

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. Защиринский (СПбГТИ(ТУ))

Представлены модели виртуальной и дополненной реальности, применяемые для проектирования, строительства, реконструкции и модернизации инновационных высокотехнологичных объектов нефтехимии, нефтепереработки и переработки полимеров. На базе моделей виртуальной и дополненной реальности разработаны проблемно-ориентированные программные комплексы для обучения ресурсосберегающему проектированию и управлению сложными производственными агрегатами и системами нефтехимической и полимерной промышленности. Применение виртуальных моделей позволяет сократить время и трудоемкость проектирования, повысить качество проектных решений, своевременно устранить ошибки, допущенные при проектировании и строительстве, способствует продвижению инновационных решений в области многоассортиментных производств нефтепродуктов и полимерных материалов на отечественном и международном рынке.

Ключевые слова: виртуальные модели, виртуальные модели в дополненной реальности, обучающие программные комплексы, автоматизированное проектирование, автоматизированное управление, производства нефтепродуктов, производства полимерных материалов.

Введение

Промышленные объекты современной нефтехимии, нефтепереработки и переработки полимеров являются крупнотоннажными, энергоемкими, многоассортиментными, многостадийными, характеризуются массивами информации больших объемов, отличаются многофакторными взаимодействиями и связями, возникающими по ходу технологических процессов, а также наличием изменяющихся составов сырья. Сложность производств данных классов обусловлена разнородностью физико-химических процессов переработки сырья и промежуточных продуктов на основных стадиях, многообразием применяемого оборудования, частыми перенастройками на новые типы целевой продукции, большим числом контролируемых технологических параметров, жесткими требованиями к качеству продукции и экологическим характеристикам производственной системы [1]. Например, экструзионно-каландровое производство упаковочных полимерных пленок для фармацевтической и пищевой промышленности характеризуется более чем 100 параметрами сырья, оборудования, технологического режима, продукции и 800 взаимосвязями между ними. Инновационный характер таких производств обусловлен их постоянной модернизацией за счет разработки и внедрения комплексных наукоемких технологических решений, ориентированных на потребителей и связанных с использованием новых типов сырья, совершенствованием рецептур продукции, конфигураций и элементов оборудования, переработкой отходов и возвратом их в виде вторичного сырья в производственный процесс. Это позволяет увеличить рентабельность и конкурентоспособность производства за счет обеспечения ресурсосбережения, повышения оперативности реагирования на изменения потребностей рынка, роста прибыли вследствие увеличения цены продукции, имеющей уникальные потребительские характеристики. В то же время существенно повышается сложность проектирования и строительства производственных систем, а также

принятия управленческих решений для обеспечения ими заданного качества инновационной продукции при выполнении требований к производительности и энергопотреблению производства. Поэтому основным трендом развития отечественных и международных инновационных производств нефтепродуктов и полимерных материалов в рамках концепции цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности для создания экосистемы цифровой экономики является разработка и внедрение проблемно-ориентированных компьютерных систем, реализуемых на базе перспективных сквозных цифровых технологий. К последним относятся технологии виртуальной и дополненной реальности, являющиеся эффективным цифровым инструментом для создания информационных трехмерных (3D) моделей сложных промышленных объектов.

Информационные 3D модели применяются:

1) при проектировании новых промышленных объектов, что способствует сокращению, упрощению и удешевлению цикла проектирования и повышению качества проектирования;

2) при строительстве новых промышленных объектов, что позволяет исключить возникновение нестандартных ситуаций, связанных с отклонениями 3D модели строящегося объекта, полученной путем его лазерного сканирования, от «эталонной» 3D модели, разработанной проектной организацией;

3) при реконструкции и модернизации действующих промышленных объектов, что дает объективное представление о текущей структуре объекта (местоположении оборудования, трубопроводов, технических средств автоматизации и др.) при отсутствии проектной документации или ее несоответствии действительности;

