

УДК 528:681.5

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-27-36

## ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И РЕМОНТОВ

*Нурган Токанович Кемербаев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: n.kemerbayev@geo-id.kz

Два года назад на Павлодарском нефтехимическом заводе, в рамках модернизации производственного процесса, была внедрена автоматизированная система технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОРО). Эта система, состоящая из нескольких подсистем, предоставила возможность вести мониторинг рабочего процесса, наблюдать за многими производственными циклами, составлять статистику выполнения тех или иных производственных задач, определять проблематичные зоны, а также предварительно прогнозировать выход из строя того или иного оборудования, просчитывать проблематичные зоны. Однако процесс по расширению системы функционала ТОРО не стоит на месте. В настоящее время в рамках цифровизации производственного процесса на заводе реализуют проект по созданию 3D генерального плана завода. В статье подробно описан процесс поэтапного создания цифровой пространственной модели и ее связь с автоматизированной системой управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. Детально охарактеризован один из главных этапов создания трехмерной модели – процесс получения высокоточных геодезических измерений для создания геодезической основы, полевые работы, создание плано-высотного обоснования. Описывается методика работ по проведению лазерного сканирования, процесс обработки полученных данных, моделирование и наполнение цифровой модели атрибутивными данными. На сегодняшний день трудно оспорить значимость внедрения цифрового пространственного моделирования на производстве. Главную роль в успешности данных инновационных проектов играют правильно полученные, обработанные и внедренные в модель исходные данные. Таким образом, геодезическое обеспечение является ключевым этапом в сложном технологическом процессе по созданию цифрового пространственного двойника или 3D-модели завода и ее эксплуатации в системе ТОРО.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт оборудования, геодезическое обеспечение, плано-высотное обоснование, лазерное сканирование, 3D-модель, генеральный план

### *Введение*

Сегодня цифровая трансформация стала частью стратегий развития всех крупнейших нефтяных компаний. Цифровые технологии становятся важной частью технологического развития компании.

В условиях конкуренции и нестабильных цен на энергоносители главной задачей нефтяных компаний остается максимизация производительности за счет бесперебойной работы, повышение уровня промышленной и информационной безопасности и, конечно, сокращение издержек.

Это становится возможным благодаря переходу на управление всеми бизнес-процессами на основе данных и цифровых моделей, через получение аналитики о производственных и экономических процессах в режиме реального времени, позволяющих снизить затраты на сырье, логистику, обслуживание

и ремонт, увеличить качество и объемы выпускаемой продукции.

В наше время цифровая трансформация осуществляется по трем направлениям:

– продвинутая аналитика (использование больших данных (Big Data) для принятия решений, оптимизации технологических процессов и планирование технического обслуживания);

– цифровизация процессов (упрощение процессов с использованием приложений и мобильных устройств);

– индустрия 4.0 (внедрение новейших технологий – AR, VR, IoT, компьютерное зрение – в производственные процессы).

Огромную роль в достижении высоких производственных показателей играет техническое состояние оборудования, для обеспечения исправности и работоспособности которого необходимо развертывание комплексной системы технического обслуживания и ре-

монта технологического оборудования [1]. Стоит отметить, что в мире идет плавный переход от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по фактическому состоянию оборудования. Таким образом, важной составляющей повышения эффективности работы ремонтных служб является внедрение современных технических средств, позволяющих перейти к обслуживанию оборудования по фактическому состоянию, которые нашли применение на передовых отечественных и большинстве зарубежных предприятий с 1990-х гг. Автомобильные, авиационные, ракетно-космические и машиностроительные, нефтеперерабатывающие заводы США, Японии, Англии и Франции проводят обслуживание станков только по их фактическому состоянию. Метод основан на том, что без разборки станка оценивается его техническое состояние, определяются отдельные узлы и детали, которые имеют дефекты, и поэтому ремонт производится целенаправленно, с устранением конкретных дефектов. Это обеспечивает стабильность работы производства, позволяет прогнозировать время безаварийной работы оборудования, заранее заказать необходимые комплектующие для проведения ремонта [2].

В рамках реализации Программы цифровой трансформации проекта «Переход на увеличенный межремонтный период на НПЗ» АО «НК «КазМунайГаз» внедрил в 2018 г. на Павлодарском нефтехимическом заводе автоматизированную систему управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования (далее – ТОРО) и обеспечения надежности и механической целостности.

