



КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Т.Б. Чистякова, Д.Н. Фураев, А.Н. Шишкин (СПбГТИ(ТУ))

Приведены основные сведения об информационных моделях и цифровых двойниках промышленных объектов. Предложена компьютерная система проектирования и анализа цифровых моделей сложных промышленных объектов в области нефтепереработки, применяемая в процессе жизненного цикла промышленного объекта. Приведена архитектура компьютерной системы и комплекс средств, включая основные виды обеспечения. Разработаны алгоритмы проектирования и анализа цифровых моделей, которые апробированы на примере установки каталитического крекинга Г-43-107 и установки ЭЛОУ-АВТ-6.

Ключевые слова: цифровые модели, проектирование, промышленные объекты, цифровой двойник, 3D модели, вторичная переработка нефти.

Введение

Во всем мире активно развиваются технологии, направленные на цифровизацию и автоматизированное проектирование объектов в области нефтехимии и нефтепереработки, электроники, машиностроения, строительства [1-3].

Цифровая трансформация предполагает применение следующих современных технологий: большие данные (BigData), цифровые двойники (Digital Twin), промышленный Internet вещей (IIoT), облачные вычисления (Cloud Computing), мобильные приложения, роботизация, дополненная и виртуальная реальность (VR и AR), геоинформационные системы (GIS), технологии информационного моделирования и проектирования (BIM/openBIM).

Продукты на основе цифровых двойников предлагают компании, специализирующиеся на IT-решениях для промышленности (IBM, Oracle, SAP), промышленные гиганты (Siemens, General Electric, Boeing, Airbus) и мировые поставщики решений для промышленной автоматизации (Honeywell, AspenTech, Schneider) [4].

На данный момент происходит комплексное и целенаправленное внедрение цифровых технологий в проектную, производственную и управленческую практику нефтегазовых компаний. Все крупные российские компании включили приоритеты и задачи цифровой трансформации в стратегии своего развития [5].

Для всех объектов проектирования в различных областях промышленности достаточно унифицированным является подход к построению цифровых моделей на различных этапах проектирования, который включает формализованное описание объекта проектирования, формирование различного вида обеспечения, поверочные расчеты, прототипирование или создание цифровых моделей.

Целью статьи является создание компьютерной системы проектирования и анализа цифровых моделей для проектирования промышленных объектов в нефтепереработке.

Цифровая информационная модель и цифровой двойник в нефтехимии

Цифровая информационная модель представляет собой интеллектуальную модель промышленного объекта, в которой консолидирована вся необходимая информация об объекте, представленная в удобном виде для работы в единой информационной системе.

В зависимости от области применения 3D модель содержит всю необходимую информацию о промышленном объекте:

- 1) геометрические характеристики объектов с полной детализацией;
- 2) физические характеристики объектов (материал, масса, технологические параметры);
- 3) информационные характеристики объектов (ссылки на нормативную документацию, артикул).

Виртуальные информационные модели используются и применяются в различных областях:

- 1) при проектировании новых промышленных объектов;
- 2) при строительстве и эксплуатации промышленных объектов;
- 3) при реконструкции и модернизации промышленных объектов;
- 4) при проведении обзорного инструктажа по технике безопасности на предприятии;
- 5) при разработке учебных компьютерных виртуальных тренажеров и моделировании чрезвычайных ситуаций;
- 6) при эксплуатации для сбора и обработки информации о состоянии оборудования и систем противопожарной защиты;
- 7) при проведении виртуальных экскурсий;
- 8) при обучении производственного персонала промышленных производств.

3D модель промышленного объекта содержит все части проекта: оборудование, трубопроводы, опоры

