Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 6 / 2025, Vol. 17, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf

2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Носков, И. В. Экспертная оценка практикуемых систем наземного лазерного сканирования для обеспечения безопасной эксплуатации объектов капитального строительства / И. В. Носков, А. Е. Анашкина, Д. Н. Черепанов, М. А. Осипова // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf.

For citation:
Noskov I.V., Anashkina A.E., Cherepanov D.N., Osipova M.A. Expert evaluation of practiced ground-based laser scanning systems to ensure safe operation of facilities capital construction. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 28SAVN625. Available at: https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

Коллектив авторов выражает свою благодарность компании ООО «Русгеоком» (Тюмень) за помощь в подготовке материалов исследования

УДК 624.131.23

Носков Игорь Владиславович
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: noskov.56@mail.ru

Анашкина Александра Евгеньевна
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Руководитель образовательной программы
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: anashkinaae@tyuiu.ru

Черепанов Денис Николаевич
ООО «СПД», Тюмень, Россия
Главный маркшейдер
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Доцент академического офиса
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
E-mail: cherepanovden@mail.ru

Осипова Марина Александровна
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: kurator.stf@yandex.ru

Экспертная оценка практикуемых систем наземного лазерного сканирования для обеспечения безопасной эксплуатации объектов капитального строительства

Аннотация. В Российской Федерации разрабатывается и эксплуатируется свыше 3 200 различных по запасам месторождений нефти и газа. Основная часть участков недропользования (около 80 % запасов) расположена на удаленных и труднодоступных территориях Западной Сибири, Заполярья и Арктического региона. Эксплуатация таких месторождений относится к объектам повышенного экологического риска и осложняется при расположении участков недропользования в зоне вечной мерзлоты. При разработке месторождений углеводородного

сырья одним из обязательных требований законодательства о недрах является обеспечение механической безопасности зданий и сооружений, связанных с пользованием недрами, обязательное выполнение и проектирование комплекса геодезических наблюдений за техническими параметрами нефтегазопромыслового оборудования. Особенно стоит уделять внимание месторождениям со сроком эксплуатации более 25 лет, ввиду окончания регламентных сроков нормальной технической эксплуатации оборудования. На сегодняшний день в резервуарных парках эксплуатируются свыше 4 тысяч резервуаров вертикальных стальных (РВС), в которых хранятся различные жидкие вещества различного класса опасности. Значительная часть резервуаров, находящихся в эксплуатации, превышает свой нормативный срок использования. Резервуары как объект технологической цепочки подготовки и транспорта нефти эксплуатируются в сложных условиях пониженных температур, испытывают переменное гидростатическое давление нефти, подвержены ветровым и снеговым нагрузкам, динамическим нагрузкам в сейсмически активных районах и неравномерностью осадки оснований фундаментов в результате геодинамических процессов возникающих в процессе разработки месторождения, в так же за счет системы поддержания пластового давления (ППД) и проводимых геолого-технических мероприятий, которые используют гидроразрыв пласта (ГРП), а так же локальных деформаций грунта в связи с ухудшением прочностных свойств связанных с техногенным изменением (водонасыщение, морозное пучение и другое).

Ключевые слова: мониторинг; оценка; система; деформации; разрушение; дефект; наземное лазерное сканирование; облако точек; объекты капитального строительства; техническое состояние; безопасная эксплуатация

Введение

Основой безопасной эксплуатации нефтепромыслов является своевременный геодезический контроль за геометрическими параметрами объектов являющийся неотъемлемой частью комплексного обследования зданий и сооружений.

Для исследования выбраны резервуары вертикальные стальные (РВС) как объекты высокого экологического риска. В работе рассмотрен комплексный геомониторинг оснований и фундаментов РВС на основе наземного лазерного сканирования.

В соответствии с ГОСТ 24846-2019[1] стандартный способ мониторинга — геометрическое или тригонометрическое нивелирование или их комбинация. Требования стандарта СТО-СА-03-004-2009[2] и Правила осуществления маркшейдерской деятельности регламентируют выполнение инструментального контроля просадки и вертикальности резервуара не реже 1 раза в 5 лет, а при эксплуатации сверх установленного срока один раз в 4 года. При этом если выявлены визуальные деформации и отклонения формы резервуара при натурном обследовании, то необходимо выполнить внеплановый геодезический мониторинг.

По требованию стандарта и РД 08-95-95[3] не реже чем через 6 метров по периметру выполняется нивелирование окрайки днища и проверка вертикальности стенки резервуара, сегодня эти работы традиционно выполняются геометрическим нивелированием технического

[1] Межгосударственный стандарт ГОСТ 24846-2019 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» // «МК (ИСО/ИНФКО МКС) 001-96. Межгосударственный классификатор стандартов» / Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 11–12.04.1996 № 9-96).

[2] СТО-СА-03-004-2009 «Трубчатые печи, резервуары, сосуды и аппараты нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Требования к техническому надзору, ревизии и отбраковке».

[3] Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

класса и с использованием безотражательного тахеометра. Требования к точности проведения геомониторинга определены приказом Ростехнадзора.[4]

Очевидно, что выполнение данных требований не дает полную количественную оценку технического состояния оснований и фундаментов резервуаров для гарантии их безопасного использования.

Цель и методы исследований

Решить данную проблему из всего разнообразия новых технических средств способна система наземного лазерного сканирования, которая имеет гораздо большую избыточность и высокую степень детализации и автоматизации полученных данных, однако на сегодняшний день отсутствует разработанная методика технологии наземного лазерного сканирования (НЛС), что нарушает требования ГОСТа 31937-2024[5] и федерального закона.[6] Таким образом, имея новейшие высокотехнологичные современные средства измерений необходимо выполнить разработку методики проведения геомониторинга оснований и фундаментов резервуаров и обработки полученных данных используя технологии наземного лазерного сканирования.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является оценка различных систем наземного лазерного сканирования для получения и анализа пространственных данных, полученных при помощи технологии наземного лазерного сканирования (НЛС).