Система ТОРО состоит из четырех автоматизированных подсистем – IBM Maximo (ПО для управления активами предприятия), APM Meridium (управление эффективностью производственных активов), Asset Sentinel (Мониторинг процессов и оборудования), а также Downtime Reporting (учет простоев).

IBM Maximo – это программный продукт, с помощью которого в автоматическом режиме ведется организация проведения ремонтов, учет технических характеристик каждой единицы оборудования, история, объемы и стоимость выполненных ремонтных работ.

Meridium APM – система управления инспекциями и обеспечения надежности, пред-

назначена для анализа эффективности производственных активов.

Asset Sentinel – система мониторинга оборудования в реальном времени, отслеживает состояние активов в режиме онлайн, заранее прогнозируя выход оборудования из строя, а также осуществляет сбор статистики работы оборудования.

Downtime Reporting – система учета простоев оборудования, предназначена для фиксации и отправки ответственным специалистам уведомлений о наличии простоев на установках, архивировании записей по простоям и потерям производства.

Все перечисленные системы нацелены на увеличение межремонтных интервалов, исключение внеплановых выходов оборудования из строя, а также снижение затрат на его ремонт и финансовых потерь производства от простоя технологических установок [3].

Результат внедрения ТОРО – увеличение межремонтного периода (остановка завода для ремонта не каждый год, а раз в три года), повышение надежности и механической целостности оборудования в условиях непрерывного технологического процесса, безопасность производства, сокращение внеплановых и плановых простоев оборудования, снижение риска возникновения внештатных и аварийных ситуаций, уменьшение затраты на техобслуживание и капитальный ремонт, увеличение производительности работ и общую эффективность оборудования [4].

В настоящее время идет выполнение Программы цифровой трансформации АО «НК «КазМунайГаз» путем реализации проекта «Создание цифрового Генерального плана и 3D-модели НПЗ РК» (далее – проект). Проект включает в себя развитие автоматизированных систем через работы по расширению интеграции систем и увеличению объема передаваемых между ними данных, исключению дублирования, подключению других структурных подразделений предприятия (техника безопасности, бухгалтерия, сервисные компании), настройке новых модулей.

Инициатором проекта является Павлодарский нефтехимический завод, который в мае 2019 г., заключил договор на реализацию проекта с консорциумом ТОО «Alora IT Solutions» и ТОО «GEOID». Срок реализации проекта 18 месяцев.

Согласно разделению объемов за ТОО «GEOID» закреплено создание информационной модели, а ТОО «Alora IT Solutions» выполняет поставку ПО, серверного оборудования, графических станций, занимается интеграцией AVEVA с системой ТОРО и обучением специалистов Заказчика.

Цель проекта – создание цифрового Генплана и 3D-модели нефтеперерабатывающего завода, с применением технологии лазерного сканирования объектов.

Задача проекта – создание информационной модели завода, содержащей в электронном виде пространственное описание объекта эксплуатации, включая архитектурные, функ-

ционально-технологические, конструктивные, инженерно-технические и иные решения, а также необходимые исходные данные для строительства, реконструкции и эксплуатации объекта (рис. 1).

Интеграция информационной модели (далее – ИМ) завода с системой ТОРО предусмотрена в подсистеме IBM Maximo [5] (рис. 2).

Просмотр, заполнение и извлечение данных ИМ завода будут осуществляться посредством использования подсистемы IBM Maximo.

Трехмерная визуализация модели с атрибутивными данными повысит эффективность процесса планирования и выполнения работ по техническому обслуживанию.

