

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕДАНИЙ ДНИЩА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ПО ОБЛАКУ ТОЧЕК ЛАЗЕРНЫХ ОТРАЖЕНИЙ

ALGORITHM FOR DETERMINATION OF VERTICAL STEEL TANKS' BOTTOM SETTLEMENT ON LASER REFLECTION POINT CLOUD

A. Sholomitsky,

*doctor of engineering sciences,
professor;*

N. Kemerbayev,

post-graduate student,

*Siberian State University of geosystems and technologies,
Novosibirsk.*

Geodetic monitoring of vertical steel tanks' bottom settlement is an important constituent of safe exploitation of such objects, especially in the regions with weak and permafrost ground. In the article the authors suggest in automatic system of technical maintenance and repair of equipment to use an algorithm of «gradient descent» for the determination of tank bottom settlement on laser reflection point cloud.

Keywords: vertical steel tank, laser scanning, algorithm, defomation, bottom settlement, processing method, tolerance.

Вертикальные стальные цилиндрические резервуары в настоящее время являются основным типом емкостей для хранения нефти и нефтепродуктов. Простота конструкции и монтажа, хорошее соответствие расчетной и фактической схем работы обеспечивают их высокую надежность в эксплуатации. Разработка технологии строительства рулонированных резервуаров и их интенсивное строительство приходится на 60-80 годы прошлого столетия и связаны с началом эксплуатации месторождений Западной Сибири. К настоящему времени вертикальные резервуары, находящихся в эксплуатации на территории стран СНГ, наработали от 5×10^3 до 5×10^4 циклов слива-налива и большая их часть исчерпала свою работоспособность и требует обследования и ремонта. В странах СНГ находятся в эксплуатации 40 000 вертикальных цилиндрических резервуаров различной емкости.

Одной из причин аварийности вертикальных стальных резервуаров являются усталостные трещины сварных швов, вызванные многочисленными циклами слива-налива. Эти деформации оболочки резервуара можно выявить методами неразрушающего контроля. Вторая причина — это деформация оболочки резервуара, и третья причина — оседания днища резервуаров, особенно опасна на территориях со слабыми и многолетнемерзлыми грунтами, что характерно для месторождений в Западной Сибири. Резкие просад-

*А.А. Шоломицкий,
доктор технических наук,
профессор;*

*Н.Т. Кемербаев,
аспирант,*

*Сибирский государственный университет геосистем
и технологий,
г. Новосибирск.*

Ключевые слова: вертикальный стальной резервуар, лазерное сканирование, алгоритм, деформации, оседание днища, методика обработки, допуск.

ки грунта под основанием резервуара могут вызвать локальные сосредоточенные напряжения в оболочке резервуара, которые могут привести к нарушению её целостности и катастрофическим экологическим последствиям, как это было в Норильске [1, 2].

К сожалению статистика аварий, связанных с вертикальными резервуарами достаточно высока и не ограничивается только экологическим ущербом [3, 4], за последние 40 лет было 242 крупных аварии большая часть которых связана со взрывами и пожарами.

Некоторые авторы отмечают, что коррозия, вызываемая влиянием атмосферных факторов, способствует развитию деформации оболочки вертикальных резервуаров, однако при должном техническом обслуживании влияние этих факторов можно свести к минимуму [5].

В Российской Федерации надзор за эксплуатацией резервуаров и их остаточный ресурс определяется нормативными документами [6, 7]. Среди методов определения оседаний резервуара в этих документах указывается только геометрическое нивелирование осадочных марок, располагающихся на окрайке резервуара. Метод достаточно трудоемкий и осадочные марки располагаются на достаточно большом расстоянии 4-6 метров. В последние годы для определения деформации стенок резервуара все чаще используют лазерное сканирование, которое дает огромный объем информации о вертикальном резервуаре. Авторы считают актуальной задачей использовать эту информацию для определения осадок днища резервуара.