Как уже отмечалось ежегодно количество аварий на РВС возрастает и это связано с тем, что многие резервуарные парки выработали свой ресурс [1–4]. Высокие экологические риски и возможность гибели людей зависит от характера разрушения резервуара в виде локальных деформаций и в виде взрывов и выброса нефтепродуктов и продуктов горения. Если учесть аварии за последние годы, то материальный ущерб окружающей среде в десятки и сотни тысяч раз превосходит капитальные затраты на монтаж нового резервуара. Проблема надежности эксплуатации резервуаров должна решаться не только при проектировании и монтаже, а также при их эксплуатации и диагностики. Анализ данных за 30 лет показывает, что по статистике самые распространенные аварии около 63 % это хрупкое разрушение, взрывы и пожары составляют около 12 %.

Для научного исследования имеет практический смысл изучение и понимание причин этих аварий. Изучив статистику разрушений РВС, можно сделать выводы о том, что хрупкие разрушения возникают в основном в местах монтажных соединений, различных технологических отверстий в результате дефектов сварочных работ, трещин металла в результате усталости [5–8].

Хрупкое разрушение известно более 130 лет в результате появления весьма хрупкой дешевой стали благодаря продувке воздухом в конвекторе, значительное применение сварочных работ в конструкциях увеличило интерес к этой проблеме. В лабораторных условиях хрупкое разрушение протекает в два этапа: 1 — возникновение самой трещины и 2 — довольно нестабильное распространение, которое зависит от наличия области на пути трещины с температурой ниже температуры окружающей среды [5].

---

[4] Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023, № 186 "Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности" (зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 № 73638).

[5] ГОСТ 31937-2024. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния" (введен в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 N 1984-ст) (введен в действие Приказом Росстандарта от 31.08.2016 N 982-ст).

[6] Федеральный закон РФ № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений"// Принят Государственной Думой РФ 11.06.2008, одобрен Советом Федерации от 18.06.2008. С измен. от 29.12.2022, № 580-ФЗ.

Значительно влияют дефекты различной коррозионной активности и наличие водорода, такие факторы обуславливают резкое увеличение местных (локальных) очагов коррозии. Так же к развитию аварийным ситуаций приводит осадка фундамента резервуара, особенностью является ее неравномерность, ярко выражена вдоль стенки РВС и наименее характерна к центру. Результатом является развитие неравномерных деформаций и напряжений с локальным повреждением окрайки и изменением геометрической формы с появлением вмятин и выпучин. В таких случаях разрушение РВС находится в зависимости от режима эксплуатации.

Из опыта эксплуатации РВС неравномерная осадка возникает практически сразу же во время гидравлических испытаний из-за разницы давления и возникающий неравномерной осадки грунта в основании в результате его сжатия. В результате этого неизбежными являются неравномерные осадки по окружности резервуара и при неблагоприятных условиях дальнейшее увеличение неравномерности просадки вызывают дополнительные критические деформации особенно в узлах сопряжений с последующим разрушением.

В качестве примера такого разрушения можно привести аварии в районе Лондона на резервуарах компании ESSO, весьма характерным является аварии 1955 года при испытании РВС произошла просадка основания, в начале 70-х произошли еще три аварии, в среднем картина происходящего схожа — не равномерность осадки от периферии к центру РВС.

На сегодняшний день согласно требованиям инструментальный контроль просадки резервуара с использованием нивелирования окрайки днища и центра резервуара следует выполнять не менее чем один раз в год в первые пять лет эксплуатации, затем, при условии соблюдения стабильности положения РВС — раз в 5 лет и раз в 4 года при эксплуатации резервуара свыше 20 лет. Наблюдаемые точки должны быть расположены не более чем через 6 метров по окружности, в этих же точках выполняется проверка вертикальности стенки, значения сравниваются с предельно допустимыми. Так же стоит отметить, что при визуальном определении наличия деформаций геодезические работы выполняются незамедлительно. Для выполнения требований в соответствии с ГОСТ принятыми традиционными методами и способами геодезического мониторинга является геометрическое и тригонометрическое нивелирование либо их совокупность.

В последние несколько лет стало доступным развитие технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) [9; 10]. Работа с массивом точек в отличии от традиционной технологии позволяет получить наглядную картину деформационных процессов, делает возможным в комплексе решать задачи по геометрическим характеристикам резервуаров. Сравнительный анализ выполняется в виде сравнения моделей идеального цилиндра и реальной модели РВС, позволяет строить различные графики по исследованию деформаций стенок резервуара.

По проведенному анализу нормативной документации в области недропользования и регламентов эксплуатации РВС можно сделать вывод об отсутствии других официально выпущенных методик и регламентирующих документов на сегодняшний день взамен СТО-СА-003-0004-2009. Из анализа аварийности видно, что существующая методика устарела, отсутствует полнота и избыточность измерений, которая позволяла бы иметь полную и четко визуализированную картину развития деформаций во времени либо их цикличности в зависимости от технологического режима работы резервуара.

Технология НЛС может заменить существующие методы, но при этом отсутствует утвержденная методика выполнения работ. Так же стоит обратить внимание на требование к точности определяемых по ГОСТ 24846-2019, ГОСТ 31937-2024 и Правил осуществления маркшейдерской деятельности РВС как объект относится ко II классу точности измерений, необходимо сделать выводы сможет ли технология наземного лазерного сканирования полностью заменить технологию нивелирования.

Результаты работ

Для исследования было выбрано 3 наземных сканирующих системы:

1. Trimble SX10.

Сканирующий тахеометр Trimble SX10 (рис. 1) — дальность 800 м, точность угла 1”, погрешность определения дальности 2 мм + 1,5 мм + км, скорость сканирования 26 600 точ/сек.

Рисунок 1. *Trimble SX10*[7]

Угловая точность такого оборудования достаточно велика — СКО определения точки равна 1”.

Однако результат измерений в текущем цикле показал, что на сегодняшний день данная методика не удовлетворяет нормативной точности для определения отметок в деформационном мониторинге.

В таблице 1 представлен анализ значений при сравнении двух методов.