**Срок реализации проекта: 18 месяцев**

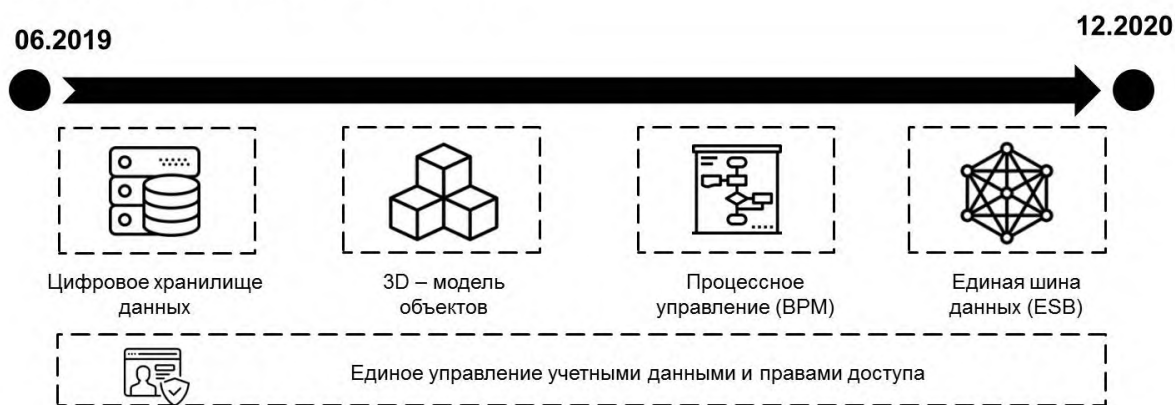


Рис. 1. Этапы выполнения работ в рамках договора консорциума ТОО «GEOID» и ТОО «Alora IT Solutions»

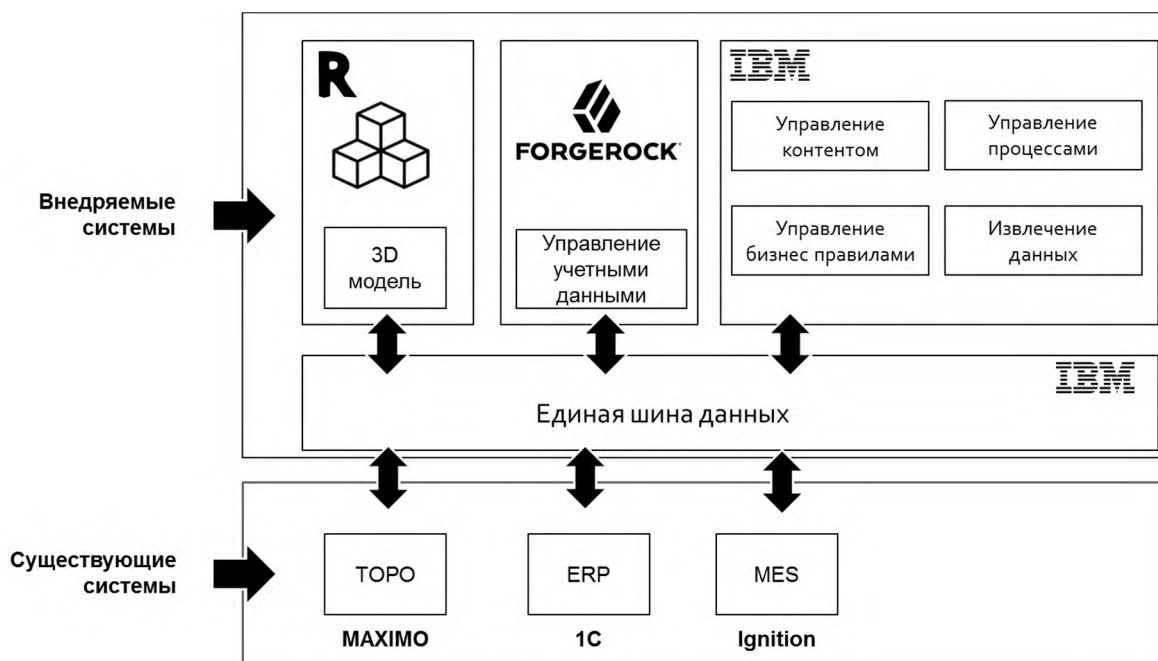


Рис. 2. Схема интеграции проекта в систему ТОРО

Таким образом, расширение возможностей системы ТОРО позволит более эффективно управлять активами и положениями, отслеживать заявки и задания, создавать системы из моделей, просматривать модель предприятия в 3D-формате. Работы по созданию цифрового Генплана выполнялись в несколько этапов (рис. 3).

1. Подготовительные работы:

- проведение анализа необходимых к выполнению объемов работ. Создание совместной рабочей группы по исполнению проекта;
- сбор исходных данных и знакомство с результатами геодезических изысканий прошлых периодов, существующими исполнительными схемами, картографическими материалами на различных носителях (цифровых, бумажных), паспортными данными, проектной документацией;

- рекогносцировка, составление поэтапного плана полевых работ;

- установка программного обеспечения на аппаратной платформе. Первичная установка и настройка;

- составление полного календарного плана с разбивкой на этапы реализации проекта.

2. Комплекс полевых работ:

- работы по созданию и уравниванию пунктов геодезической сети;

- поэтапное лазерное сканирование с использованием марок. Сферическая и панорамная фотосъемки;

- проведение топографической съемки подземных объектов, включая инженерные сети, резервуары и хранилища с применением специализированного оборудования (трубокабелеискателей и/или георадара).