4) при обучении производственного персонала структурно-параметрическому синтезу и управлению производственными агрегатами с перенастраиваемыми конфигурациями, что приводит к сокращению времени и затрат дорогостоящих материальных ресурсов (сырья, электроэнергии) на поиск

рациональных конфигураций и режимов работы оборудования, обеспечивающих требуемые показатели качества продукции при заданной производительности и соблюдении ограничения на энергопотребление оборудования;

5) при создании мультимедийных презентаций и демонстрации современных высокотехнологичных производств на крупных отечественных и международных выставках, что способствует их продвижению на рынке;

6) при проведении виртуальных экскурсий по производству, в том числе в онлайн режиме, что расширяет охват целевой аудитории (потенциальных потребителей продукции, инвесторов).

В зависимости от области применения информационная 3D модель содержит огромную информацию о промышленном объекте:

1) геометрические характеристики объекта (большинство моделей выполняется в масштабе 1:1 с полной детализацией всех элементов объекта и связей между ними);

2) физические характеристики объекта (типы материалов, масса, технологические параметры);

3) информационные характеристики объекта (ссылки на нормативную документацию, артикул) [2].

Прикладные научные исследования и разработки, выполнявшиеся авторами совместно с ведущими отечественными и международными проектными компаниями и промышленными предприятиями на протяжении более 15 лет, позволили накопить большой опыт разработки моделей виртуальной и дополненной реальности для объектов нефтехимической и полимерной индустрии. Эти модели применяются для автоматизированного проектирования производственных объектов и систем (установок, заводов), мониторинга и контроля строительно-монтажных работ, обучения автоматизированному проектированию и управлению сложными производственными агрегатами и системами.

Применение виртуальных моделей при проектировании и строительстве нефтехимических промышленных объектов

Все современные крупные промышленные комплексы проектируются и строятся при использовании виртуальных 3D моделей [3–5]. Доказано, что создание 3D моделей позволяет повысить скорость и качество проектирования и строительства сложных промышленных объектов. Экономический эффект от использования виртуальных моделей на стадии проектирования составляет 20–30 %.

Виртуальная модель промышленного объекта позволяет в автоматизированном режиме сформировать необходимую документацию (чертежи, отчеты), выполнить анализ проекта, смоделировать график выполнения работ, отработать будущие процессы обслуживания и действия при возникновении нестандартных ситуаций.

Основные преимущества проектирования с использованием виртуальных моделей:

1) полная детализация промышленных объектов в масштабе 1:1;

2) возможность одновременной работы специалистов различных дисциплин над 3D моделью, а также возможность удаленного доступа для представителей подрядных организаций или заказчика;

3) своевременная передача данных между всеми участниками проекта;

4) возможность удаленной и географически распределенной работы над проектом;

5) получение качественной проектной документации в автоматизированном режиме;

6) обнаружение коллизий в режиме проектирования;

7) возможность консолидировать проектные данные различных платформ 3D проектирования в единую информационную 3D модель;

8) возможность передачи данных в различные CAD/CAM/CAE-системы;

9) быстрое внесение изменений.

Авторы решали задачи проектирования установок вторичной переработки нефти с применением современных систем автоматизированного проектирования и разработанной компьютерной системы [6]. Пример спроектированной виртуальной 3D модели установки каталитического крекинга приведен на рис. 1. Модель содержит все части проекта: оборудование, трубопроводы, опоры трубопроводов, строительные конструкции, кабельные короба и оборудование, системы контроля и автоматики, системы отопления и вентиляции. Модель позволила своевременно обнаружить коллизии между смежными