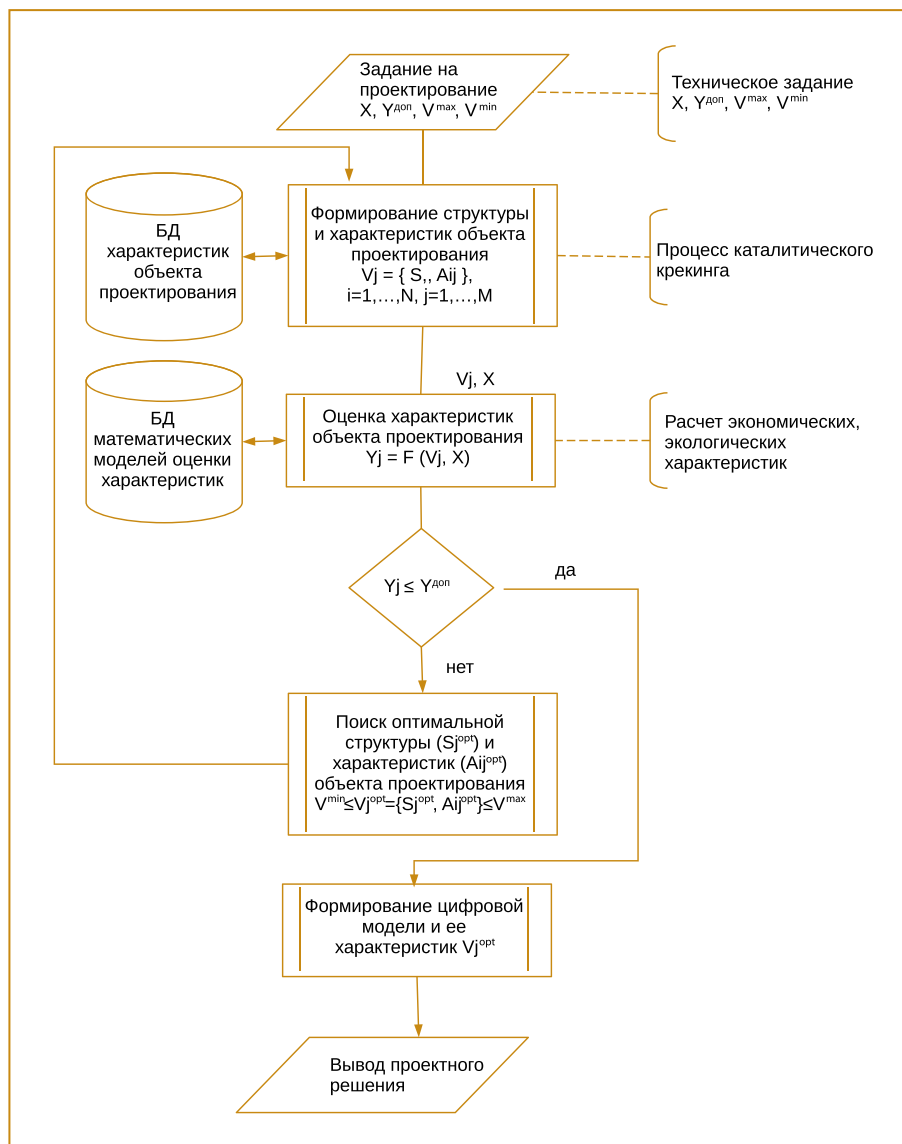


Рис. 1. Обобщенный алгоритм проектирования цифровой модели процессов вторичной переработки нефти

трубопроводов, строительные конструкции, кабельные короба и оборудование, оборудование и приборы систем контроля и автоматики, электроснабжения, систем отопления и вентиляции.

В процессе развития промышленный объект проходит несколько последовательных этапов жизненного цикла. Выделяют следующие основные этапы: проектирование, строительство, эксплуатация, модернизация (реконструкция), демонтаж. На каждом этапе накапливается значительный объем информации об объекте, который представлен массивами чертежей, паспортов, регламентов и иной технической документации. Именно большой объем разрозненной информации послужил толчком для создания единого источника актуальных данных (цифрового двойника) для участников процессов проектирования, строительства и эксплуатации.

На этапе строительства и введения в эксплуатацию цифровая информационная модель преобразуется в цифрового двойника предприятия путем корректировки ее элементов.

Цифровые двойники представляют собой информационные 3D модели, представляющие собой виртуальную копию промышленного объекта с доступом ко всей проектной документации, которые используются на всех стадиях жизненного цикла промышленного объекта.

Методология компьютерного моделирования и проектирования

Современные технологии проектирования объектов нефтепереработки основаны на использовании современных систем автоматизированного проектирования и разработке информационной 3D модели проектируемого объекта. 3D модель приобретает первоочередное значение и уже из нее формируется необходимая проектная документация.

Все современные крупные промышленные объекты проектируются и строятся при использовании технологий 3D моделирования [6].

Сложность проектирования нефтеперерабатывающих предприятий обусловлена разнородностью физико-химических процессов переработки сырья и материалов, ассортиментом продукции, экологическими требованиями, дорогостоящими катализаторами, многочисленными технологическими связями, сложными законами происходящих химических реакций,

разнообразием видов оборудования и сложностью компоновки, ограничениями, накладываемыми характеристиками местности и доступностью ресурсов, строгими требованиями к экологическим показателям производства.

