

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

Т.Б. Чистякова (СПбГТИ(ТУ)),

Д.Н. Фураев (АО «ПМП»), С.В. Защирицкий (СПбГТИ(ТУ))

Отмечено, что на современном этапе развития информационных технологий наблюдается тенденция перехода на электронный документооборот при проектировании сложных промышленных объектов. При этом на сегодняшний день проектирование и моделирование уже не представляется без использования современных трехмерных информационных технологий. Приведен пример проекта формирования 3-D модели новой установки изомеризации, созданной с применением различных САПР. Показано, что следующим шагом в развитии трехмерного проектирования является использование в проекте средств виртуальной и дополненной реальности.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, 3D-моделирование, виртуальные модели, сложные промышленные объекты, дополненная реальность, виртуальная реальность.

В настоящее время в глобальной производственной конкуренции произошло смещение «центра тяжести» на этап проектирования. За счет применения новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования стало возможным уйти от традиционной ситуации, когда внесение изменений в проект и, соответственно, возрастающие затраты на эти изменения распределяются на протяжении всего жизненного цикла проекта (от стадии проектирования до начала производства). Пришло понимание того, что основную долю изменений необходимо сосредоточить на стадии проектирования и тем самым значительно минимизировать общий объем затрат [1].

САПР представляют собой сложную структуру, основанную на аппаратном, программном и человеко-машинном взаимодействиях, построенную по иерархическому принципу так, что каждый уровень отражает определенный этап проектирования. Современные САПР прошли большой путь развития от небольших графических редакторов, которые были предназначены в основном для компьютерной подготовки проектной документации, до мощных систем, которые автоматизируют практически все процессы, связанные с проектированием сложных промышленных объектов [2].

В общем случае САПР имеет следующие виды обеспечения: программное, информационное, методическое, математическое, лингвистическое, техническое и организационное.

Современные САПР позволяют организовать распределенный доступ к данным (рис. 1). Использование централизованного сервера повышает доступность и своевременность предоставления информации, исключает искажение или дублирование данных при одновременном доступе к системе или

базе данных нескольких пользователей, позволяет контролировать права доступа к информации и организовать ее резервное копирование.

Сегодня наблюдается тенденция к организации безбумажного информационного взаимодействия между всеми участниками проекта, то есть создание единой информационной среды, в которой хранится и проектируется в режиме реального времени модель установки, а также вся документация от технического задания до выходной документации, через которую осуществляется контроль и изменение всего проекта [3].

При этом на сегодняшний день проектирование и моделирование уже не представляется без использования современных трехмерных информационных технологий. Системы трехмерного проектирования, например, AVEVA PDMS, Intergraph Smart 3D, Bentley AutoPLANT позволяют создать полноценную 3D-модель сложных промышленных установок в области газопереработки, нефтепереработки и нефтехимии, которая легко проверяется на соответствие правилам проектирования и монтажа, и предоставляют возможность настроить получение выходной документации (спецификации материалов и оборудования, изометрические и 2D-чертежи)

Основные возможности САПР (Intergraph Smart 3D, AVEVA PDMS, Bentley AutoPLANT)

- 1) 3D-моделирование сложных промышленных установок с подробной детализацией, а также моделирование судов и платформ.
- 2) Автоматизированное получение изометрических и монтажных чертежей, текстовой документации.
- 3) Ведение и поддержка единого каталога элементов.
- 4) Поиск коллизий и контроль изменений.
- 5) Поддержка широкого диапазона форматов обмена данными со смежными САПР и расчетными программами.

6) Поддержка данных лазерного сканирования.

7) Возможность разрабатывать приложения в дополнение к стандартной функциональности систем, используя технологию .Net или встроенный язык программирования.



Рис. 1. Сетевая структура САПР

8) Возможность консолидировать проектные данные различных платформ трехмерного проектирования в единую информационную 3D модель (каждая компания предоставляет собственное решение).

Рассмотрим пример комплексного использования всех этих систем при выполнении проектирования установки изомеризации.

### Формирование 3D модели новой установки изомеризации

Проектный институт ЗАО «ПМП» — одна из ведущих на российском рынке инжиниринговых компаний в сфере проектирования новых и модернизации существующих объектов химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и газовой отрасли. Компания получила заказ на проектирование новой установки изомеризации, включающий требование предоставить заказчику единую атрибутивную модель установки.

Проектирование установки осуществлялось с применением различных САПР и на разных платформах. Bentley AutoPlant 3D и Intergraph Smart 3D использовались для проектирования монтажно-технологической части и вентиляции, Autodesk Revit Structure — для архитектурно-строительной части, AutoCAD Civil 3D — для проектирования объектов инфраструктуры, 3D-инструменты AutoCAD — для проектирования электрических систем, Autodesk Inventor — для моделирования оборудования. Субподрядная организация выполняла свою часть проекта в следующих САПР: AVEVA PDMS — технологическая часть и Tekla Structures — строительная часть [4].