Таблица 1

Анализ значений метода НЛС и геометрического нивелирования II класса

№ марки	Отметка, полученная геометрическим нивелированием, м	Отметка, полученная НЛС, м	Разница отметок, м	Разность смежных отметок при нивелировании, мм	Разность смежных отметок при НЛС, мм
РВС1.1	70,274	70,274	0,000	4	1
РВС1.2	70,270	70,273	0,003	14	12
РВС1.3	70,256	70,262	0,006	-1	0
РВС1.4	70,257	70,262	0,004	-2	8
РВС1.5	70,259	70,253	-0,006	3	5
РВС1.6	70,256	70,248	-0,008	6	10
РВС1.7	70,250	70,238	-0,012	-6	-6
РВС1.8	70,256	70,244	-0,012	-5	10
РВС1.9	70,261	70,234	-0,027	-11	-11
РВС1.10	70,272	70,245	-0,027	6	-4
РВС1.11	70,266	70,249	-0,017	3	9
РВС1.12	70,263	70,240	-0,023	-6	-21
РВС1.13	70,269	70,261	-0,008	-10	2
РВС1.14	70,279	70,259	-0,020	0	-19
РВС1.15	70,279	70,278	-0,001	4	25
РВС1.16	70,275	70,252	-0,023	1	-22

Составлено/разработано авторами

[7] https://www.rusgeocom.ru/products/taheometryi-trimble-sx10?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

С целью проведения данного анализа для исключения ошибок позиционирования станции относительно опорной высотной сети отметки марок, полученных методом НЛС, были приведены к отметке первой марки на каждом РВС. Однако даже с исключением ошибки геопривязки результат остался неудовлетворительным.

Дополнительно стоит обратить внимание на плотность облака точек в местах сканирования окрайки днища РВС. Так как сканер располагается чуть выше уровня окрайки днища, то сканирующий луч попадает на марку под острым углом, что соответственно вносит погрешность в измерение.

Можно добиться более плотного облака при увеличении числа станций, при этом их количество вырастет до 15, ориентировочное время сканирования РВС составит 3 дня что не допустимо.

По этой же причине плотность точек на окрайке гораздо меньше, чем на стенке РВС, которая располагается перпендикулярно к лучу сканирования. На рисунке 2 представлен фрагмент облака точек, наглядно демонстрирующий плотность облака на окрайке днища.

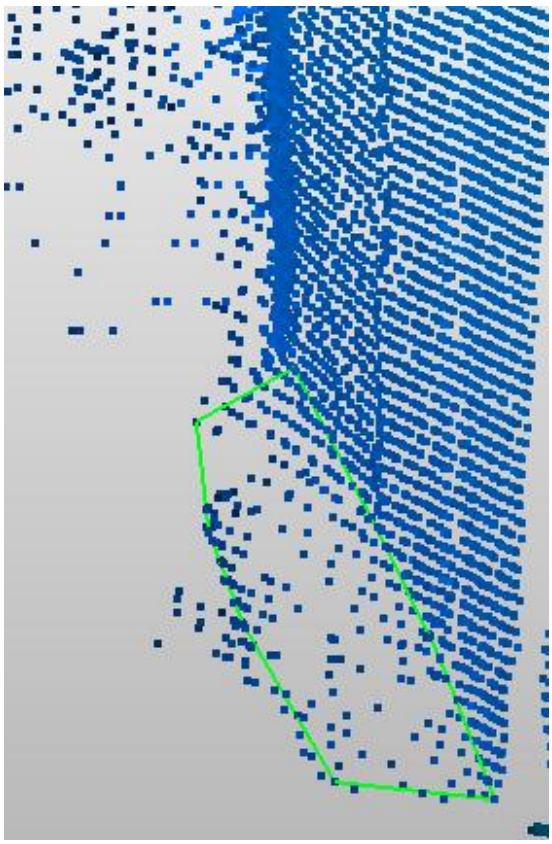

Рисунок 2. *Фрагмент облака точек по окрайке (составлено авторами)*

Зеленым контуром показан участок окрайки днища. по результатам НЛС по такой методике нет возможности однозначно определить положение деформационной марки. С целью определения отметки марки был проведен опыт по определению отметки точек в районе примерного положения марки. Результат показал, что даже при таком методе отметки отличаются на значения от 2 мм до 7 мм, что не дает нормативной точности.

Для исключения ошибок дополнительно опробован метод, когда отметки деформационных марок определялись не сканированием в безотражательном режиме, а методом тригонометрического нивелирования, когда сканирующий тахеометр будет работать не в режиме сканирования, а в режиме традиционной съемки. Тип используемой марки показан на рисунке 3.

Рисунок 3. *Геодезическая марка на магните*[8]

Результаты сравнения геометрического нивелирования и тригонометрического по маркам приведены в таблице 2.

Таблица 2

Анализ значений метода съемки по маркам и геометрического нивелирования II класса

Номер	Отметка, полученная съемкой по маркам, м	Отметка, полученная НЛС, м	Отметка, полученная геометрическим нивелированием, м
1	81,605	81,61	81,609
2	81,601	81,603	81,603
3	81,602	81,601	81,599
4	81,605	81,606	81,607
5	81,600	81,596	81,601
6	81,597	81,597	81,599
7	81,608	81,607	81,611
8	81,599	81,601	81,601
9	81,600	81,599	81,601
10	81,597	81,595	81,598
11	81,601	81,601	81,602
12	81,604	81,605	81,605

Составлено/разработано авторами

2. Leica RTC360.

Leica RTC360 (рис. 4) — компактный и высокопроизводительный сканирующий прибор с дальностью сканирования до 130 м при условии, что отражение поверхности 90 %. Точность определения дальности 1 мм. Заявленная скорость 2 млн точек/сек.

Рисунок 4. *Leica RTC360*[9]

[8] https://www.ozon.ru/product/geodezicheskaya-marka-na-magnite-komplekt-3sht-1771193383/.

[9] https://www.rusgeocom.ru/products/lazernyj-skaner-leica-rtc360.

Так же, как и сканирующий тахеометр Trimble для выделения окрайки требует дополнительных станций, но за счет высокой скорости сканирования 2–3 минуты на станции, стоит отметить, что это в режиме 360 градусов, запросто позволяет идеально выделить окрайку РВС (рис. 5).

На рисунке 6 показана схема станций.