Методология автоматизированного проектирования цифровых двойников или информационных моделей промышленных объектов вторичной переработки нефти заключается в создании типовых проектных процедур, выборе алгоритмов и процессов проектирования, которые направлены на создание данного объекта проектирования.

Объектом проектирования в данном случае являются цифровые модели промышленных объектов вторичной переработки нефти. Цифровые модели являются сложными объектами и состоят из множества элементов - технологического оборудования, трубопроводов, приборов КИПиА и т.п.

Объект проектирования характеризуется средой проектирования, варьируемыми параметрами и выходными характеристиками или критериями проектирования.

Модель объекта проектирования позволяет для заданной среды в заданном диапазоне варьирования решать задачу проектирования, то есть рассчитывать и получать выходные характеристики, на которые устанавливаются критериальные ограничения.

Среда проектирования $X = \{X_1, \dots, X_M\}$ включает входные параметры — вид процесса вторичной переработки нефти, виды и состав сырья, габариты цеха, помещения и выходные параметры — показатели производительности, энергоэффективности, экологической безопасности.

Среда проектирования как объект изучения и управления характеризуется набором следующих компонентов (варьируемых параметров): характеристики сырья, реагентов, топлива и энергоресурсов $M = \{M_1, \dots, M_{mn}\}$, набор и виды технологического оборудования $E = \{E_1, \dots, E_{en}\}$, трубопроводов и арматуры $P = \{P_1, \dots, P_{pn}\}$, варианты заданных габаритов производственных площадок и характеристики местности $G = \{G_1, \dots, G_{gn}\}$, правила проектирования $R = \{R_1, \dots, R_{rn}\}$.

Таким образом, необходимо для заданной среды проектирования $X = \{X_1, \dots, X_M\}$ исходя из технического задания на проектирование или реконструкцию $Y_{\text{доп}} = \{Y_1, \dots, Y_L\}$, варьируя параметры $V = \{V_1, \dots, V_N\}$, $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$ из имеющегося информационного обеспечения (базы данных технологического оборудования, трубопроводов, вариантов компоновки), подобрать оптимальное проектное решение по выходным параметрам.

В общем виде вектор варьируемых переменных V включает вектор структур объекта проектирования и вектор параметров: $V_j = \{S_i, A_{ij}\}$, где $i=1, \dots, N$, $j=1, \dots, M$. После ввода всех значений V_j осуществляется оценка характеристик объекта проектирования $Y_j = F(V_j, X)$. Если для данной среды проектирования для данного объекта проектирования все допустимые значения выполняются $Y_j \leq Y_{\text{доп}}$, то формируется проектное решение цифровой модели и ее характеристик, то есть выводятся Y^{opt} и V_j^{opt} . Если данные условия не удовлетворяются, то включается алгоритм поиска оптимальной структуры и характеристик объекта проектирования, то есть осуществляется варьирование характеристик V_{ij} . Данный процесс продолжается до тех пор, пока не будут выполнены условия $Y_j \leq Y_{\text{доп}}$ для всех параметров. Обобщенный алгоритм проектирования цифровой модели процессов вторичной переработки нефти представлен на рис. 1.

Алгоритмы технологического проектирования включают алгоритмы выбора технологического оборудования, необходимого для заданной производительности, энергопотребления, и алгоритмы процессов проектирования, размещения и компоновки оборудования и трубопроводов.

Архитектура компьютерной системы проектирования и анализа цифровых моделей

Промышленный объект проходит несколько последовательных этапов жизненного цикла: проектирование, строительство, эксплуатация, модернизация (реконструкция), демонтаж.

Сконцентрируемся на двух этапах жизненного цикла — проектирование (система проектирования инфор-

*Если посредством чисел и вычислений
можно объяснить мир физический,
то слова могут раскрыть мир
невидимый.*

Чак Паланик

мационных моделей) и строительство (система анализа цифровых моделей) промышленного объекта нефтепереработки. Проектирование и строительство сложных промышленных объектов являются длительными и трудоемкими процессами, от качества которых зависит как экономическая эффективность, так и безопасность эксплуатации объекта. Архитектура системы проектирования и анализа цифровых моделей для проектирования промышленных объектов вторичной переработки нефти приведена на рис. 2.