Такое разнообразие систем и платформ проектирования поставило серьезную задачу по настройке передачи данных между разными САПР и формированию консолидированной модели данных. Созданные на определенном уровне иерархии проектирования модели отвечают конкретным техническим требованиям соответствующей дисциплины и содержат необходимый объем атрибутивной информации. Оценить правильность принятых инженерных решений и выявить междисциплинарные коллизии можно только при интеграции результатов поэтапного моделирования в консолидированную трехмерную модель. Таким образом, консолидированная модель должна максимально передавать графическую часть моделирования и атрибутивную информацию.

Каждая модель, разработанная в определенной системе проектирования, при необходимости должна легко передаваться в другую САПР, то есть должен быть налажен импорт-экспорт моделей из различных систем. В решении этой задачи специалисты ЗАО «ПМП» добились определенных успехов. Так, если трубопроводы прокладываются в Smart 3D, то строительная часть, которая моделируется в Revit Structure, может быть полностью подгружена в модель Smart 3D в качестве ссылок (Reference 3D) и, наоборот. Смоделированное в Autodesk Inventor оборудование в полном объеме загружается в Smart 3D. Данному оборудованию можно назначить дополнительную атрибутивную информацию, переопределить фланцы, патрубки [4].

В ходе проектирования ГИП и главные специалисты контролируют процесс моделирования и принятые инженерные решения. Просматривать единую 3D-модель лучше в программе, не привязанной к конкретной системе, чтобы не приобретать дополнительную лицензию. Большинство САПР включают систему визуализации трехмерной модели (платные и бесплатные).

Оценив экономическую составляющую, специалисты ЗАО «ПМП» приняли решение использовать на этом этапе продукты Autodesk: для просмотра трехмерной модели — Autodesk Navisworks Freedom, а для объединения единой трехмерной BIM-модели и проверки ее на коллизии — Autodesk Navisworks Manage. Бесплатная версия Navisworks Freedom открывает модели собственного формата NWD и позволяет просмотреть иерархию модели, атрибуты каждого элемента, предоставляет различные средства навигации, позволяет отображать только необходимые части модели. Navisworks Manage поддерживает множество различных форматов файлов (DWG, DGN, IPT, RVT, RVM и т.д.), что позволяет собрать консолидированную модель, используя модели, выгруженные из разных САПР в собственных форматах [4].

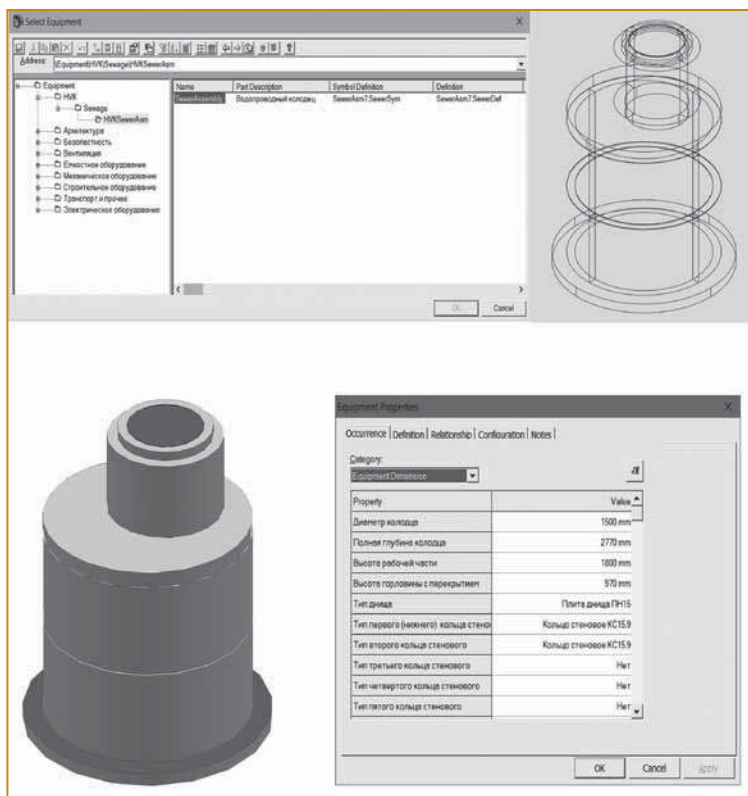


Рис. 2. Автоматизированная сборка колодца в Smart 3D

*Жизненный цикл прекрасен, когда  
творишь его сам.*  
Ремейк по фразе Софи Марсо

Navisworks Manage поддерживает интерфейс API, что позволяет разработать дополнительные надстройки для корректного отображения дерева объединенной модели, необходимых атрибутов во вкладке свойств объекта, раскраски трехмерной модели под соответствующие стандарты заказчика.