Рисунок 5. *Окрайка РВС по результатам сканирования (составлено авторами)*

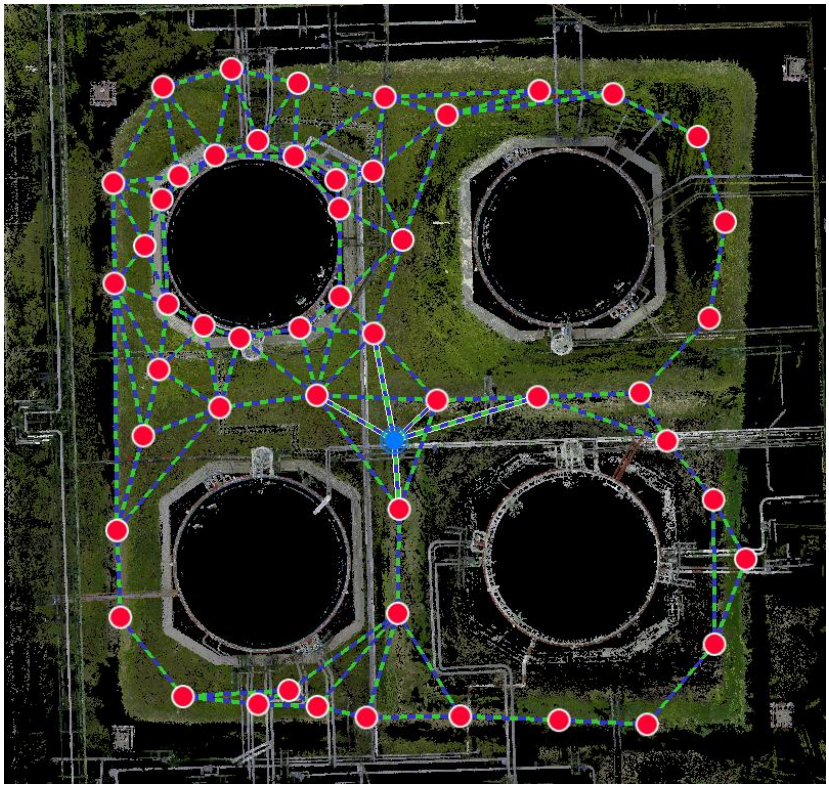

Рисунок 6. *Схема станций (составлено авторами)*

Точность сканирования Leica по сравнению с геометрическим нивелированием приведена в таблице 3.

Таблица 3

Анализ значений метода съемки по маркам и геометрического нивелирования II класса

Номер	Отметка, полученная НЛС, м	Отметка, полученная геометрическим нивелированием, м
1	81,606	81,609
2	81,604	81,603
3	81,602	81,599
4	81,606	81,607
5	81,599	81,601
6	81,597	81,599
7	81,609	81,611
8	81,6	81,601
9	81,598	81,601
10	81,594	81,598
11	81,598	81,602
12	81,602	81,605

Составлено/разработано авторами

Сравнение результатов Trimble и Leica по разверткам представлено на рисунке 6 и 7.

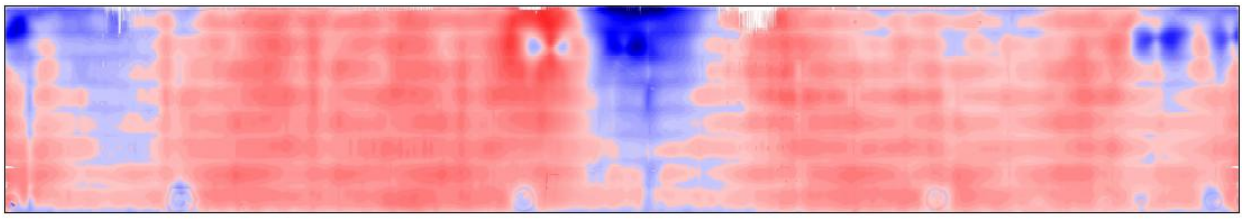

Рисунок 6. *Развертка по данным сканирования Leica RTC360 (составлено авторами)*

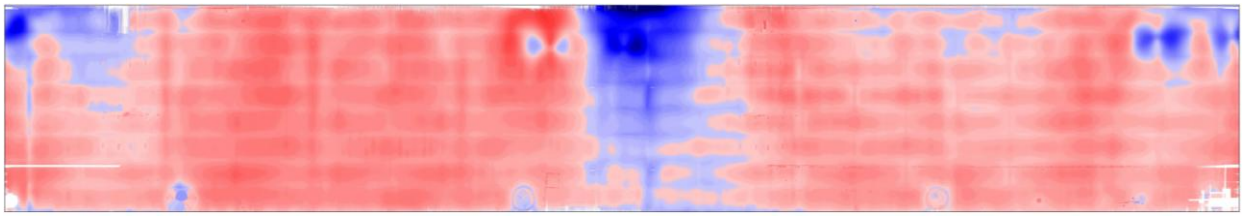

Рисунок 7. *Развертка по данным сканирования Trimble SX 10 (составлено авторами)*

Как видно из представленных разверток, пространственные данные одинаковы. Скорость сканирования Leica примерно в 10 раз выше сканирующего тахеометра Trimble.

При этом у каждого прибора есть свои плюсы и минусы, сканирующий тахеометр позволяет выполнять сканирование и при этом может как тахеометр создавать планово-высотное обоснование и работать по маркам с высокой точностью. Leica обладает высокой скоростью сканирования, но требует создание качественного планово-высотного обоснования.

3. Slam сканер Lixel L2 Pro.

Slam сканер Lixel L2 Pro (рис. 8). Дальность измерений — 120 м, Скорость сканирования 320 000–640 000 точек/сек., точность ±1,2 см. Цветные облака точек в режиме реального времени, плотность облака точек ~1 см.

Simultaneous Localization and Mapping — аббревиатура, которая переводится как «одновременная локализация и построение карты». Выполнение сканирования с помощью нескольких операций совокупность сканера/лидара, инерциальной системы и цифровой камеры. Результат сканирования представлен на рисунке 9 [10].