Система проектирования информационных моделей представляет собой компьютерную систему по формированию информационной 3D модели промышленного объекта и получению проектной документации.

Исходными данными для данной системы является техническое задание на проектирование, которое включает основные характеристики будущего объекта: производительность, качество продукции, ресурсоемкость, энергоэффективность, экологические показатели. Также техническое задание содержит входные параметры среды проектирования — вид процесса вторичной переработки нефти, виды и состав сырья, габариты площадок и т.п.

Выходными данными системы проектирования являются информационная 3D модель промышленного объекта вторичной переработки нефти и проектная документация.

В состав системы входят различные базы данных и функциональные модули: база данных имеющихся проектных решений, база данных технологического оборудования, база данных деталей трубопровода и арматуры, база данных нормативной документации, база данных математических моделей процессов вторичной переработки нефти, модули размещения и компоновки оборудования, трассировки трубопроводов, модуль проверки расчетов и проектных решений.

Каждый модуль представляет собой отдельную достаточно сложную подсистему, имеющую свои входные/выходные данные. Так, модуль поиска оптимального варианта компоновки оборудования основан на анализе множества возможных вариантов размещения оборудования и трассировки трубопроводов, каждый из которых должен быть проверен на соответствие ограничениям математической модели: конструкционные ограничения (предельно допустимые размеры помещения, зоны обслуживания и ремонта, масса и габариты оборудования), технологические ограничения (скорость потока в трубопроводе, время транспортировки, уклон трубопровода).

Система анализа цифровых моделей представляет собой компьютерную систему по контролю за этапами строительства сложного промышленного объекта

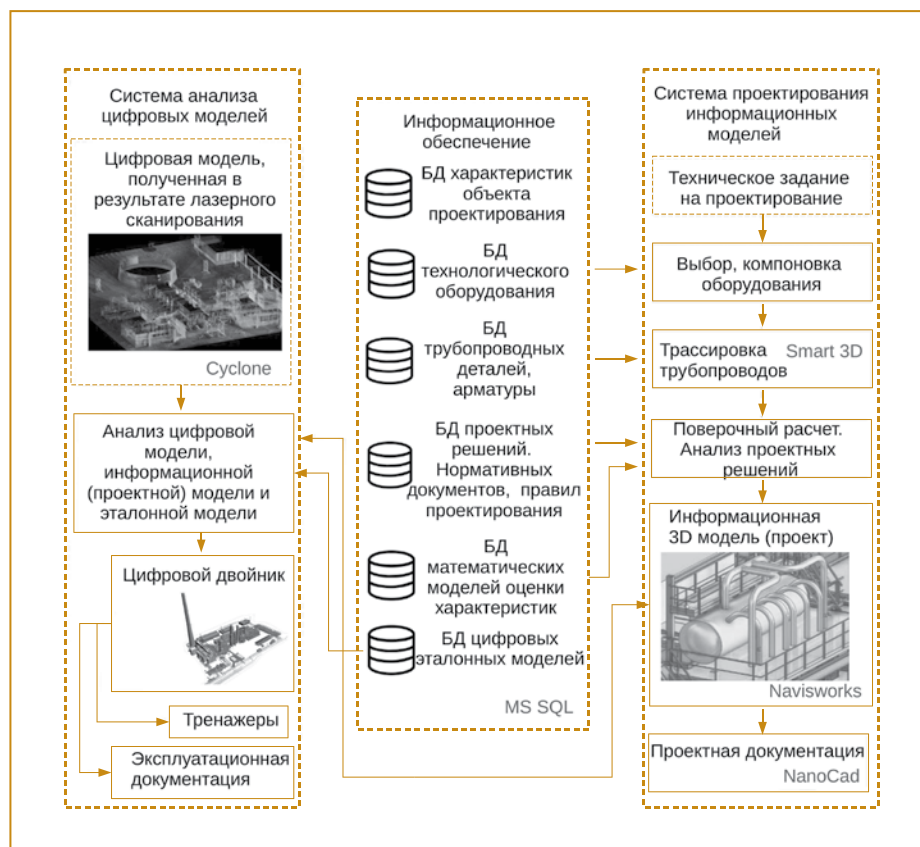


Рис. 2. Архитектура компьютерной системы проектирования и анализа цифровых моделей

и созданию цифрового двойника промышленного объекта вторичной переработки нефти.

