

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО И SLAM-СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.В. Шереметинский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Гипротюменнефтегаз», Тюмень

**Аннотация:** современные технологии лазерного сканирования активно применяются в геодезии, строительстве, архитектуре и смежных отраслях. Среди них наибольшее распространение получили два подхода – традиционное наземное лазерное сканирование (НЛС) и сканирование на основе технологии SLAM. В данной статье проводится сравнительный анализ этих технологий по ряду ключевых параметров: точность, мобильность, скорость съёмки и применимость в различных условиях. Особое внимание уделено применению технологий в задачах обследования состояния строительных конструкций.

**Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование, SLAM-сканирование, облако точек, обследование строительных конструкций.

«Гипротюменнефтегаз» один из ведущих российских проектных и научно-исследовательских институтов, выполняющих комплексное проектирование месторождений для компаний нефтегазовой отрасли более 60 лет. На протяжении всего существования института руководство предприятия придавало большое значение внедрению новых информационных технологий, стремясь к всё большей автоматизации производства. Сбор пространственных данных в трехмерном виде стал неотъемлемой частью современного проектирования, поэтому технологии лазерного сканирования активно применяются в проектно-изыскательской деятельности, среди них традиционное НЛС и сканирование на основе SLAM получили наибольшее распространение. В 2019 году в институте, была создана лаборатория неразрушающего контроля строительных конструкций, которая имеет многолетний опыт лазерного сканирования и внедряет его в процесс обследования строительных конструкций зданий и сооружений.

При обследовании конструкций, независимо от их материала, проводят обмерные работы, целями которых являются уточнение фактических геометрических параметров строительных конструкций и их элементов, определение их соответствия проекту или отклонение от него. Инструментальными измерениями уточняют пролеты конструкций, их расположение и шаг в плане, размеры поперечных сечений, высоту помещений, отметки характерных узлов, расстояния между узлами и т.д. По результатам измерений составляют планы с фактическим расположением конструкций, разрезы зданий, чертежи рабочих сечений несущих конструкций и узлов сопряжений конструкций и их элементов [1].

Лазерное сканирование соответствует целям проведения обмерных работ в рамках обследования строительных конструкций. В настоящее время в процессы работ института внедрены и используются два наземных сканера Leica RTC360 и два SLAM сканера, Goslam RS100 и SLAM сканер CHCnav RS10-32. Наземные и SLAM сканеры применяются лабораторией комплексно и по отдельности, накопленный опыт позволяет проанализировать обе технологии для целей обследования состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

## Принцип действия технологий

При НЛС сканер устанавливается на штатив, затем вращается в горизонтальной и вертикальной плоскостях, создавая облако точек высокой плотности. Для охвата больших пространств требуется перемещение прибора и установка контрольных точек.



Рисунок 1 – Установка сканера Leica RTC360 на местности

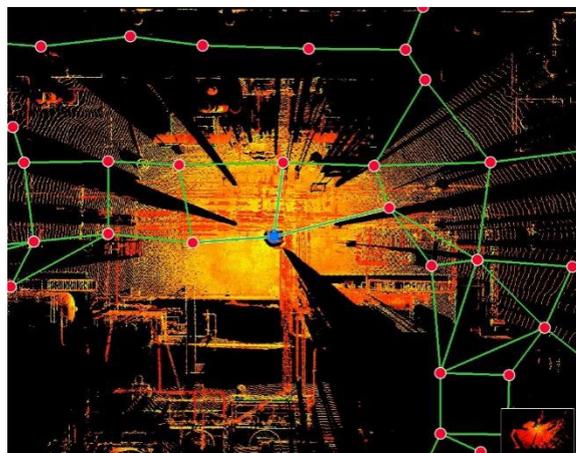


Рисунок 2 – Облако точек с одной станции Leica RTC360

На рисунке 1 изображена установка сканера Leica RTC360 на местности для сканирования промышленного объекта. На рисунке 2 изображены данные полученные с одной станции сканирования в специализированном программном комплексе Leica Register 360, также отображены связи со смежными станциями.

SLAM (сокращённая аббревиатура Simultaneous Localization And Mapping), что в переводе означает: «одновременная локализация и картографирование», реализуется с помощью портативных устройств (перемещаемых вручную или с использованием робота, БПЛА и т.д.), оснащённых сканирующей системой и инерциальными датчиками. Алгоритмы SLAM позволяют в реальном времени определять положение устройства в пространстве и строить карту окружающей среды.



