

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный
университет»

_____ профессор



_____ Н.В. Пашкевич

_____ 11 2022 г.

О Т З Ы В

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» на диссертацию **Кемербаева Нургана Токановича** на тему «Разработка методики мониторинга состояния промышленных объектов с применением технологии наземного лазерного сканирования (на примере резервуарного парка Павлодарского НПЗ)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия.

Актуальность темы диссертации

Различные виды резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, сжиженных газов и др. остаются одними из наиболее опасных объектов. Ежегодно количество аварий на резервуарах возрастает. При этом каждый год в мире происходит от 2 до 11 аварий. Одной из главных причин аварий резервуаров является неоднородная осадка основания, приводящая к образованию трещин и в конечном итоге к его разрушению. Ущерб при этом может достигать нескольких миллиардов рублей.

На территории стран СНГ работают более чем 50 тысяч вертикальных

DATA 01.05/2/56
DATA 02.12.2022

стальных резервуаров. Безусловно, требуется постоянное совершенствование мер по контролю их состояния для предотвращения аварий.

В типовых программах диагностирования резервуаров (Рекомендации по техническому диагностированию сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов, утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31 марта 2016 г. N 136) предусмотрены методы контроля, в том числе геодезические измерения (контроль размеров, формы конструкций, осадок резервуара). При этом измерение геометрической формы стенки резервуара производится для выявления отклонений фактических размеров от параметров проектной документации и соответствующих норм. В обязательном порядке измеряется величина отклонения стенки от вертикали на расстоянии 50 мм ниже верха каждого пояса; измерения производятся в наиболее деформированных местах стенки (по результатам внешнего осмотра) при помощи шаблонов, отвесов и геодезическими методами (в том числе с применением лазерного сканирования). Величины неравномерной абсолютной и относительной осадки наружного контура днища определяются с применением оптических, гидравлических нивелиров и тахеометров (в том числе лазерных сканеров).

Таким образом, в нормативах предусматривается применение перспективного и информативного метода лазерного сканирования. Однако конкретных рекомендаций по технологии его применения и обработки результатов съемки пока не разработано в достаточной мере.

Технология геодезической съемки вертикальных стальных резервуаров (РВС) методом наземного лазерного сканирования дает колоссальный объем информации. Чтобы эффективно использовать этот объем информации его необходимо уменьшить и привести к виду, который обеспечивает решение задач мониторинга состояния РВС. Поэтому разработка методики мониторинга состояния промышленных объектов с применением технологии

наземного лазерного сканирования является актуальной.

Существующая нормативная документация, которая регламентирует методику определения деформаций и допустимые значения деформаций, не отражает современных требований к безопасной эксплуатации РВС. Допуски на деформации стенок и основания ранжируются только по объему резервуара и не учитывают свойства материала, которые очень сильно изменились за последние 50 лет при строительстве новых РВС. Поэтому предложение диссертанта по расчету допустимых деформаций на основании геодезических измерений является чрезвычайно актуальным, т.к. позволит в будущем перейти от нормативных допусков к более точным и обоснованным расчетным.

Предложенная в диссертационной работе методика мониторинга состояния промышленных объектов хорошо вписывается в современную тенденцию цифровизации промышленности и созданию цифровых двойников промышленного оборудования. На базе предложенной методики создана автоматизированная подсистема геодезического мониторинга в автоматизированной системе технического обслуживания и ремонтов оборудования Павлодарского НПЗ, которая обеспечила создание цифровых двойников объектов резервуарного парка.

Обобщая, можно отметить, что разработка методики мониторинга состояния промышленных объектов с применением технологии наземного лазерного сканирования является важной актуальной научной задачей, решение которой за счет оперативности и точности определения технического состояния позволяет повысить безопасность эксплуатации вертикальных стальных резервуаров.

Научная новизна заключается в следующем

1. Выполнено формализованное представление облака точек наземного лазерного сканирования, как алгебраического множества, и определены

операции над этим множеством. Разработан алгоритм перехода от множества ТЛО к топологически эквивалентным сеточным моделям, которые можно анализировать и сравнивать в операциях алгебры карт.

2. Обоснованы допустимые деформации на основании геодезических измерений и расчетов напряжений стенок РВС по полубезмоментной теории оболочек Власова.

3. Созданы оригинальные алгоритмы определения геометрических параметров и деформаций резервуара на базе которых разработана методика автоматизированного мониторинга состояния РВС с применением технологии наземного лазерного сканирования.