Рис. 1. Виртуальная 3D модель установки каталитического крекинга

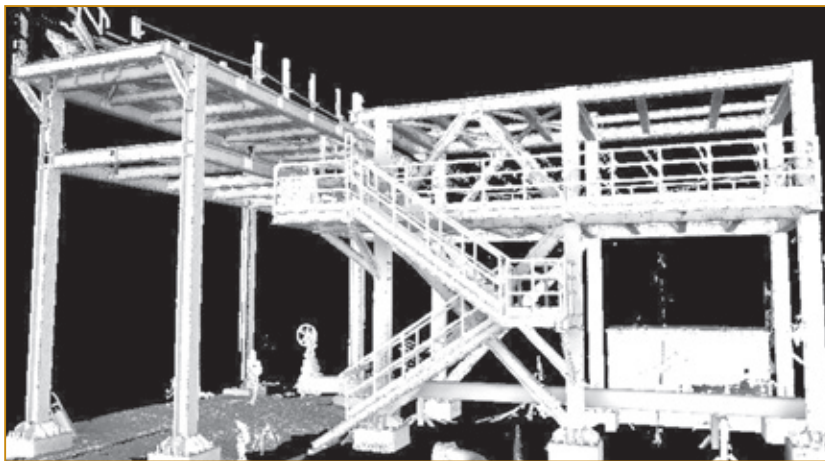


Рис. 2. Модель «облако точек», полученная в результате лазерного сканирования установки

ми специальностями и возможные препятствия для доступа производственного персонала, что позволило сэкономить значительные ресурсы, не доводя проектные ошибки до строительной площадки.

С помощью виртуальных 3D моделей решались задачи мониторинга и контроля стадии строительства при использовании технологий лазерного сканирования. Каждый этап строительства сканировался, и полученная по «облаку точек» 3D модель строящейся установки накладывалась на «эталонную» модель установки, что позволило обеспечить точность строительства и зафиксировать все вынужденные изменения. На рис. 2 приведен пример модели облака точек.

Очень часто на практике при реконструкции и модернизации действующего производства оказывается, что чертежи, по которым в свое время была построена установка, не соответствуют тому «как построено», либо утеряны, либо информация на них искажена и не доступна для корректной работы, зачастую отметки, некоторые размеры и даже местоположение оборудования не соответствуют действительности. В этом случае также применяются технологии лазерного сканирования, которые позволяют создать 3D модель промышленного объекта, используемую в качестве основы для проектирования модели реконструированного и модернизированного объекта. В настоящее время практически все системы 3D проектирования предоставляют возможность отображать и адаптировать результаты лазерного сканирования реконструируемых и модернизируемых установок в 3D графической среде проектирования вместе с 3D моделью нового оборудования и трубопроводов.

Применение виртуальных моделей при обучении проектированию нефтехимических производств

Сложность проектирования нефтехимических производств обусловлена широким ассортиментом нефтепродуктов, многообразием физико-химичес-

ких процессов, протекающих на стадиях, высокой стоимостью применяемых катализаторов, разнообразием видов оборудования и сложностью его размещения и компоновки, многочисленными технологическими связями, сложными механизмами химических реакций, ограничениями, накладываемыми характеристиками местности и доступностью ресурсов, строгими требованиями к качеству нефтепродуктов и экологическим показателям производства. При этом имеется большое число проектных решений для отдельных процессов вторичной переработки нефти (каталитического крекинга, каталитического риформинга, гидроочистки,

изомеризации и др.), которые могут быть интегрированы в единую систему проектирования. Для обучения персонала сложных промышленных объектов применяются компьютерные тренажеры, создаваемые на основе информационных 3D моделей и математических моделей объектов с применением технологий виртуальной и дополненной реальности [7, 8]. Это позволяет реализовать идею создания программного комплекса, позволяющего на базе существующих проектных решений, виртуальных 3D моделей и математических моделей решать задачи обучения ресурсосберегающему проектированию сложных промышленных процессов нефтепереработки различных типов.