Рисунок 3 – SLAM сканирование со сканером CHCnav RS10-32

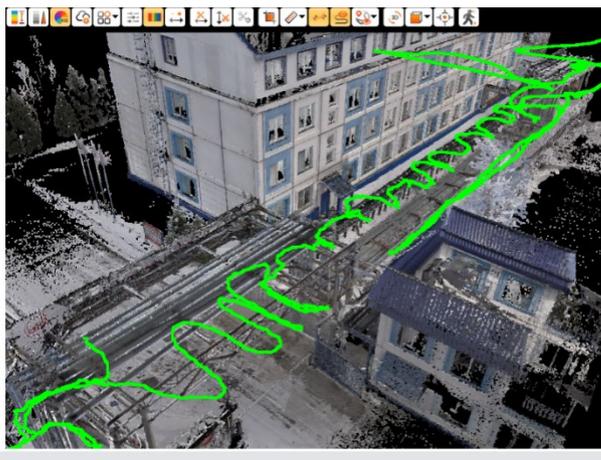


Рисунок 4 – Облако точек одной траектории сканера CHCnav RS10-32

На рисунке 4 изображено облако точек и траектория перемещения сканера в облаке в специализированном программном комплексе Chcnav CoprE за один проход со сканером. Продолжительность одного прохода со SLAM сканером может быть ограничена, если сканер не оснащён ГНСС-модулем.

Геодезические SLAM сканеры определяют свое положение в пространстве с помощью нескольких сенсоров:

1. **Lidar (сканирующая система)**, использующая лазерные импульсы для измерения расстояний до объектов, формируя тем самым трехмерную модель (облако точек) окружающей сканер среды.

2. **IMU (инерциальные датчики)**, комплекс датчиков, включающие акселерометры, гироскопы и магнитометры, данные с которых учитываются для регистрации движения и ориентации прибора в пространстве.

3. **Камеры (RGB)**, алгоритмы анализируют видеоряд выделяя характерные точки и отслеживая их перемещение в пространстве, а также данные камер используются для окраски облаков точек в натуральные цвета.

4. **ГНСС модуль**, встроенный спутниковый приемник, синхронизированный с инерциальными датчиками, с определенной частотой фиксирует координаты положения сканера в пространстве.

В зависимости от сфер применения SLAM сканеры могут быть оснащены и другими сенсорами, для работы в условиях где технически сложно обеспечить прием спутникового сигнала, освещение и прочие условия.

Принципиальное отличие процессов полевых работ SLAM сканирования от НЛС основаны на различиях в формировании конечного облака точек, при SLAM сканирование происходит в движении, при НЛС сканер статично устанавливается на штатив, и на весь объект сканирования планируется сеть смежных станций сканирования с достаточным взаимным перекрытием. В постобработке данные SLAM сканирования уже представлены в виде единого массива, где потребуется выполнить фильтрацию избыточных точек и шумов. В постобработке НЛС с каждой станции сканирования потребуется взаимно уравнивать и объединить единое облако, после этого этапа также может потребоваться фильтрация избыточных точек и шумов. В таком случае, продолжительность полевых работ при SLAM уменьшается за счет непрерывных измерений, при этом облака точек имеют избыточные данные относительно НЛС, так как облако точек формируется постоянно по мере движения в единый массив, в основе такого облака точек лежит траектория движения сканера.

### **Методика сравнения**

Сравнение проводилось по следующим критериям: точность, скорость сбора данных, применимость в сложных условиях и пригодность для различных типов объектов в рамках обследования строительных конструкций. Для анализа рассматривались объекты различной сложности: многоярусные технологические эстакады, одноярусные и кабельные эстакады, гражданские и промышленные здания, сооружения башенного типа. НЛС оценивалось по данным, полученным с помощью сканеров Leica RTC360, SLAM – по результатам работы с SLAM сканерами (Goslam RS100, CHCnav RS10-32).

Таблица 1 – Технические характеристики сканеров.

Параметр	Модели сканеров		
	НЛС Leica RTC360	SLAM Goslam RS100	SLAM CHCnav RS10-32
Точность	2-5 мм	1-3 см	1-3 см
Скорость сбора данных в сек.	2 млн. точек	300 тыс. точек	600 тыс. точек
Температурный режим	От -5 °С	От -30°С	От -20°С
Применимость в сложных условиях	Ограничено	Высокая	Высокая

## Применение технологий на объектах различного типа:

### 1. Многоярусные технологические эстакады

При сканировании многоярусных эстакад для обследования строительных конструкций определяются такие параметры как пространственное положение строительных конструкций, их профиль и размеры, деформации, положение технологических трубопроводов и кабельной продукции. Часто измерения проходят в условиях ограниченной видимости из-за загруженности эстакад, в этом аспекте SLAM сканирование за счет большей мобильности позволяет выполнить сканирование различных ракурсов, что обеспечит меньшее количество теневых зон в облаке точек. Однако характеристики SLAM и НЛС для таких сооружений позволяют сделать вывод, что НЛС выглядит предпочтительнее. Так, геометрия конструкций определяется с большей точностью из-за отсутствия возможности уточнить параметры некоторых конструкций визуальным контролем. Комбинированный метод может обеспечить большую эффективность лазерного сканирования для таких сооружений.