Рисунок 8. *Lixel L2 Pro*[10]

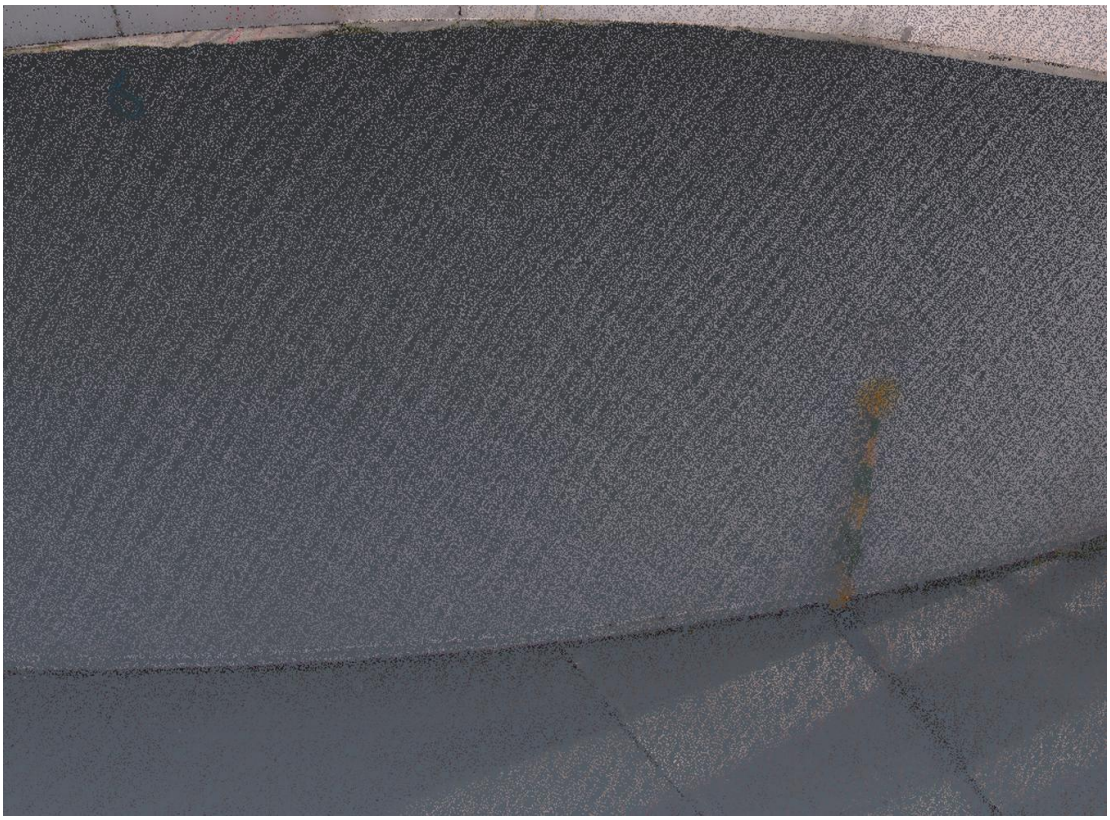

Рисунок 9. *Облако точек со Slam сканера (составлено авторами)*

Преимуществом SLAM — мобильность и простота получения информации, скорость сканирования вне зависимости от типа объекта — линейный или площадной. Возможность работы с координатной привязкой, режим GCP.

Минусом технологии является точность, которая ограничена 2 см, на рисунке дано представление для понимания точности Slam, выполнен разрез РВС, на рисунке 10 четко видно «шумы» точек глубиной в 2 см.

[10] https://www.rusgeocom.ru/catalog/lazernye-slam-skanery-xgrids-lixel-l2-pro.

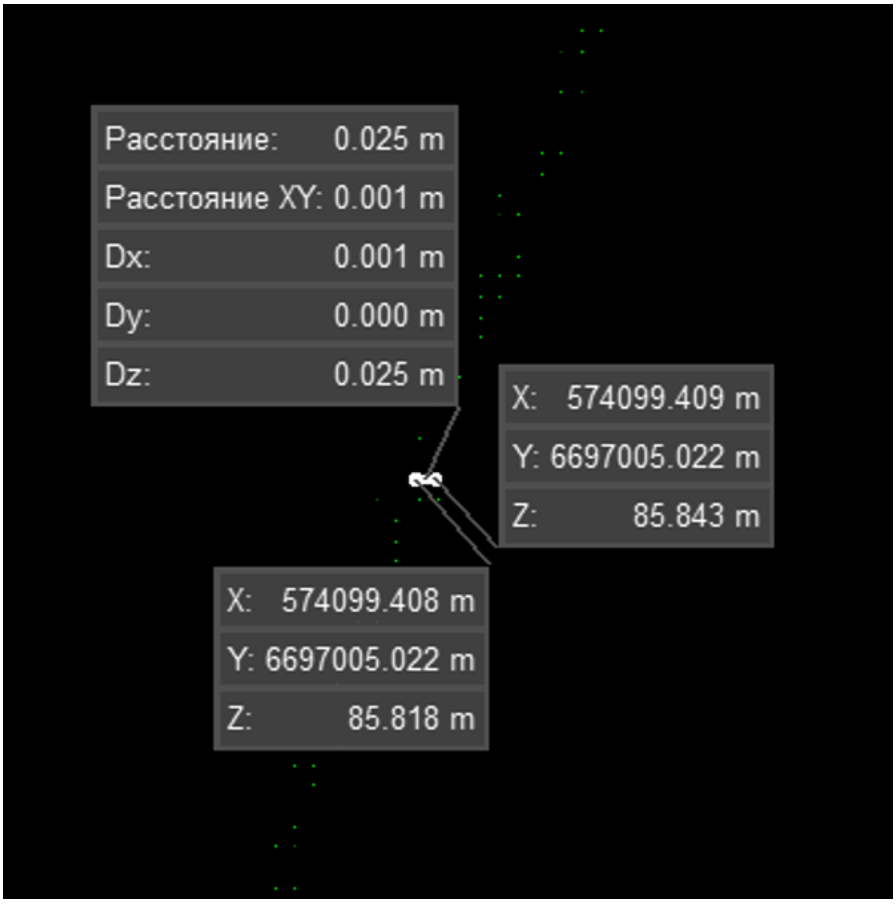

Рисунок 10. *Шумы точек со Slam сканера (составлено авторами)*

Как видно на развертках стенки РВС, визуально данные одинаковы, но при более детальном рассмотрении и сравнении разница в одних и тех же точках достигает 30 мм. Результаты показаны в таблицах 4 и 5, сравнение матриц приведено в таблице 6 и на рисунках 11 и 12.