На рис. 3 представлена функциональная структура обучающего программного комплекса. Комплекс осуществляет поддержку принятия проектных решений по размещению и компоновке оборудования, трассировке трубопроводов, визуализацию элементов информационной 3D модели и их атрибутов, имитационное моделирование физико-химических процессов для поиска рациональных технологических режимов, обеспечивающих заданное качество нефтепродуктов при соблюдении требований к производительности и энергопотреблению производства [9]. Информационное обеспечение программного комплекса включает базу данных (БД) характеристик типового технологического оборудования, трубопроводных деталей и арматуры, БД технологических схем, БД нормативных документов на проектирование и эксплуатацию, БД сформированных проектных решений. Базы данных являются дополняемыми (через интерфейс администратора) и позволяют настраивать комплекс на различные модификации структуры и параметров объектов проектирования. Для поверочного расчета реализована библиотека математических моделей технологических процессов нефте-переработки, позволяющих рассчитать производительность, энергопотребление установок, показатели качества нефтепродуктов в зависимости от геометрических параметров оборудования, параметров

физико-химических свойств сырья и режимных параметров процессов. На основе принятых проектных решений комплекс формирует проектные документы. Программный комплекс взаимодействует с пользователями трех категорий: проектировщиком (обучающимся), преподавателем (инструктором), администратором, для которых разработаны соответствующие эргономичные интерфейсы. Преподаватель формирует различные сценарии обучения, включающие тестовые задания для оценки знаний обучающегося по процессам, оборудованию нефтепереработки и стандартам проектирования, а также задания на проектирование конкретных нефтеперерабатывающих установок. Обучающийся проходит компьютерное тестирование знаний, при положительном результате которого он выполняет задание на проектирование – осуществляет операции выбора, размещения, компоновки оборудования и трассировки трубопроводов установки, в результате которых формируется информационная 3D модель объекта проектирования, и с использованием математических моделей определяет рациональный режим работы установки по требованиям к качеству нефтепродуктов, производительности, энергопотреблению. Результаты структурно-параметрического синтеза объекта фиксируются в протоколе обучения, анализ которого позволяет преподавателю сделать вывод об уровне сформированности профессиональной компетенции по компьютерному проектированию технологических процессов нефтепереработки у обучающегося.

Учитывая сложность решаемых задач, программное обеспечение комплекса, реализующего поддержку этапов проектирования объектов нефтехимической промышленности, является интегрированным и включает различные прикладные программные среды (CAD-система Intergraph Smart 3D, CAE-система HYSYS и др.).

Модели виртуальной и дополненной реальности для проектирования и управления производственными агрегатами и системами по выпуску многоассортиментных полимерных материалов

Основными методами производства высокотехнологичных полимерных материалов (пленок, листов) для упаковки лекарственных препаратов и пищевых продуктов являются плоскощелевая и раздувная экструзия, а также каландрование. Вне зависимости от метода производства ключевую роль с точки зрения обеспечения требуемых потребительских характеристик полимерного материала играет экструзионный процесс, предназначенный для превращения (путем нагрева, плавления, перемешивания) непрерывно подаваемой сыпучей полимерной композиции в гомогенную вязкотекучую массу (экструдат), которая в дальнейшем формируется в пленку или лист. Широкий ассортимент полимерных материалов и различные методы их производства приводят к многообразию аппаратного оформления экструзионных процессов, для реализации которых применяются экструдеры различных типов