### 2. Одноярусные и кабельные эстакады

Для обследования сооружений такого типа SLAM сканирования обладает достаточными показателями для обмерных работ, при этом ручные измерения размеров строительных конструкций составляют большую часть, если бы сканирование выполнялось при помощи НЛС.

### 3. Промышленные и гражданские здания

При обследовании жилых и административных зданий SLAM-сканеры удобны для работы в помещениях, особенно в условиях ограниченного пространства, например, в подвалах и чердаках. НЛС используется преимущественно для фасадов, несущих элементов и при выполнении высокоточных обмеров. В многоэтажных зданиях комбинированное применение технологий позволяет получать полную и точную модель объекта. При обследовании зданий для построения планов и поперечных разрезов по высоте зданий большую эффективность показывает SLAM, скорость сбора данных и часто отсутствие доступа к узлам строительных конструкций позволяет определить точность SLAM сканирования как достаточную для данного вида объектов. Для цехов, складов и производственных помещений, где возможен свободный доступ и требуется высокая точность, предпочтение отдается НЛС. Оно позволяет выявлять деформации конструкций, отклонения от проектных параметров и трещины. Однако при необходимости быстрых обмеров оборудования и пространственной планировки внутри больших помещений SLAM обеспечивает существенную экономию времени.

#### **4. Сооружения башенного типа**

Такие конструкции, как водонапорные башни, дымовые трубы, телекоммуникационные вышки, требуют мобильности и возможности сбора данных в ограниченном пространстве. Здесь SLAM демонстрирует явные преимущества благодаря работе без необходимости частой перестановки оборудования. Тем не менее, НЛС может применяться при обследованиях фундаментов и опорных элементов, где требуется высокая точность. Для определения кренов сооружений башенного типа SLAM сканирования показывает большую производительность за счет мобильности, такое облако точек при наличии документации на сооружение позволяет с достаточной точностью определить смещение центров сооружения.

#### **Результаты анализа**

В работах по обследованию строительных конструкций при наличии облака точек, не обойтись без инструментальных измерений толщин строительных конструкций и для идентификации металлоконструкций небольшого размера. Облако точек позволяет определить профиль элемента, а толщина и точная принадлежность к виду определяется при визуальном контроле. Из-за меньшей точности SLAM доля таких уточнений относительно НЛС требует больший объем таких измерений. Для измерений величины крена и измерение прогибов обе технологии показали себя равнозначно, так как профиль наблюдаемого верхнего и нижнего сечений известен, что позволяет корректно зафиксировать смещение центров. На основе опыта обследуемых строительных конструкций объектов разного типа можно проанализировать сильные и слабые стороны обеих технологий для каждого типа.

НЛС демонстрирует точность в пределах 2–5 мм, при этом требует большое количество сканерных станций на объекте, подходит для высокоточных измерений на загруженных объектах. Время сканирования среднего здания (2000 м<sup>2</sup>) составляет от 4 до 8 часов, сканирование 1 км одноярусной эстакады занимает от 4 до 8 часов. SLAM-сканирование позволяет охватить такое же здание за 1–2 часа, но с погрешностью до 1–3 см, а 1 км одноярусной эстакады 1-2 часа.

#### **Выводы и рекомендации**

Обе технологии эффективны, но имеют разные области применения. НЛС рекомендуется использовать там, где требуется высокая точность: при обследовании многоярусных эстакад, зданий, где открыты узлы строительных конструкций и требуются высокоточные измерения. SLAM оптимален для обследования внутренних помещений и ситуаций с ограниченным доступом, не загруженных эстакад, сооружений башенного типа. Комбинированный подход позволяет достичь баланса между точностью и эффективностью. В перспективе ожидается рост точности SLAM-систем за счёт улучшения алгоритмов и интеграции с компьютерным зрением.

#### **Список литературы**

1. ГОСТ 31937-2024 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 апреля 2024 г. № 433-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 31937-2024 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации: дата введения 01-05-24. – URL: <https://fkr-spb.ru/upload/iblock/63e/ecmzt5zuoeze4p3sclatcp9gobynte9h.pdf> (дата обращения: 01.05.2025). – Текст: электронный.