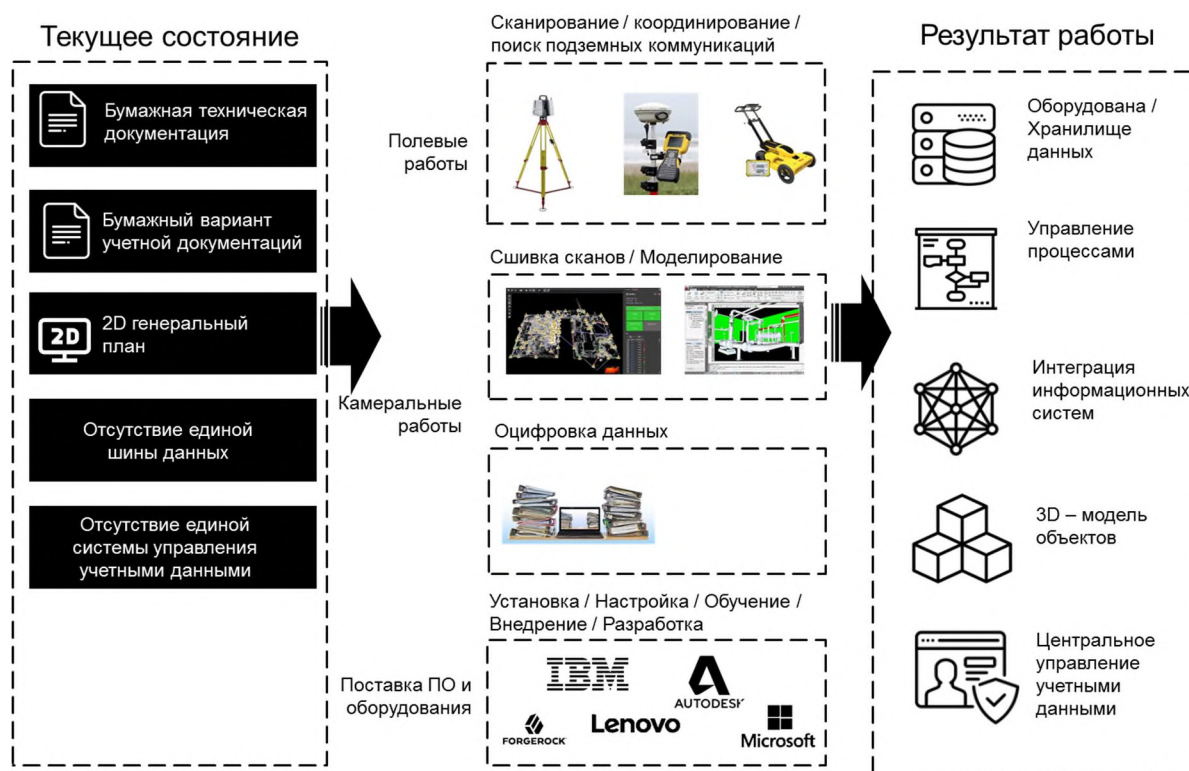


Рис. 3. Архитектура реализуемого проекта

3. Комплекс камеральных работ по созданию модели в виде облака точек:

- взаимное уравнивание сканов (сшивка);
- контроль качества уравнивания;
- создание панорамных снимков;

- создание 3D-модели по облаку точек с созданием тематических слоев;

- обработка результатов топографической съемки подземных коммуникаций и включение данной информации в 3D-модель;

- контроль полноты и точности 3D-модели;
- поэтапная передача облака точек и 3D-модели Заказчику в электронном формате;
- подготовка специалистов завода к работе с векторной моделью;
- подготовка технического отчета;
- внедрение Системы и загрузка 3D-модели в Систему;
- совместно с прочими подрядными организациями Заказчика обеспечение информационного обмена с системой ТРО;
- организация обучения персонала Заказчика работе с Системой (не менее 20 человек).

### **Реализация проекта. Полевые работы**

Этап полевых работ включал в себя работы по созданию и уравниванию пунктов геодезической сети, который является одним из важных критериев при создании цифрового генерального плана.

Техническим заданием было предусмотрено создание геодезической сети заданного класса точности, служащей геодезической основой для выполнения наземного лазерного сканирования.

