм, что представляется маловероятным.
- ✓ Съёмки 2000, 2002 и 2005 года в силу своей методики и применяемого оборудования по точности уступают 3D-сканированию выполненному в рамках данной работы. При этом отсутствует информация о закрепленных ранее деформационных марках (точках наблюдений) по которым производились измерения предыдущих циклов. В этой связи не корректно проводить сравнения результатов 2018 г и предыдущих циклов.
- ✓ Полученные результаты лазерного сканирования позволили получить детальную съёмку с высокой степенью точности и детализации.



- ✓ Для получения данных по деформациям в режиме реального времени установить цифровые датчики, позволяющие осуществлять измерение и оценку параметров напряженно-деформированного состояния инженерных конструкций тоннелей (конкретный перечень наблюдаемых параметров, точность, допустимые и критические значения определяются проектными решениями)
- ✓ Для корректной оценки характера деформаций проводить геотехнический мониторинг методом 3D лазерного сканирования ежегодно



**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**



**ГеоПрофи**