Исходными данными для компьютерной системы являются цифровые модели, полученные в результате лазерного сканирования объектов проектирования для каждого из этапов строительства НПЗ, а также цифровые модели аналогичных объектов проектирования НПЗ, полученные из системы проектирования информационных моделей.

Выходными данными системы анализа цифровых моделей является цифровой двойник промышленного объекта вторичной переработки нефти, который в дальнейшем используется для создания компьютерных тренажеров, формирования эксплуатационной документации и графиков ремонта.

Для формирования исходных данных каждый этап строительства сканируется для каждого из этапов проектирования НПЗ. Каждой компанией-производителем наземных лазерных сканеров применяется собственное программное обеспечение, компания Leica использует ПО Cyclone, компания Riegl применяет ПО RISCAN, компания Trimble – ПО PointScape [7].

После получения всех данных производится камеральная обработка данных сканирования специализированным программным обеспечением, используемым для сканирования, либо сторонним, например, таким как PolyWorks от компании InnovMetric. На данном этапе выполняются фильтрация и уравнивание сканов, отсеиваются ошибочные точки, выполняется

прореживание данных. При сканировании и обработке финальное облако точек целиком трансформируется к той же системе координат, что и проектная модель [8].

В результате обработки получается так называемая модель «облака точек», которая накладывается на проектную модель, что позволяет своевременно отслеживать отступление от проекта, норм строительства и принимать необходимые решения о внесении изменений либо в цифровую модель, либо на строительной площадке.

Использование системы анализа позволяет выявить коллизии, ошибки строительства на раннем этапе, снизить риски выхода за пределы графика и бюджета строительства, а также позволяет создать цифровой двойник промышленного объекта.

Комплекс средств компьютерной системы проектирования и анализа цифровых моделей

Комплекс средств компьютерной системы проектируемых объектов включает информационное, математическое, лингвистическое, методическое, техническое, программное обеспечение [9].

Информационное обеспечение компьютерной системы включает в себя базы данных типового технологического оборудования, трубопроводных деталей и арматуры, базы данных характеристик сырья различных поставщиков, нормативных документов на проектирование и эксплуатацию производств вторичной переработки нефти, существующих решений технологического проектирования.

Математическое обеспечение включает математические модели технологических процессов вторичной переработки нефти (крекинг, висбрекинг, гидрокрекинг, риформинг, гидроочистка, изомеризация), математические модели оценки качества продукции, производительности, энергопотребления, стоимости, экологических характеристик.

Лингвистическое обеспечение системы проектирования цифровых моделей включает в себя разработанный язык проектирования виртуальных моделей для размещения и компоновки 3D моделей промышленных производств и их составляющих в заданном пространстве. Основой разработанного графического языка проектирования являются элементы, проектные процедуры и операции к ним. В качестве элементов в программном комплексе выступают интерактивные трехмерные виртуальные геометрические модели. В качестве проектных