По точностным характеристикам геодезическая сеть должна быть определена с точностью 1-го разряда (в плане) и IV класса нивелирования (по высоте).

На этапе создания планово-высотного обоснования на местности произведена закладка 30 новых пунктов полигонометрии. Однородная высокая точность геодезических сетей достигнута применением оптимальных методов спутниковых наблюдений и соответствующих методов их обработки, а также за счет использования оптимальной геометрии расположения пунктов, их равномерной плотности и максимально возможного совмещения старой и новой геодезических сетей [6].

Заказчиком был согласован тип закладываемого пункта, который представляет собой толстостенную 3-метровую трубу диаметром 159 см, к верхней части приварена пластина, в центре которой приварен накрененный болт (10 мм) высотой 2 см. В нижней части трубы

приварен металлический швеллер (якорь). Высота верхней части центра, выступающей над землей около 40–50 см, а нижней части более 2,7 м. Нижняя часть центра полностью заполнена бетоном М250.

Закрепление долговременных знаков было произведено с применением механического оборудования ямобур БМ-205-Д на базе трактора МТЗ. Диаметр отверстия ямы составил 360 мм.

В качестве исходных пунктов для создания геодезической сети опознавательных знаков использовались только пункты заводской геодезической и нивелирной сети и вновь созданные пункты [7].

Для определения координат 30 новых и переопределения 54 существующих геодезических пунктов, а также создания параметров перехода из системы координат WGS-84 в местную (заводскую) систему координат разработана методика спутниковых наблюдений с использованием одновременно восьми ГНСС-приемников Leica GS14.

Координаты и высоты съемочных точек на объекте работ определены в статическом режиме, так как этот метод является наиболее точным в GPS наблюдениях и позволяет получить линии (направления) на определяемые пункты с точностью в плане 3 мм + 0,5 мм/км по высоте 5 мм + 0,5 мм/км [8].

Продолжительность сеансов при определении составила:

- на исходных пунктах более трех часов;
- на определяемых и переопределяемых пунктах не менее двух часов.

По результатам наблюдений и обработки данных спутниковых наблюдений был создан ключ с параметрами перехода из системы координат WGS-84 в местную (заводскую) систему координат.

Заказчиком в техническом задании, территория завода была разделена на три категории сложности:

- высокая сложность – 68 га;
- средняя сложность – 193 га;
- низкая сложность – 81 га.

Наземное лазерное сканирование выполнялось с использованием современных сканирующих систем Leica ScanStation P40, Leica

ScanStation P50 и Leica RTC360 [9]. Сканирование производилось в заводской системе координат путем определения координат марок от плано-высотного обоснования тахеометром Leica TS 06 plus.

Сканирование на каждой станции наземного лазерного сканирования выполнялось в пределах поля зрения сканера – 360° по горизонтали и 270° по вертикали, точность взаимного положения сканов между станциями не превышала 5 мм.

Сканирование производилось двумя способами.

1. В заводской системе координат, используя координированные марки от пунктов плано-высотного обоснования.

2. В условной системе координат, при этом в общем сканировании учитываются марки, которые были предварительно закоординированы. При таком способе обработке указываются координаты марок и производится автоматическая привязка облака точек к заводской системе координат [10].

### Камеральные работы

Результатом сканирования является «облако точек» лазерных отражений от объектов с известными координатами – скан (рис. 4).

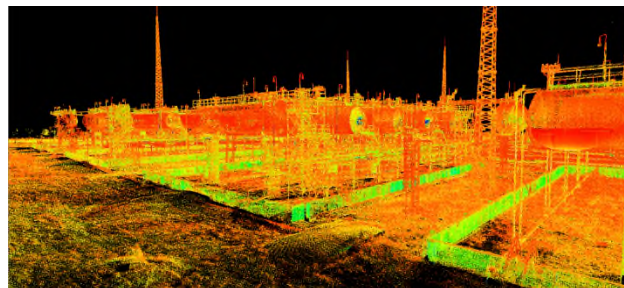


Рис. 4. Фрагмент облака точек

Предварительная обработка (импорт файлов, удаление шумов (транспорт, люди и т. д.), взаимное уравнивание сканов) производилось в программном обеспечении Leica Cyclone.

Состояние выполненного объема работ на февраль 2020 г. приведено в таблице.

Текущее состояние выполненного объема работ по НЛС на февраль 2020 г.