**Пример доработки функциональности стандартного модуля по моделированию раздела НВК**

Современные САПР характеризуются широкой универсальной функциональностью, которую необходимо настраивать под требования и правила работы каждой компании. Поэтому современные САПР предоставляют возможность разрабатывать приложения в дополнение к стандартной конфигурации систем, используя технологию .NET, интерфейсы API или встроенные языки программирования.

Рассмотрим небольшой пример доработки функциональности стандартного модуля по моделированию раздела «наружный водопровод и канализация» (НВК), который имел место в ходе проектирования установки изомеризации. Задание было инициировано самими пользователями САПР.

При проектировании раздела НВК большим объемом занимают колодцы, при этом каждый из них имеет свою детализировку. И в 3D-модели каждый колодец должен иметь не только соответствующие габариты, но и желательно ту же детализировку.

Способ моделирования таких колодцев в стандартной поставке Smart 3D: каждый новый колодец пользователь моделирует заново как оборудование, используя для этого геометрические примитивы Shape, при этом указывая необходимую атрибутивную информацию. Такой способ является трудоемким, требует много времени и является малоэффективным для получения дальнейшей документации.

Для решения данной задачи было разработано собственное решение, используя API, которое позволяет «собрать» необходимый колодец, учитывая полностью его детализировку вплоть до люка и высоты кирпичной кладки. При этом каждый элемент колодца: днище, рабочая часть, плита перекрытия, горловина, стремянка соответствует ГОСТ или чертежам. Пример работы приложения приведен на рис. 2.

Данное решение экономит время проектировщика при моделировании колодцев НВК, гарантирует их полное соответствие документации и в дальнейшем позволяет получить необходимую документацию.

**Результаты проекта**

В ходе выполнения проекта модели из различных САПР — Intergraph Smart 3D, Bentley AutoPlant 3D, Autodesk Revit Structure, Autodesk Inventor, AutoCAD Civil 3D, AVEVA PDMS и Tekla Structures — были объединены в единую атрибутивную трехмерную модель с помощью Autodesk Navisworks Manage, используя возможности, предоставленные системой, и собственные надстройки (API).

В будущем проектная, строительная или любая другая организация в ситуации выбора и под влиянием схожих факторов (необходимость экономии) может использовать комплексную модель, построенную с помощью Autodesk Navisworks Freedom, для решения большого круга задач (включая анализ коллизий между составными 3D-моделями). Такой вариант позволяет обеспечить доступ к ней ГИПов, сметчиков, экспертов и т.п. и не задумываться о том, в какой САПР модель была создана [4].

**Трехмерные виртуальные модели инновационных промышленных производств**

В настоящее время при проектировании крупных промышленных объектов наиболее часто применяется ПО западных разработчиков. Для исправления ситуации в России взято направление на развитие собственных передовых производственных технологий — современная версия промышленной политики, направленная на создание в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной и кастомизированной продукции нового поколения, на импортозамещение и импортоопережение высокотехнологичной продукции.

В ведущих университетах ведется работа по следующим направлениям [5].

1. Цифровое проектирование и моделирование — технологии компьютерного проектирования, инжиниринга и оптимизации, включая проектирование на основе принципов бионического дизайна; суперкомпьютерные технологии, технологии управления жизненным циклом изделий.

2. Технологии организации и управления производством — автоматизированные системы управления технологическими процессами, системы оперативного управления производственными процессами на уровне цеха, технологии сбора, хранения, управления и анализа данных.

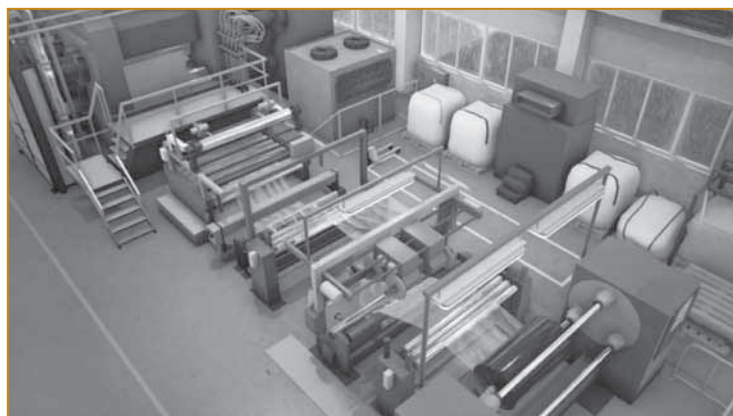


Рис. 3. Виртуальная модель каландровой линии производства полимерных материалов (Россия)

**Заключение**

Таким образом, при проектировании сложных промышленных объектов на современном этапе развития информационных технологий наблюдается тенденция цифровизации и визуализации данных, что соответствует требованиям, предъявляемым к цифровым фабрикам и технологиям Industry 4.0. Основным инструментом визуализации является 3D-модель проектируемого объекта (изделия), которая создается в результате интеграции данных, получаемых от различных сред проектирования.