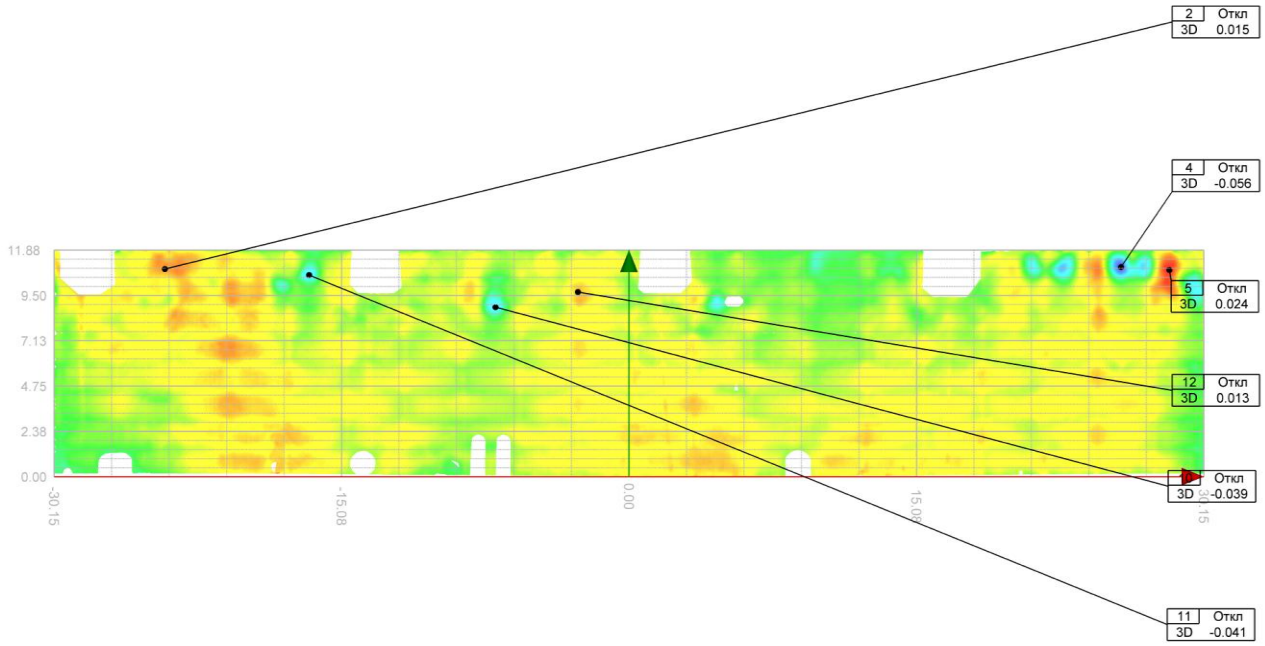

Рисунок 11. *Лазерный SLAM сканер XGRIDS Lixel L2 Pro (составлено авторами)*

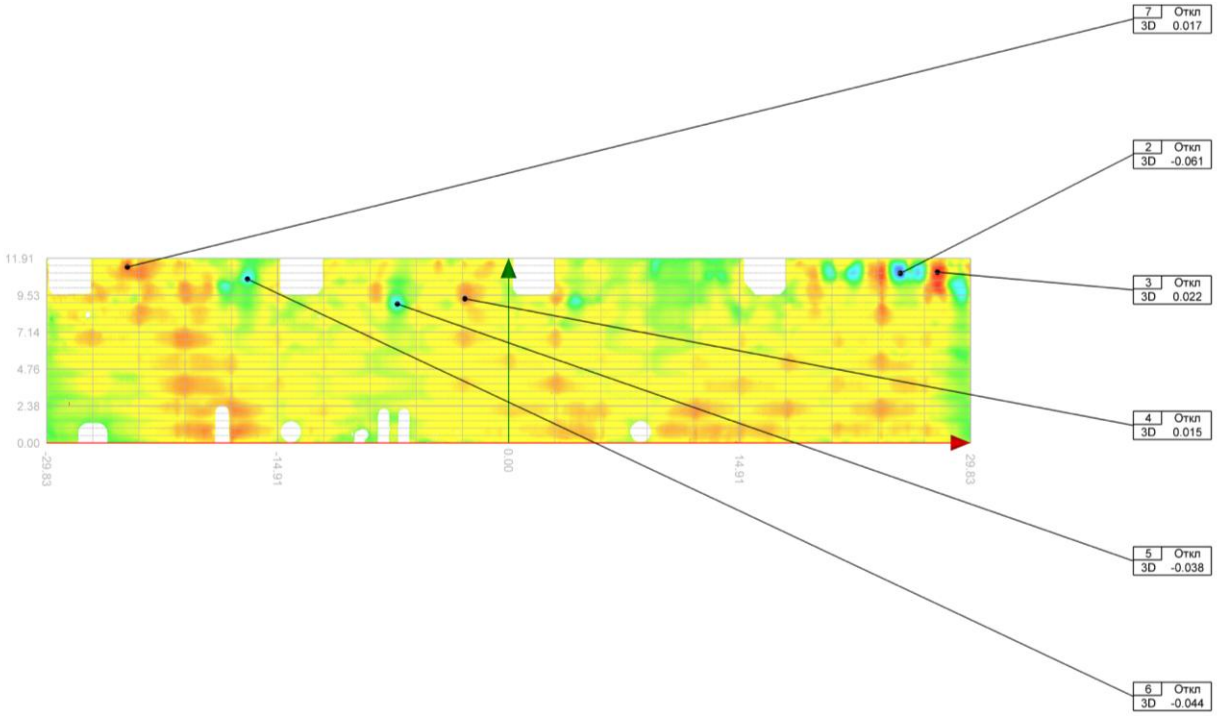

Рисунок 12. *Leica RTC360 (составлено авторами)*

Как видно на развертках стенки РВС, визуально данные одинаковы, но при более детальном рассмотрении и сравнении разница в одних и тех же точках достигает 30 мм.