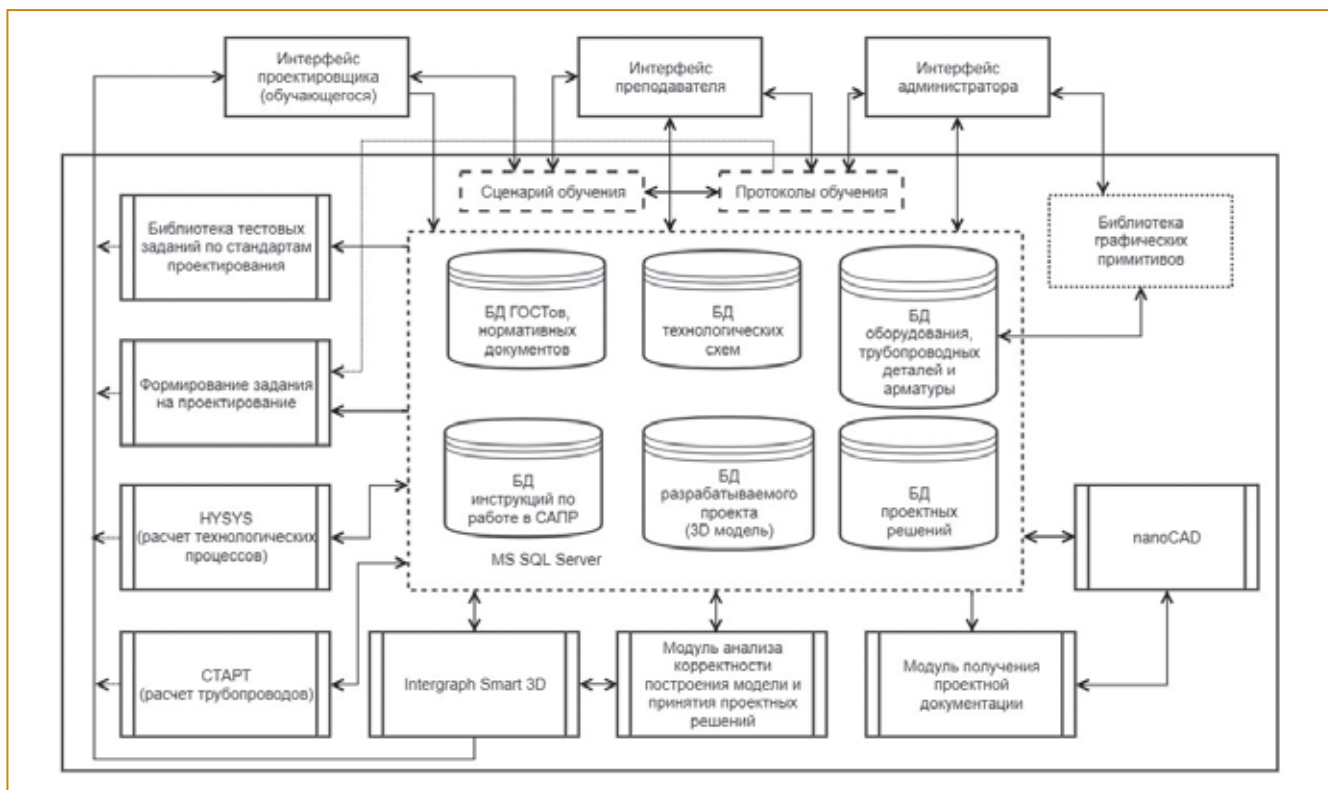


Рис. 3. Структура программного комплекса для обучения проектированию нефтехимических производств

(одношнековые, осциллирующие, двухшнековые с односторонним и встречным вращением шнеков), отличающиеся аппаратной гибкостью (переменностью конфигураций шнеков, составляемых из элементов разных типов). По данным производителей, причинами возникновения до 20% дефектов полимерных материалов являются нерациональная конфигурация шнека/шнеков экструдера и/или режим экструзии при перенастройке производства на новый тип материала, производительность. Нарушения экструзионного процесса приводят к наименее приемлемым для потребителей дефектам — черным точкам и желто-коричневым деструкционным полосам (вследствие перегрева и разложения полимера в экструдере), включениям нерасплавленного полимера (из-за неполного плавления в экструдере), материальной неоднородности, например, неравномерности окраски цветного материала (вследствие недостаточной интенсивности перемешивания расплава в экструдере). Поэтому разработана система компьютерного моделирования экструзионных процессов, учитывающая аппаратную гибкость и конструктивно-кинематические особенности экструдеров различных типов и позволяющая решать задачи как структурного синтеза (формирования конфигурации шнека/шнеков экструдера), так и параметрического синтеза (определения режима экструзии) для обеспечения качества получаемого экструдата, гарантирующего выполнение требований к потребительским характеристикам полимерного материала.