Следующим эффективным инструментом визуализации знаний при проектировании станут средства виртуальной и дополненной реальности. Подтверждением этому являются уже реализованные проекты на отечественных и зарубежных предприятиях.

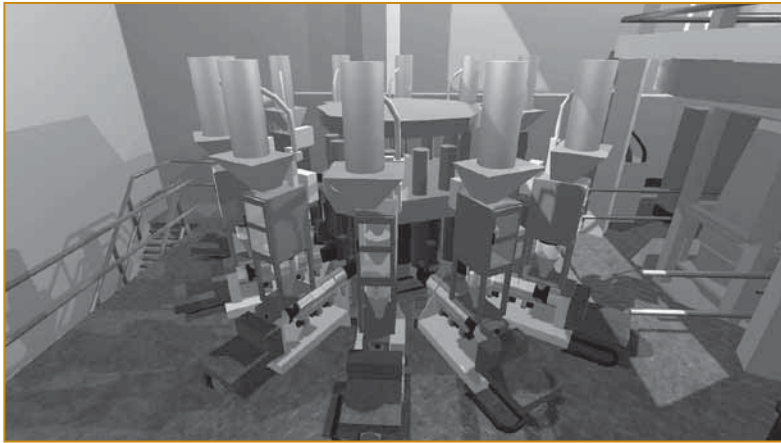


Рис. 4. Виртуальная модель экструзионной линии по производству многослойных полимерных пленок (Германия)

3. Цифровое производство: аддитивные и гибридные технологии; робототехнические комплексы.

Так, специалисты Санкт-Петербургского государственного технологического института принимают участие в разработке программного комплекса для проектирования трехмерных виртуальных моделей инновационных промышленных производств, в частности, производства полимерных материалов [6, 7]. Вследствие неполноты информации об объекте операторы производства полимерных материалов вынуждены принимать решения по управлению промышленной установкой на основе субъективной визуальной оценки качества выходной продукции, исходя из собственного опыта и экспериментально подобранного регламента. Помочь операторам в работе призван программный комплекс для проектирования виртуальных моделей с применением средств виртуальной и дополненной реальности.

В ходе выполнения проекта решена актуальная задача проектирования виртуальных моделей промышленных производств полимерных пленок, настраиваемых на различные типы сырья, производственного оборудования и помещений, включающая возможность расчета энергопотребления и производительности, а также возможность поверочного расчета создаваемой конфигурации производства по заданным критериям. Комплекс протестирован на примере проектирования виртуальных моделей производств полимерных материалов в России (Klöckner Pentaplast) и Германии (Maria Soell, Mondi, Klöckner Pentaplast) и внедрен в системы управления и проектирования на этих производствах (рис. 3, 4).

**Список литературы**

1. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В., Марусева В.М., Кулемин В.Ю. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника. 2018. № 1. С. 6-33.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001. 336 с.
3. Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. № 2. С. 252- 254.
4. Фураев Д.Н. Формирование комплексной BIM-модели сложных промышленных объектов. Опыт компании ЗАО «ПМП» // САПР и Графика. — 2016. №2. С. 24-27.
5. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Перспективные направления развития передовых производственных технологий в России // XVII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества. В четырех книгах. Книга 3. Отв. ред. Е. Ясин. М.: НИУ ВШЭ, 2017. С. 381-389.
6. Иванов А.Б., Чистякова Т.Б., Колерт К. Система автоматизированного проектирования трехмерной геометрической модели перенастраиваемого производства полимерных пленок // Информационные технологии. 2005. № 12. С. 5.
7. Чистякова Т.Б., Иванов А.Б., Защиринский С.В., Теребунская А.С., Шепелев А.С. Автоматизированное проектирование виртуальных моделей перенастраиваемых промышленных производств полимерных пленок // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта. Тр. 16-й международной конференции. ИПУ РАН. 2016. С. 250-251.

**Чистякова Тамара Балабековна** — д-р техн. наук, проф., заведующая кафедрой САПРиУ, **Защиринский Степан Владимирович** — аспирант Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

**Фураев Дмитрий Николаевич** — главный специалист АО «ПМП». Контактный телефон +7 (812) 494-93-54. E-mail: nov@technolog.edu.ru