Таблица 4

Анализ значений метода съемки по данным наземного лазерного сканера Leica RTC360

Номер пояса	Номера швов / Наземный лазерный сканер													
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
23	7	6	7	6	1	4	2	0	4	1	-13	13	12	13
22	11	6	7	6	1	4	2	1	6	8	-13	14	16	14
21	7	6	7	6	1	4	5	0	1	5	-8	7	10	9
20	3	6	7	6	1	4	8	9	6	7	-7	4	4	10
19	-1	6	8	6	6	7	8	12	7	2	-3	-2	3	11
18	2	2	4	3	3	5	5	4	3	-4	0	-3	6	7
17	-2	-4	1	6	6	1	-2	4	5	4	-5	6	12	11
16	-1	-8	-1	6	6	1	-2	3	4	5	-5	8	12	9
15	-5	-10	-6	-5	0	4	3	0	-1	0	-1	2	6	0
14	-4	-10	-1	2	6	9	11	9	4	4	-5	3	4	2
13	-4	-7	-5	2	7	8	9	8	4	5	-5	3	2	1
12	-10	-10	-6	-5	-3	-2	2	0	0	1	0	0	2	-2
11	-9	-5	-1	0	1	0	2	1	2	2	-3	4	6	5
10	-8	-7	-3	-1	0	0	2	2	1	0	-2	3	5	4
9	-9	-11	-10	-9	-6	-4	1	1	-2	-5	5	-5	0	0
8	-9	-9	-6	-3	0	2	5	4	0	-4	5	-6	-2	1
7	-8	-10	-7	-5	-2	1	3	3	-1	-2	2	-3	-2	0
6	-10	-14	-13	-12	-10	-8	-4	-5	-7	-6	6	-6	-4	-4
5	-13	-12	-8	-6	-5	-5	-5	-3	-4	-2	2	-2	3	4
4	-12	-9	-7	-6	-6	-7	-6	-5	-6	-3	2	0	3	4
3	-16	-13	-12	-12	-12	-14	-13	-14	-14	-11	9	-7	-3	-4
2	-17	-12	-9	-7	-10	0	0	0	-13	-7	6	-4	-2	0
1	-19	-18	-13	-10	-13	0	0	0	-17	-11	8	-7	-3	-1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Составлено/разработано авторами

Таблица 5

Анализ значений метода съемки по данным мобильного лазерного сканера XGRIDS Lixel L2 Pro

Номер пояса	Номера швов / Мобильный Лазерный сканер													
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
23	7	2	2	13	7	2	1	0	3	3	8	16	10	14
22	5	2	2	13	7	2	1	0	3	7	11	15	16	17
21	-8	2	2	13	7	2	1	-2	0	3	9	9	9	13
20	-20	0	2	13	7	2	1	-7	6	5	8	7	6	10
19	-20	6	7	12	6	4	6	-8	9	3	4	5	-2	9
18	-13	2	3	9	3	3	5	-4	5	-1	-1	-1	1	10
17	-8	-3	-2	8	5	2	0	1	5	3	4	6	10	14
16	-6	-9	-5	7	5	2	-1	1	3	4	4	6	11	12
15	-11	-12	-8	2	-4	2	3	0	-1	1	1	2	6	4
14	-7	-10	-6	5	1	6	8	-8	3	3	5	5	3	2
13	-8	-9	-6	-2	4	6	8	-7	5	4	5	5	1	1
12	-15	-13	-8	-5	-6	-2	-1	-1	0	0	0	1	0	1
11	-18	-11	-4	0	-1	0	-2	1	1	0	2	4	5	6
10	-12	-10	-7	0	-2	-1	-2	1	0	0	0	2	4	6
9	-15	-13	-13	-8	-10	-7	-4	1	-2	-6	-5	-5	-4	0
8	-12	-13	-10	-5	-5	-1	1	-3	0	-4	-9	-10	-8	-2
7	-12	-14	-12	-6	-7	-3	-1	-1	-1	-2	-4	-5	-4	-4
6	-14	-16	-16	-12	-14	-11	-7	6	-7	-7	-8	-9	-7	-6
5	-18	-17	-14	-10	-10	-8	-9	8	-6	-4	-5	-3	0	4
4	-18	-16	-11	-9	-10	-10	-10	9	-7	-6	-5	-1	-1	1
3	-20	-19	-16	-15	-15	-15	-17	15	-16	-14	-14	-7	-7	-7
2	-20	-20	-14	-12	-11	0	0	0	0	-11	-10	-5	-6	-3
1	-21	-23	-18	-16	-15	0	0	0	0	-16	-13	-10	-9	-4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Составлено/разработано авторами

Таблица 6

Сравнение матрицы разности отклонений по данным мобильного лазерного сканера XGRIDS Lixel L2 Pro и данным наземного лазерного сканера Leica RTC360

Номер пояса	Номера швов / Отклонение от наземного лазерного сканирования													
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
23	0	4	5	-8	-6	2	1	0	1	-2	-21	-3	1	-1
22	7	4	5	-8	-6	2	0	2	2	1	-24	-2	0	-3
21	15	4	5	-8	-6	2	4	1	1	2	-17	-2	1	-4
20	23	6	5	-8	-6	2	6	15	0	2	-15	-3	-1	0
19	19	1	1	-6	0	2	2	20	-2	-1	-7	-7	5	2
18	15	0	1	-7	0	2	0	8	-2	-3	0	-2	5	-2
17	6	-1	3	-2	1	-1	-1	3	1	1	-9	0	3	-3
16	5	0	5	-1	1	-1	-1	1	1	1	-9	2	1	-3
15	6	2	2	-6	3	2	0	-1	0	-1	-2	0	0	-5
14	2	0	5	-3	5	3	3	17	1	1	-10	-2	1	0
13	5	2	1	4	3	3	1	15	-1	0	-10	-2	1	0
12	5	3	3	0	3	1	3	1	1	0	0	-1	2	-3
11	9	6	3	0	2	1	4	0	2	2	-5	0	1	-1
10	4	4	4	-1	3	1	4	1	1	1	-2	1	1	-1
9	6	2	2	-1	3	3	4	-1	0	1	10	0	4	0
8	4	4	4	1	4	4	4	7	0	0	14	4	6	3
7	4	4	5	1	5	4	4	4	0	1	6	3	2	4
6	4	1	3	0	4	3	3	-11	0	1	13	3	3	1
5	5	5	6	4	5	3	4	-11	2	2	7	2	3	1
4	7	7	4	3	4	3	4	-14	1	2	7	1	3	2
3	4	5	4	3	3	2	4	-29	2	3	22	0	4	3
2	3	8	5	5	0	0	0	0	-13	4	15	2	4	4
1	2	5	5	6	2	0	0	0	-17	6	20	3	6	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Составлено/разработано авторами

Из представленной матрицы видно, что SLAM сканирование не позволяет получать точные данные для оценки деформаций. При этом стоит отметить, что применение этой технологии возможно в других направлениях, где не требуется высокая точность измерений, например, контроль за отсыпкой, разработка карьеров.