4. Предложена структура базы данных для хранения данных наземного лазерного сканирования и результатов их обработки и экспертная система с ранговыми правилами, которая позволяет повысить безопасность эксплуатации РВС.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития геодезической отрасли науки

Разработанная методика мониторинга деформированного состояния резервуаров является современным средством, опирающимся на компьютерные технологии делопроизводства. В качестве измерительного аппарата выбран метод наземного лазерного сканирования, который позволяет получать не точечные данные об объекте, что до недавнего времени было достаточным условием, а картину всего объекта (облако точек и далее модель объекта), изменяющуюся с течением времени.

Автором предложено преобразование облака точек наземного лазерного сканирования в виде алгебраического множества, а также алгоритмы его видоизменения. Такая процедура позволяет формализовать операции фильтрации геопространственных данных, что делает удобным детальную обработку для наглядного представления деформационной

картины. Разработан математический аппарат для создания топологически-эквивалентных сеток, что позволяет перейти от приближенных методов оценки состояния резервуаров к более обоснованным и точным численным методам определения напряжений, обеспечивающим разработку допустимых величин деформаций РВС. В работе также следует признать значимым создание геодезической подсистемы технического обслуживания и ремонта оборудования в автоматизированном виде. Безусловно, сегодня в эпоху цифровизации всего делопроизводства, составляющие алгоритмы должны быть разработаны в программном виде, обеспечивающим системность решения задач. В этой связи автором автоматизирован процесс обработки результатов наземного лазерного сканирования, что сделало его разработку максимально настраиваемой к практическим условиям и повысило оперативность получения необходимой информации о деформированном состоянии резервуаров.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе для студентов, обучающихся по специальности: «Инженерная геодезия». Интересным представляется технология обработки лазерно-сканирующей съемки, в частности, трансформация облака точек в виде регулярных сеток. Кроме того, рекомендуется использовать комплексный подход, представленный в диссертации, сущность которого состоит в системности наблюдений с оценкой, прогнозом и контролем деформированного состояния рассматриваемого объекта.

Разработанная методика мониторинга состояния промышленных объектов с применением технологии наземного лазерного сканирования может быть эффективно использована в проектных и специализированных организациях геодезического профиля.

В Санкт-Петербурге разработанная методика рекомендуется к использованию в геодезических предприятиях: ООО «Бента», «Геодезические приборы» и «Промышленная геодезия».

Замечания и вопросы по диссертации

1. Автором в целом выполнена большая работа, однако мало уделено внимания анализу произошедших случаев аварий и традиционным способам геодезических измерений резервуаров.

2. В диссертационной работе не приведено количество исследуемых резервуаров и их классификация.

3. Возможно ли по данной методике выявлять микродеформации стенок и основания резервуаров?

4. Вызывает вопрос этап сглаживания топологически-эквивалентной сетки: не приведет ли он к потере информации о деформациях резервуара?

5. Обработка результатов наземного лазерного сканирования понятна, однако, какова точность определения деформаций стенок и днища резервуара по предложенной методике?

Указанные замечания имеют не принципиальный характер и не снижают научную и практическую значимость выполненных диссертационных исследований.

Заключение

1. Диссертация Кемербаева Н.Т. имеет заверченный характер, автор на высоком научном и техническом уровне выполнил теоретические и прикладные исследования и разработал методику геодезического мониторинга состояния промышленных объектов с применением технологии наземного лазерного сканирования, что позволяет повысить безопасность их

наземного лазерного сканирования (на примере резервуарного парка Павлодарского НПЗ)» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований изложены новые алгоритмы обработки данных наземного лазерного сканирования и разработана методика мониторинга промышленных объектов, имеющая важное значение для развития геодезической отрасли.

7. Диссертация соответствует критериям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор - Кемербаев Нурган Токанович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.22. Геодезия.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры инженерной геодезии, протокол № 4 от « 15» ноября 2022 года.

**Заведующий кафедрой
инженерной геодезии,
доктор техн. наук, доцент**



Мустафин Мурат Газизович

Шифр специальности, по которой защищена диссертация Мустафина Мурата Газизовича: 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.



Подпись М.Т. Мустафина
Функция: Начальник управления делопроизводства
и контроля документооборота

Е.Р. Яновицкая
15.11.2022