№ п/п	Категория сложности	Общая площадь, га	Выполненный объем НЛС, га	Уровень детализации	Количество станций, ед.
1	Высокая	68	68	LOD 400	7 200
2	Средняя	193	168	LOD 300	2 750
3	Низкая	81	72	LOD 200	1 480

Этап создания информационной модели выполнен с использованием программного продукта Aveva E3D.

Выбор данного программного продукта обусловлен рядом причин:

1) информационная модель, выполненная в Aveva E3D, интегрируется с IBM Maximo;

2) наличие инструментов обработки данных лазерного сканирования и их интеграция с 3D-моделью;

3) поддержка работы с «облачными» технологиями и мобильными устройствами;

4) удобные инструменты для быстрого создания и оформления чертежей согласно необходимым требованиям;

5) возможность совместной работы над одним проектом с ведущим решением для моделирования в трехмерном пространстве AVEVA PDMS;

6) полная интеграция с другими системами моделирования AVEVA, которые используются в работе, в том числе с технологиями для работы со схемами;

7) возможность повторного использования данных, что позволяет применять модульное моделирование;

8) интуитивно понятный пользовательский интерфейс для выполнения различных задач проектирования.

Процесс моделирования в программном продукте AVEVA E3D начался с обучения специалистов отдела 3D-моделирования. По программе обучения произведена подготовка специалистов по следующим направлениям: специалист по каталогам, специалист по разделам (ТХ, АС, КМ и др.) и администратор системы [11].

В результате обучения специалистами получен опыт, который был использован при создании модели.

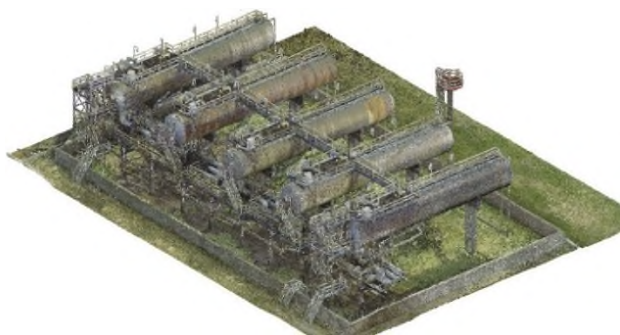
Моделирование выполнялось в следующей последовательности.

1. Импорт облака точек через модуль PDMS программного обеспечения AVEVA.

2. Моделирование простыми примитивами фундаментов на участке.

3. Работы по наполнению каталогов в файл базы данных каталога (DATAL) AVEVA:

- трубы, фитинги, отводы, фильтры и т. д.;
- шаблоны электрооборудования, шаблоны инструментального оборудования, осветительные приборы.
- строительные элементы: арматура, соединения, лестницы и т. д.;
- механическое оборудование: резервуары, насосы и т. д.;



а)

– вентиляция, кондиционирование и отопление.

4. Моделирование оборудования: насосы, резервуары, цистерны, КЖ, КМ и т. д.

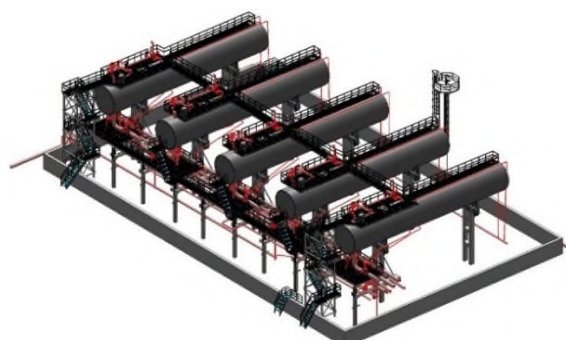
5. Создание каталога трубопроводов.

6. Контроль пространственного несоответствия (взаимное расположения элементов).

7. Заполнение модели атрибутивными элементами по спецификации.

Сшитый, уравненный и ориентированный в системе координат файл облака точек, созданный в программном обеспечении Leica Cyclone в формате \*.imr, не позволяет в дальнейшем проводить работы по экспорту облака точек в AVEVA. Для решения этой задачи использовался модуль Laser Model Interface.

Образец 3D-модели объекта, выполненный в заводской системе координат, показан на рис. 5, б.



б)

Рис. 5. Пример полученной 3D-модели:

а) облако точек; б) модель

В результате моделирования достигнуты следующие показатели:

- актуальные формы 3D-модели объекта;
- получены планы, виды, разрезы для дальнейшей работы;
- заказчиком выявлены коллизии на этапе эксплуатации (отличия от проектных данных);
- значительно улучшено качество выходной документации.