Выводы и рекомендации

В результате исследования можно сделать следующие выводы:

1. На сегодняшний день технология НЛС способна заменить традиционные способы измерения деформаций, в частности отказаться от геометрического нивелирования II класса.
2. Можно применять различные методы сканирования — сканирование в совокупности с тригонометрическим нивелированием по маркам либо получение более плотного облака точек за счет увеличения количества станций. При этом нет официальной методики производства работ.
3. SLAM сканирование не способно заменить наземные геодезические сканеры в виду погрешности съемки в 2 см. Громкая реклама на сегодняшний день является лишь маркетинговым ходом недобросовестных продавцов оборудования. При этом стоит отметить, что технология SLAM может быть идеальным инструментом для других направлений, например, заменить небольшие беспилотники силу ограничений полетов и риска их падений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варфоломеев, Ю.А. Экспертная оценка практикуемых систем геодезического мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации резервуаров с нефтью / Ю.А. Варфоломеев, Д.Н. Черепанов, Ю.В. Марков // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/73NZVN623.pdf.
2. Носков, И.В. Опыт высокотехнологичного геодезического мониторинга объектов инфраструктуры нефтегазовых месторождение в холодном климате / И.В. Носков, Д.Н. Черепанов, Ю.А. Варфоломеев, Ю.В. Марков // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: https://esj.today/PDF/60NZVN224.pdf.
3. Носков, И.В. Комплексный геомониторинг оснований и фундаментов резервуаров вертикальных стальных (РВС) на основе лазерного сканирования при разработке нефтяных месторождений / И.В. Носков, Д.Н. Черепанов // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 4. — URL: https://esj.today/PDF/03NZVN422.pdf.
4. Варфоломеев, Ю.А. Обеспечение нормативных сроков безопасной эксплуатации объектов капитального строительства / Ю.А. Варфоломеев, Ю.В. Марков, А.Н. Попов, А.И. Рогов // Научная дискуссия: инновации в современном мире. Сб. ст. по материалам LX междунар. науч.-практич. конф. — № 16(59). — М.: Изд. «Интернаука», декабрь 2016. — С. 11–13. ISSN 2309-1959; Н 34. Режим доступа: URL: https://www.internauka.org/archive2/inno/16(59).pdf (18.11.2023).
5. Розенштейн И.М. Особенности хрупкого разрушения вертикальных стальных резервуаров // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2012. № 9. С. 72–75.

6. Розенштейн И.М. Аварии и надёжность стальных резервуаров. М.: Недра, 1995. 253 с.

7. Носков, И.В. Применение технологии 3D сканирования для определения деформации оснований и фундаментов резервуаров при разработке месторождений нефти / И.В. Носков, Д.Н. Черепанов // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5. — URL: https://esj.today/PDF/05NZVN523.pdf.

8. Schwarz Wilfried Moderne Messverfahren in der Ingenieurgeodasie und ihr praktischer Einsatz. [Шварц Виллфрид Современные методы измерения в инженерной геодезиии их практическое использование.] Flächenmanagement und Bodenordnung. [Землеустройство и организация почв.] — 2002. 64, — № 2. — P. 87–97.

9. Середович, В.А. Состояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования / В.А. Середович, Д.В. Комиссаров // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 5. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2005», 25–29 апреля 2005 г., Новосибирск. — Новосибирск: СГГА, 2005. — С. 193–197.

10. Chen P. A Review of Research on SLAM Technology Based on the Fusion of LiDAR and Vision / P. Chen, X. Zhao, L. Zeng and other // Sensors. — Volume 25, Issue 5, Article 1447 — 27 February 2025 — URL: https://doi.org/10.3390/s25051447.

Noskov Igor Vladislavovich
Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia
E-mail: noskov.56@mail.ru

Anashkina Alexandra Evgenievna
Tyumen Industrial University, Tumen, Russia
E-mail: anashkinaae@tyuiu.ru

Cherepanov Denis Nikolaevich
SPD LLC, Tyumen, Russia
Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia
E-mail: cherepanovden@mail.ru

Osipova Marina Alexandrovna
Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia
E-mail: kurator.stf@yandex.ru

Expert evaluation of practiced ground-based laser scanning systems to ensure safe operation of facilities capital construction

Abstract. Over 3 200 oil and gas fields of various reserves are being developed and operated in the Russian Federation. The majority of the subsurface use areas (about 80 % of reserves) are located in remote and hard-to-reach territories of Western Siberia, the Arctic region and the Arctic region. The exploitation of such deposits is considered to be an object of increased environmental risk and is complicated by the location of subsurface use areas in the permafrost zone. When developing hydrocarbon deposits, one of the mandatory requirements of the legislation on the subsoil is to ensure the mechanical safety of buildings and structures related to the use of the subsoil, the mandatory implementation and design of a complex of geodetic observations of the technical parameters of oil and gas field equipment. It is especially worth paying attention to deposits with a service life of more than 25 years, due to the end of the scheduled periods of normal technical operation of the equipment. To date, more than 4 thousand vertical steel tanks (RVS) are in operation in tank farms, in which various liquid substances of various hazard classes are stored. A significant part of the tanks in operation exceed their standard useful life. Reservoirs as an object of the technological chain of oil treatment and transportation are operated in difficult conditions of low temperatures, experience variable hydrostatic pressure of oil, are subject to wind and snow loads, dynamic loads in seismically active areas and uneven precipitation of foundations as a result of geodynamic processes occurring during field development, as well as due to the reservoir pressure maintenance system (PPD) and ongoing geological and technical activities that use hydraulic fracturing (FRACKING), as well as local deformations of the soil due to deterioration of strength properties associated with man-made changes (water saturation, frost heaving, etc.).

Keywords: monitoring; assessment; system; deformations; destruction; defect; ground-based laser scanning; point cloud; capital construction facilities; technical condition; safe operation