Структурно-параметрический синтез с использованием системы моделирования реализуется в виде двухэтапного алгоритма. Во внешнем цикле выбирается (в зависимости от метода производства и типа полимерного материала, требований

к производительности и энергопотреблению) марка экструдера, определяемая его типом, диаметром и длиной его шнека/шнеков, типом экструзионной головки, и формируется конфигурация шнека/шнеков экструдера. Во внутреннем цикле осуществляется поиск режимных параметров экструдера со шнеком/шнеками данной конфигурации, обеспечивающих требуемое качество экструдата и производительность экструдера. Если требования к выходным параметрам не выполняются, формируется новая конфигурация.

Модели для синтеза экструзионных процессов являются гибридными и включают виртуальные 3D модели элементов шнеков различных типов, на основе которых осуществляется сборка 3D моделей шнеков разных конфигураций, и математические модели, описывающие физические процессы в каналах элементов шнеков (рис. 4). Для сборки 3D моделей шнеков разработан язык проектирования, реализованный в виде конструктора виртуальных моделей, элементами которого являются 3D модели элементов шнеков, а операциями, выполняемыми над ними, — выбор, размещение, перемещение, удаление. Элементы шнеков различных типов отличаются геометрическими параметрами (числом заходов нарезки, числом осевых прорезей в витках нарезки, толщиной витков и др.), что приводит к различной транспортной и смесительной способности. На рис. 4 представлены 3D модели типовых элементов шнеков осциллирующих экструдеров, наиболее часто применяемых в качестве смесителей-пластикаторов в каландровых производствах полимерных пленок: SC-элемент, имеющий непрерывную нарезку; EZ-элемент (транспортный элемент), имеющий однозаходную нарезку с одной прорезью; KE-элемент (смесительный элемент), имеющий двухзаходную нарезку с тремя прорезями;