Лазерное сканирование вертикальных стальных резервуаров

Лазерное сканирование вертикальных стальных резервуаров используется уже достаточно широко для определения деформаций стенок резервуара и их калибровки [8-16]. Отмечается, что точность определения координат точек облака лазерных отражений очень высока, и составляет 4-5 мм, а число точек может достигать 15×10^7 . К сожалению, материал из интернета, представляет собой краткую информацию, по большей части рекламного характера. На-

и более подробное описание технологии обработки дается в [11] и состоит из этапов сканирования, сшивки сканов в общее облако ТЛО. По облаку выполняется построение триангуляционной нерегулярной модели оболочки, по которой решаются задачи определения деформаций, калибровка резервуара, определение оседаний дна резервуара и экспорт данных для расчетов напряжений в специализированных программах. Все эти публикации сходятся во мнении, что точки облака ТЛО определяются с высокой точностью, по этим данным возможно определение деформаций стенок резервуара и оседаний дна резервуаров. Однако методы и степень автоматизации этих процессов не раскрываются.

Алгоритм выделения оседаний дна резервуара по облаку точек

Практически любая статья или монография по лазерному сканированию содержит какие-то аспекты выделения объектов из облака точек [8-16]. Учитывая специфические свойства исследуемого объекта можно применить более простые алгоритмы выделения полезной информации. А поскольку в системе ТОРО [17] предполагается периодическое сканирование объектов, то можно автоматизировать не только процесс выделения свойств объекта, но и сравнение с предыдущими съемками и анализ их изменений.

Работу алгоритма покажем на примере съемки изнутри вертикального резервуара объемом 2000 м³ (рис. 1). Первый этап работы — это выделение по высоте части объекта для дальнейшего анализа. Эта операция выполняется первый раз интерактивно, с помощью инструмента геодезической подсистемы системы ТОРО, как показано на рисунке 1, выделяется верхняя граница облака ТЛО, которая будет участвовать в дальнейшей обработке. Затем выполняется фильтрация по радиусу и получаем часть облака ТЛО, с которым будет выполнять дальнейшие операции алгоритм распознавания пересечения поверхности окрайки и вертикальной стенки резервуара (рис. 2а и 2в). Поперечные разрезы части облака показаны на рис. 2б и 2г.

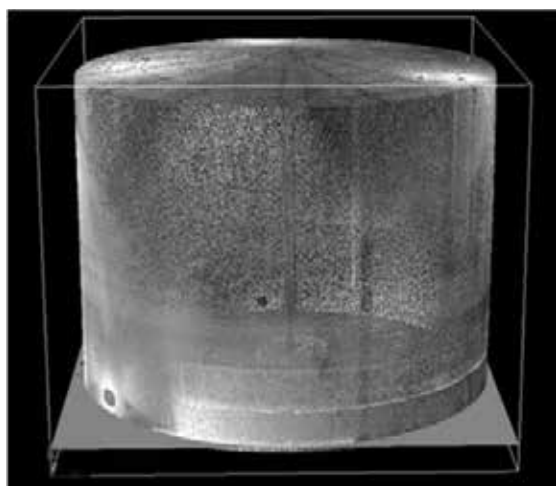


Рис. 1. Определение верхней границы выборки по ТЛО резервуара.

Дальнейшая обработка производится дискретно в точках, задаваемых по окружности резервуара через определенное расстояние. Для этого производится выборка для каждого узла сеточной модели в некоторой ограниченной области,

в которой предполагается, что поверхность окрайки является плоскостью близкой к горизонтальной. По выборке точек в этой области строится плоскость P и оценивается разброс точек этой плоскости (рис. 3а).