Рис. 3. Пример 3D модели установки каталитического крекинга

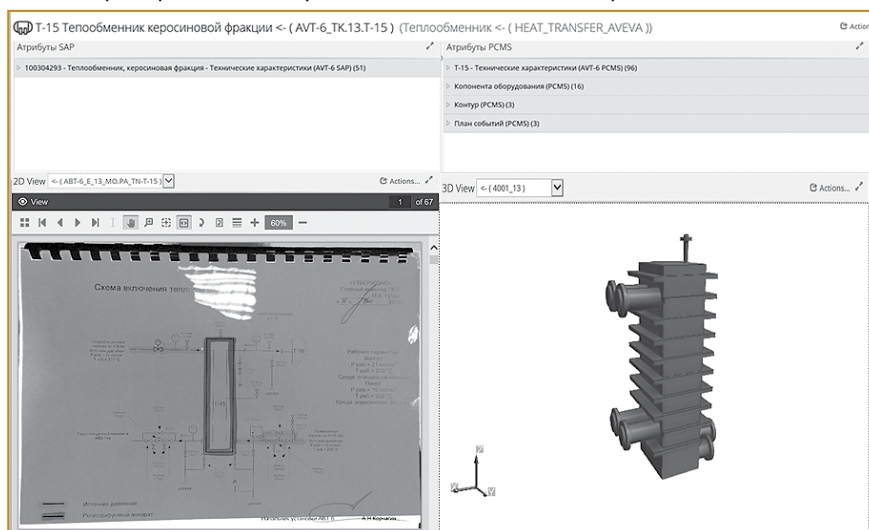


Рис. 4. Пример поиска оборудования в цифровом двойнике

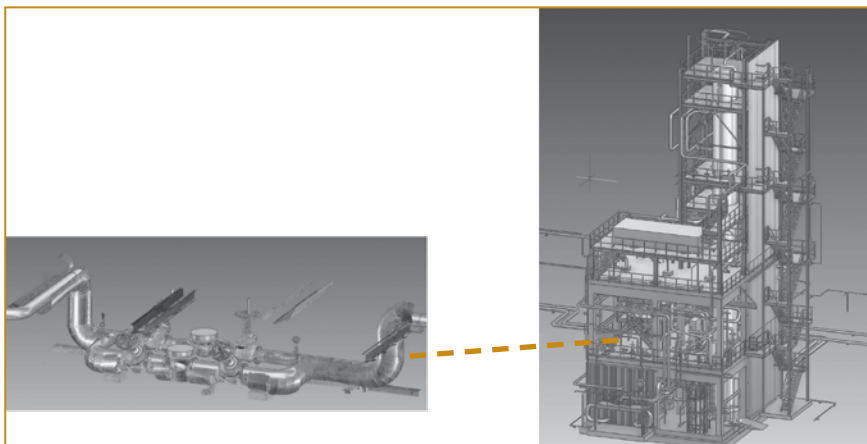


Рис. 5. Актуализация модели по облаку точек

операций и процедур выступают алгоритмы размещения и компоновки виртуальных моделей по заданным правилам в соответствии с выполнением требований к производительности и энергопотреблению [10].

Цифровой двойник отличается наличием привязки каждого объекта к его паспорту, нормативу, техническим характеристикам, так пример поиска теплообменника показан на рис. 4.

Методическое обеспечение представляет собой совокупность документов инструктивно-методического характера для работы с системой, а также необходимые нормативы, стандарты, паспорта для каждого объекта проектирования.

Техническое обеспечение представляет собой комплекс технических средств для автоматизации процесса проектирования. К техническим средствам относятся компьютеры, различные технические устройства, приборы, периферийные средства, которые необходимы для обеспечения процесса проектирования.

Программное обеспечение системы является интегрированным и включает различные среды прикладного программного обеспечения, реализующее различные этапы проектирования — выбор и компоновка технологического оборудования, обвязка трубопроводами, а также реализующее формирование проектного решения, включающего 3D информационную модель и проектную документацию.

Тестирование компьютерной системы проектирования и анализа цифровых моделей промышленных объектов вторичной переработки нефти

Алгоритмы и методы, представленные в статье, были апробированы на примере установки каталитического крекинга Г-43-107 и установки ЭЛОУ-АВТ-6.

Компьютерная система для проектирования информационных моделей протестирована на примере установки каталитического крекинга высокой производительности 2500 тыс. т/год и потребляемой мощности 23 тыс. кВт. Пример 3D модели установки каталитического крекинга приведен на рис. 3.

Компьютерная система анализа цифровых моделей протестирована на примере блока первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ-6, мощностью 6 млн. тонн. Разработан цифровой двойник установки ЭЛОУ-АВТ-6.

Цифровой двойник разработан на базе проектной 3D модели и модели «облака точек», полученной в результате лазерного сканирования. На рис. 5 приведен пример сравнения модели лазерного сканирования (облака точек) с проектной моделью установки ЭЛОУ-АВТ-6.

Заключение

Представленная система проектирования цифровых моделей позволяет решить задачу проектирования нефтехимических предприятий от формирования технического задания до получения информационной модели объекта и последующего выпуска проектной документации.

Система анализа цифровых моделей позволяет обеспечить систематический контроль и выявление отклонений между проектными решениями и тем, как построено на этапе строительства, что в дальнейшем позволяет получить цифрового двойника промышленного объекта.

В результате по завершению строительства проекта получается цифровая модель, которая аккумулирует в себе все исторические данные об объекте, начиная с этапа идеи до реализации.