В настоящее время проект «Создание цифрового Генерального плана и 3D-модели НПЗ РК» еще не завершен, выполняются работы по моделированию. По окончании процесса моделирования будет осуществлено интеграция 3D-модели завода в автоматизированную систему ТОРО.

После завершения работ, по результатам внедрения, на стадии промышленной эксплуатации будет доступна визуализированная информация о состоянии технологического оборудования в части оценки надежности, прочности деталей и узлов. Также появится возможность получения информации с модели в виде рабочих чертежей и технических паспортов. Использование информационной 3D-модели позволит воспроизвести динамические (характеристики материала, изменяющиеся во времени, при воздействии температуры и других факторов) изменения технологического оборудования, которые позволят предотвратить чрезвычайные ситуации, минимизировать простои технологического обо-

рудования и как следствие увеличить эффективность работы предприятия.

Геодезическое обеспечение системы ТОРО на стадии реализации проекта и последующей эксплуатации объекта системы управления ТОРО является важной частью многоступенчатого процесса – от планового обслуживания до необходимого обслуживания оборудования, основанного на диагностике и контроле его состояния.

### Выводы

Несмотря на то, что проект еще не завершен, на основании вышеизложенного, уже сейчас можно прийти к выводу о значимости геодезического обеспечения при создании информационной 3D-модели завода и ее эксплуатации в системе ТОРО.

Объем геодезических работ по сбору исходных данных, созданию геодезической основы, топографической съемки подземных

коммуникаций, лазерному сканированию, сам процесс моделирования и наполнение его информацией составил основную и важную часть всего процесса реализации проекта.

Геодезические работы при реализации проекта явились фундаментом в производственно-технологической цепочке «съемка – облако – модель – анализ – технологический процесс». Их качество, полнота и своевременность реализации определили качество построения информационной 3D-модели завода, ее внедрение и эксплуатацию в системе ТОРО.

Становится очевидным, что геодезическое обеспечение системы ТОРО с использованием технологии наземного лазерного сканирования позволит решать практически весь спектр задач эксплуатации промышленных объектов и технологически сложного оборудования, откроет новые возможности по поддержанию информационной 3D-модели завода в актуальном состоянии [12, 13].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов В. А., Фещенко А. А. Особенности подходов к техническому обслуживанию и ремонту оборудования в непрерывном производстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 82–89. doi: 10.15593/2224-9877/2018.3.10.
2. Новый подход к эксплуатации и ремонту оборудования на машиностроительных предприятиях ОПК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ufastanki.ru/sarticles/0/41>.
3. Система ТОРО с различных точек зрения // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2013. – № 3. – С. 10–14.
4. IBM Maximo Asset Management. Comprehensive enterprise asset management for lifecycle management and resource management [Electronic resource]. – Mode of access: <https://interprocom.ru/products/ibm/ibm-maximo-asset-management/>.
5. Maximo Asset Management Documentation V 7.6.0.7. [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLKT6\\_7.6.0.7/com.ibm.mam.doc/welcome.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLKT6_7.6.0.7/com.ibm.mam.doc/welcome.html).
6. Sholomitskii A., Lagutina E. Design and preliminary calculation of the accuracy of special geodetic and mine surveying networks // International science and technology conference "Earth science", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272. – P. 022010. doi:10.1088/1755-1315/272/2/022010.
7. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/871001219>.
8. Шульц Р. Расчет точности определения горизонтальных перемещений сооружений методом наземного лазерного сканирования // Инженерная геодезия. – 2008. – № 54. – С. 311–320.
9. Шульц Р. Преимущества и недостатки различных методов сшивки лазерных сканов // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия Горно-геологическая. – 2009. – Вып. 9 (143). – С. 140–145.
10. Шульц Р. Определение геометрических параметров цилиндрических резервуаров по данным наземного лазерного сканирования // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия Горно-геологическая. – 2010. – Вып. 12 (173). – С. 37–47.



11. Вальдовский А., Морозова Г. Высокоточная съемка промышленных объектов методом лазерного сканирования с последующим 3D-моделированием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/21468/>.

12. Шишкин А., Кутлаев А. Реализация проектов с применением технологий 3D-моделирования на базе AVEVA PDMS в ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднинефтепроект» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25001/>.

13. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Использование лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 43–57.