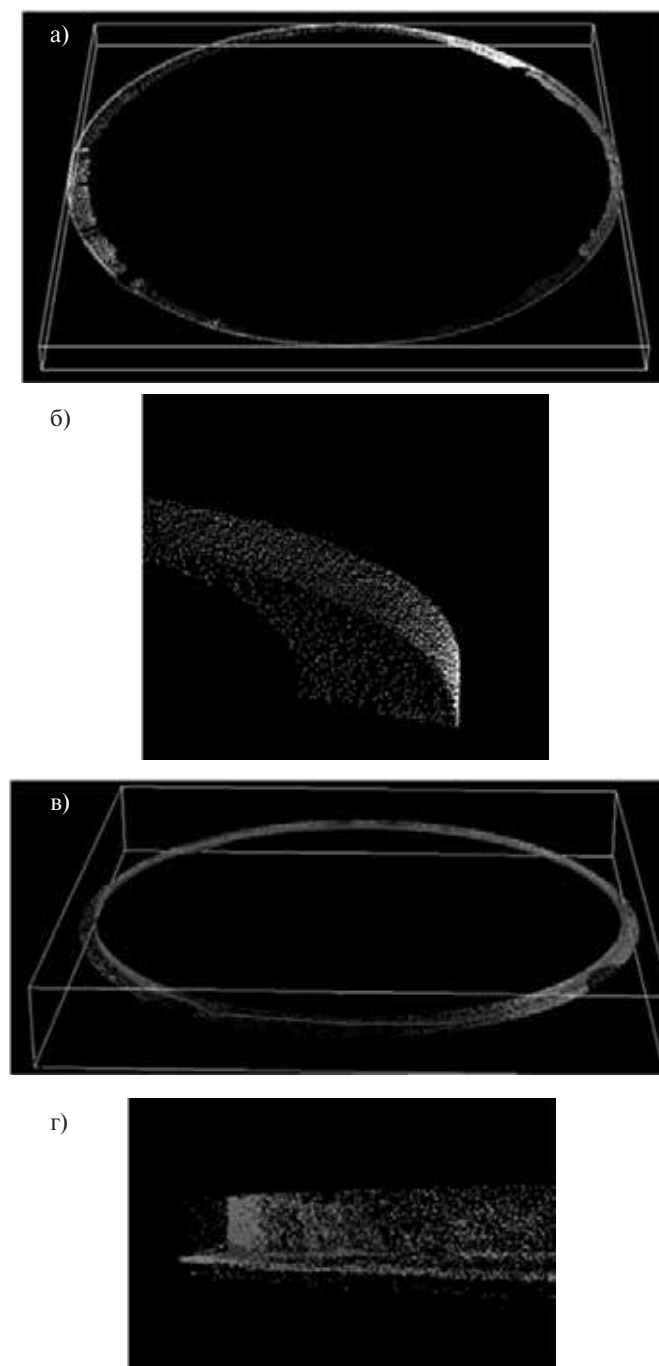


Рис. 2. Часть облака ТЛО для работы алгоритма.

а) резервуар $V=2000\text{м}^3$ (съемка внутри); б) поперечный разрез; в) резервуар $V=1000\text{м}^3$ (съемка снаружи); г) поперечный разрез.

Затем алгоритм выполняется циклически в следующей последовательности. В выборке находится точка с максимальной отметкой и исключается из выборки, опять строится плоскость P и оценивается угол наклона плоскости α_i и разброс Δ_i (рис. 3б).

Работа алгоритма заканчивается на k -том шаге, когда угол наклона плоскости становится $\alpha \approx 0^\circ$ и разброс $\Delta_k < \Delta_{\text{дон}}$ (рис. 3в). Исходя из точности определения координат при ла-