Список литературы

1. Дозорцев В.М. Цифровая трансформация в нефтепереработке // Мир нефтепродуктов. — 2020. — № 2. — С. 34-41.
2. Дворецкий С.И. Основы проектирования химических производств. Уч. пособие / Дворецкий С.И., Дворецкий Д.С., Кормильцин Г.С., Пахомов А.А. — М.: Изд. дом «Спектр». 2014. — 356 с.
3. Чистякова Т.Б. Применение виртуальной и дополненной реальности для автоматизированного проектирования и управления в нефтехимической и полимерной промышленности / Т.Б. Чистякова, Д.Н. Фураев, А.Н. Полосин, С.В. Заширинский // Автоматизация в промышленности. — 2021. — № 6. — С. 22-29.
4. Дозорцев В.М. Цифровые двойники в промышленности: генезис, состав, терминология, технологии, платформы, перспективы. Ч. 3. Прикладные платформы, практические примеры, прогнозы развития, вызовы // Автоматизация в промышленности. — 2021. — № 1. — С. 3-12.
5. Санкова Л.В. Нефтегазовый комплекс на современном этапе: проблемы и перспективы цифровой трансформации // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. — 2021. — № 1 (29). — С. 97-109.
6. Фролов А. Амурский ГПЗ на пике строительства. Первый газоперерабатывающий завод на Дальнем Востоке станет одним из крупнейших в мире // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. — 2020. — № 4 (100). — С. 108 - 112.
7. Алтынцев М.А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования / М.А. Алтынцев, П.А. Карпик // Вестник СГУГиТ. — 2020. — Т. 25. № 2. — С. 121-139.
8. Соколов Н.С. Организация технического надзора с помощью BIM-технологий при строительстве нефтеперерабатывающего завода / Соколов Н.С., Михайлова С.В. // Евразийский Союз ученых. — 2020. — №. 4 (73). — С. 46 - 48.
9. Норенков И.П. Автоматизированные информационные системы: Уч. пособие / Норенков И.П. — МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 344 с.
10. Чистякова Т.Б. Программный комплекс для проектирования виртуальных моделей инновационных промышленных объектов / Т.Б. Чистякова, Д.Н. Фураев, С.В. Заширинский // Автоматизация в промышленности. — 2018. — № 10. — С. 24 — 28.

Чистякова Тамара Балабековна — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования и управления (САПРиУ) Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (СПбГТИ(ТУ)),

Фураев Дмитрий Николаевич — аспирант кафедры САПРиУ СПбГТИ(ТУ), начальник отдела комплексной поддержки информационных систем АО «ПМП»,

Шишкин Александр Николаевич — руководитель направления по контролю проектирования объектов Московского НПЗ ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ».

Контактный телефон +7 (812) 494-93-54.
E-mail: nov@technolog.edu.ru

В НИУ «МЭИ» откроется первый в России отраслевой Центр компетенций

1 сентября 2021 г. на базе Национального исследовательского университета «МЭИ» состоялось открытие проекта «Оценка и развитие управленческих компетенций в российских образовательных организациях». Центр компетенций НИУ «МЭИ» станет первым пилотным отраслевым центром компетенций в России.

Центры оценки компетенций — место встречи студентов, работодателей и региональной власти, которая зачастую решает свои кадровые вопросы на базе университетов. В Центре студенты и недавние выпускники будут проходить тестирование по оценке своих надпрофессиональных и деловых навыков. По итогам диагностики будет построен профиль каждого студента, на основе этого Центры компетенций предложат обучающимся формирование личных образовательных траекторий и помогут подобрать необходимые образовательные программы.

Спрос на такие Центры связан с тем, что стандарты высшего образования и, соответственно, образовательные программы вузов в первую очередь предполагают усвоение профессиональных знаний, умений и навыков. А вот с надпрофессиональными компетенциями все немного сложнее, особенно в части их оценки, развития и фиксации.

При этом многие работодатели четко формируют свой запрос к системе образования — на выходе из университетов молодые специалисты должны обладать набором важных компетенций, например, планированием и организацией, ориентацией на результат, лидерскими качествами и т.д. Одновременно с этим и многие студенты признают, что им на старте карьеры не хватает именно надпрофессиональных или управленческих компетенций, особенно в части их практического применения.

В первый год деятельности проект охватит 16 регионов, а тестирование личностных и когнитивных способностей пройдут 150 тыс. студентов. В 2021 г. в проекте будут задействованы 80 компаний и 10 базовых оценочных инструментов.

Экспертный совет проекта «Оценка и развитие управленческих компетенций в российских образовательных организациях» возглавляют Министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков, президент Российской академии наук Александр Сергеев и генеральный директор АНО «Россия — страна возможностей» Алексей Комиссаров.

[Http://mpei.ru](http://mpei.ru)