Получено 29.05.2020

© Н. Т. Кемербаев, 2020

## GEODETIC INFORMATION IN AUTOMATED SYSTEM OF TECHNICAL SUPPORT AND MAINTENANCE

*Nurgan T. Kemberbayev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: [n.kemberbayev@geo-id.kz](mailto:n.kemberbayev@geo-id.kz)

Two years ago, at the Pavlodar oil chemistry refinery LLP, as part of the modernization of the production process, an automated system for maintenance and repair of equipment (PM) was introduced. This system, consisting of several subsystems, made it possible to monitor the workflow, monitor many production cycles, compile statistics on the performance of various production tasks, identify problematic zones, and also predict the failure of a particular equipment, calculate problematic zones. However, the process of expanding the system of functional maintenance does not stand still. Currently, as part of the digitalization of the production process, the plant is implementing a project to create a 3D master plan for the plant. The article describes in detail the process of phased creation of a digital spatial model and its relationship with the automated control system for maintenance and repair of equipment. One of the main stages of creating a three-dimensional model is described in detail – the process of obtaining high-precision geodetic measurements to create a geodetic base, field work, and the creation of a plan-height justification. The methodology of laser scanning, the process of processing the obtained data, modeling and filling the digital model with attributive data is described. Today it is difficult to dispute the importance of introducing digital spatial modeling in production and the main role in the success of these innovative projects is played by correctly received, processed and implemented initial data in the model. Thus, geodetic support is a key step in the complex technological process of creating a digital spatial double or 3D model of the plant and its operation in the maintenance system.

**Keywords:** maintenance, equipment repair, geodetic support, vertical-height justification, laser scanning, 3D model, master plan

## REFERENCES

1. Ivanov, V. A., & Feshenko, A. A. (2018). Features of approaches to maintenance and repair of equipment in continuous production. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Engineering and Materials Science]*, 20(3), 82–89 [in Russian].

2. A new approach to the operation and repair of equipment at the defense industry engineering enterprises. (n. d.). Retrieved from <https://ufastanki.ru/sarticles/0/41>.

3. The system of maintenance and repair of equipment from various points of view. (2013). *Electricity Transmission and Distribution Magazine*, 3, 10–14 [in Russian].

4. IBM Maximo Asset Management. Comprehensive enterprise asset management for lifecycle management and resource management. (n. d.). Retrieved from <https://interprocom.ru/products/ibm/ibm-maximo-asset-management>.

5. Maximo Asset Management Documentation V 7.6.0.7. (n. d.). Retrieved from [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLKT6\\_7.6.0.7/com.ibm.mam.doc/welcome.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSLKT6_7.6.0.7/com.ibm.mam.doc/welcome.html).
6. Sholomitskii, A., & Lagutina, E. (2019). Design and preliminary calculation of the accuracy of special geodetic and mine surveying networks. *International Science and Technology Conference "Earth Science", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 272, 022010. doi:10.1088/1755-1315/272/2/022010
7. Code of Practice. (1997). SP 11-104-97. Geodetic surveys for construction. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/871001219>.
8. Shultz, R. (2008). Calculation of the accuracy of determining the horizontal movements of structures by ground laser scanning. *Inzhenernaya geodeziya [Engineering Geodesy]*, 54, 311–320 [in Russian].
9. Shultz, R. (2009). Advantages and disadvantages of various methods for stitching laser scans. *Nauchnye trudy Doneckogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Gorno-geologicheskaya [Scientific works of Donetsk National Technical University. Series Mining and Geological]*, 9(143), 140–145 [in Russian].
10. Shultz, R. (2010). Determination of the geometric parameters of cylindrical tanks according to ground-based laser scanning. *Nauchnye trudy Doneckogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Gorno-geologicheskaya [Scientific works of Donetsk National Technical University. Series Mining and Geological]*, 12(173), 37–47 [in Russian].
11. Valdovskij, A., & Morozova, G. (n. d.). High-precision shooting of industrial facilities by laser scanning followed by 3D modeling. Retrieved from <https://sapr.ru/article/21468>.
12. Shishkin, A., & Kutlaev, A. (n. d.). Implementation of projects using 3D-modeling technologies based on AVEVA PDMS in LLC "LUKOIL-Nizhegorodniinefteproekt". Retrieved from <https://sapr.ru/article/25001>.
13. Sholomitsky, A. A., Lagutina, E. K., & Soboleva, E. L. (2018). Use of laser scanning to monitor large-span structures. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 43–57 [in Russian].

Received 29.05.2020

© N. T. Kemberbayev, 2020