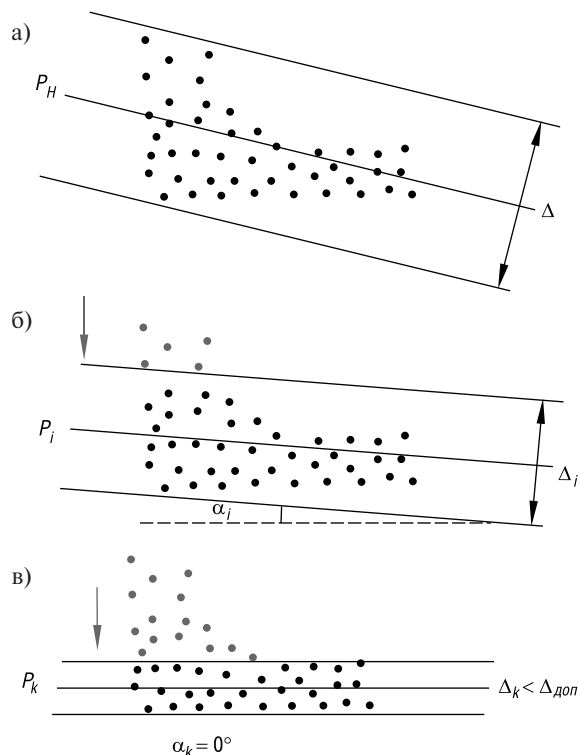


Рис. 3. Графическая интерпретация алгоритма «градиентного спуска». а) начальный шаг; б) текущий шаг; в) конечный шаг.

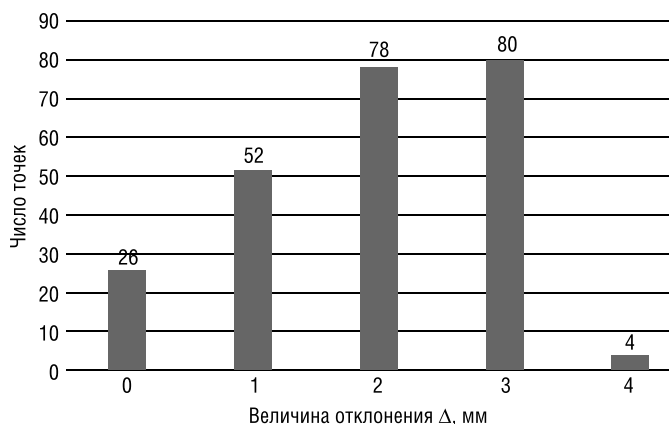


Рис. 4. Типичная гистограмма распределения отклонений.

зерном сканировании для дальнейшей обработки принято $\Delta_{доп} = 4$ мм и $\alpha = 0^\circ$.

При таких параметрах обработки и размере окрестности от 0,1 до 0,3 м, в область выборки попадает от 70 до 300 то-

чек, гистограмма распределения Δ_i показана на рис. 4. Пропусков в интерполяции оседаний дна, вызванных мертвыми зонами в облаке точек ТЛО, не более 20% и располагаются они не подряд, так что могут быть интерполированы при необходимости по ближайшим точкам.

Выводы:

Для резервуаров различной емкости и шага сетки алгоритм «градиентного спуска» показал устойчивую работу и надежное определение отметок точек, расположенных на пересечении окрайки резервуара с его стенкой. Это характерно для резервуаров различной емкости и видов съемок как внутри резервуара, так и снаружи (рис. 2а и 2в). На рис. 5 показан график оседаний резервуара совмещенный с поверхностью деформаций стенки резервуара, которые находятся в диапазоне -142 мм до +138 мм.



Рис. 5. График оседаний дна резервуара совмещенный с поверхностью деформаций.

График оседаний дна резервуара (рис. 5) коррелирует с деформациями стенки, возможно оседания дна являются основной причиной деформации стенок резервуара. Можно сказать с уверенностью, что детальность профиля оседаний, полученный по алгоритму «градиентного спуска», гораздо выше, чем при нивелировании дна, и позволяет определить локальные аномалии. Конечно надежность определения оседаний по облаку точек ТЛО зависит от качества сканирования и плотности точек, попавших на окрайку резервуара, эта проблема должна решаться подбором методики и схемы сканирования объекта. Конечно потребуются дополнительные исследования работы алгоритма и сравнение с результатами, полученными традиционными геодезическими методами. Однако авторы считают, что при регулярном сканировании резервуаров в системе ТОРО [17] автоматизация задачи алгоритмического определения оседаний дна резервуаров является не только актуальной, но и крайне необходимой и требует дальнейшего исследования. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкин П.В., Спиридонов В.П., Копылов А.А., Баженов С.А. Обеспечение пожарной безопасности на топливно-энергетических объектах посредством инженерно-геодезического контроля «Маркшейдерия и Недропользование», 2020, №5 (109) - С. 17-22.
2. Аварийная разморозка <https://versia.ru/razliv-topлива-v-norilsk-mozhet-stat-nachalom-serii-texnogennykh-katastrof-v-rossijskoj-arktike> - «Вестник», №49 от 24.12.2021
3. Chang J, Lin C.-C (2006) A study of storage tank accidents / Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19, 51-59
4. Pichugin S. F., Klochko L. A. Accidents Analysis of Steel Vertical Tanks ICBI 2019: Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations pp 193-204 DOI: 10.1007/978-3-030-42939-3_21
5. Lyubomir Zdravkov et al. Typical damage in steel storage tanks in operation/ Procedia Structural Integrity 22 (2019) 291-298.
6. СТО СА 03-004-2009 «Трубчатые печи, резервуары, сосуды и аппараты нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Требования к техническому надзору, ревизии и отбраковке» / Ассоциация «Ростехэкспертиза», ОАО «ВНИКТИ-нефтехимоборудование». - Волгоград: Изд-во ВГИУ «Перемена». 2010. - 156 с.

7. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров. РД 153-112-017-97. - Уфа: Издательство УГНТУ, 1997, - 74 с.
8. Современный метод проверки на деформации РВС <https://zen.yandex.ru/media/id/5d53b415ec575b00ada3bb66/sovremennyyi-metod-proverki-na-deformacii-rvs-5d763c28f73d9d00ae3d3d6b> - сканирование и ручная обработка данных лазерного сканирования.
9. Современный метод проверки на деформации нефтеналивных резервуаров с помощью 3D лазерного сканирования <https://лазер.рф/2019/11/29/15085/> ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ 29.11.2019 158.
10. Технологии для мониторинга и калибровки резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов <https://www.youtube.com/watch?v=rBDFI33VdUs> вебинар фирмы «Trimble».
11. Котельников С.И. Применение технологии лазерного сканирования для мониторинга нефтеналивных резервуаров. Маркшейдерский вестник, 2016, № 2, - С.1-5
12. Поверка и градуировка резервуаров методом лазерного сканирования <http://www.souzgiprozem.ru/izyskaniya-graduirovka-reservuarov-nalivnyh.html> - сайт СоюзГипрозем.
13. Лазерное сканирование и 3D-моделирование в промышленности <https://www.promgeo.com/services/engineering/industrial/> сайт компании Промышленная геодезия.
14. Применение лазерного сканирования при мониторинге нефтяных резервуаров <https://laserscanningeng.ru/blog/primenenie-lazernogo-skanirovaniya-pri-monitoringe-neftnykh-rezervuarov/> сайт SCANENG
15. 3D лазерное сканирование и градуировка резервуаров РВСПК-100000 на берегу залива Чихачёва Японского моря https://www.ngce.ru/pg_projects255.html сайт НГКИ.
16. Мониторинг и инспектирование резервуаров Leica MS60 и Leica RTC360. https://kzsection.info/green/monitoring-i-inspektirovanie-rezervuarov-rvs-bullity-leica-ms60-i-leica-rtc360/035_caWsqq5pq3k.html технология традиционная и лазерное сканирование Гексагон.
17. Кемербаев Н.Т. Геодезическая информация в системе автоматизированного технического обеспечения и ремонтов. Вестник СГУГиТ, Том 25, № 4, 2020, С. 27 - 36 DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-27-36.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

Информируем Вас

При содействии Международного союза машиностроителей издаются Международные сборники научных трудов ДонНТУ «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ», выпуски 76-79, которые включены в перечень ВАК ДНР, имеют индекс РИНЦ и Международную индексацию ISSN. Подготовка статей должна быть выполнена по новым правилам. Срок подачи статей с 1.01.22 г. - 15.06.22 г. Более детальная информация приведена на сайтах: <http://ptsm.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>

WWW.N-GN.RU



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

Информируем Вас

В городе Севастополе 15 сентября 2022 года состоится XXIII съезд МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ, объединяющий машиностроителей из 21 страны мира. Более детальная информация приведена на сайтах: <http://iumb.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>

WWW.GEOMAR-NEDRA.RU