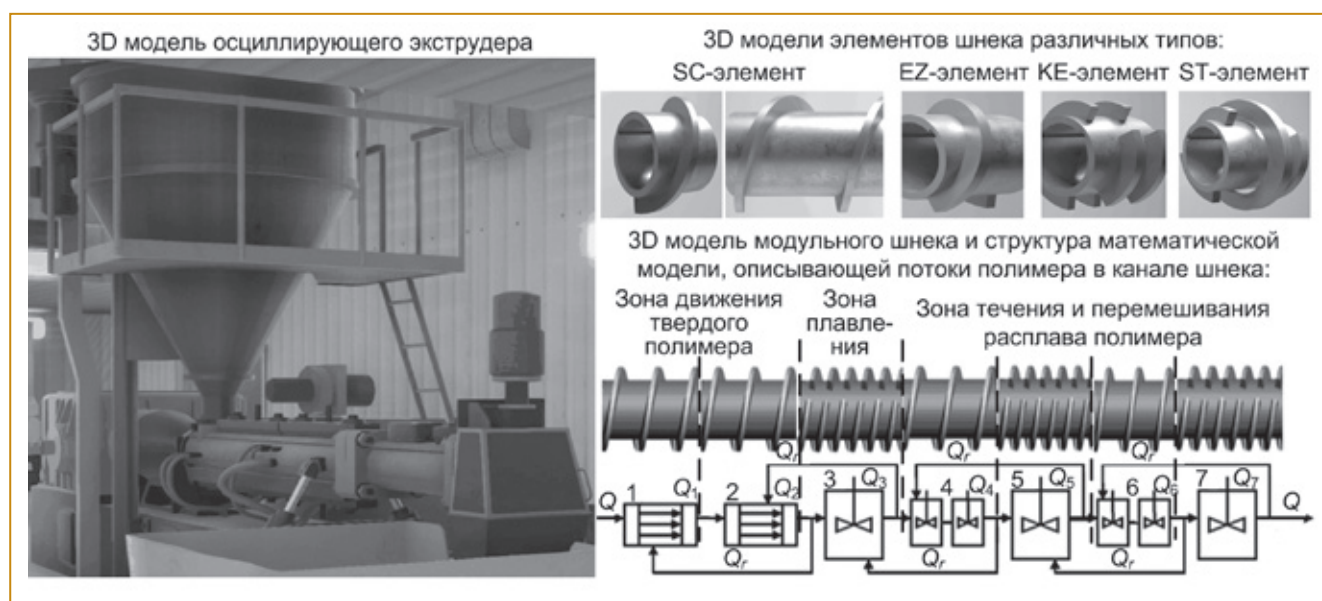


Рис. 4. Виртуальные модели экструдера с перенастраиваемой конфигурацией

ST-элемент (KE-элемент, сопряженный с ограничительным кольцом). Процесс сборки 3D модели шнека аналогичен процессу сборки реального шнека. Проектировщик выбирает 3D модель элемента требуемого типа, размещает ее на 3D модели сердечника, автоматически сформированной для экструдера выбранной марки, и компоует с 3D моделью предыдущего элемента. При этом осуществляется проверка выполнения правил сборки, которые разрешают компоновать 3D модели элементов, если тип текущего элемента принадлежит множеству допустимых типов для компоновки с размещенным элементом и выполняется условие сопряжения элементов по глубине их каналов.

Поверочный расчет экструдера выбранной марки со шнеком сформированной конфигурации выполняется по математической модели, позволяющей вычислить показатели качества экструдата и настраиваемой на тип полимера и режим экструзии. Компьютерный структурный синтез математической модели экструзии осуществляется на основе ячеечного подхода к моделированию секционированных агрегатов с рециклами. Структура потоков в каждой секции модульного шнека, составленной из элементов одного типа, описывается соответствующей типовой гидродинамической моделью, учитывающей механизм и интенсивность перемешивания, и выбираемой из библиотеки гидродинамических моделей секций шнеков. Например, для описания секции из KE-элементов применяется модель идеального смешения, а для описания секции из EZ-элементов – ячеечная модель. Модели настраиваются на геометрические параметры каналов секций. Модели сопрягаются введением прямоходов Q_i , описывающих поступательные потоки полимера в секциях, и обратных (рециркуляционных) потоков Q_r , описывающих утечки, вызванные перепадом давления в секциях, а также возвратно-поступательным движением шнека, если экструдер относится к осциллирующим экструдерам (рис. 4). По синтезированной модели, представляющей собой систему дифференциальных уравнений материального баланса, замкнутую краевыми условиями, для заданной производительности Q и с учетом степени заполнения канала шнека рассчитывается функция распределения времен пребывания полимера в экструдере, обработка которой методом моментов дает значение среднего времени пребывания τ_{AV} . На основе среднего времени пребывания рассчитываются показатели качества, характеризующие материальную однородность и тепловое состояние экструдата, – средняя степень смешения γ_{AV} и индекс термической деструкции I_D соответственно:

$$\gamma_{AV} = \frac{\tau_{AV}}{Z} \sum_{j=1}^{N_E} \left\{ \int_{z^{j-1}}^{z^{j-1}+Z_E^j} \left[\frac{1}{W^j H^j} \times \int_0^{W^j H^j} \sqrt{\dot{\gamma}_{xy}^{j2} + (n_{SCR} - 1)\dot{\gamma}_{zx}^{j2} + \dot{\gamma}_{zy}^{j2}} dy dx \right] dz \right\}, \quad (1)$$

$$I_D = \frac{\tau_{AV}}{\tau_D} \exp \left[\frac{E_D (T_{EXT} - T_D)}{8,31(T_{EXT} + 273,15)(T_D + 273,15)} \right] 100, \quad (2)$$

где Z – длина канала шнека, м; N_E – число элементов шнека; z^{j-1} – координата входа в канал j -го элемента, м; Z_E^j , W^j , H^j – длина, ширина и глубина канала j -го элемента, м; $\dot{\gamma}_{xy}^j$, $\dot{\gamma}_{zx}^j$, $\dot{\gamma}_{zy}^j$ – скорости деформаций сдвига расплава полимера в циркуляционном и поступательном потоке в канале j -го элемента, 1/с; n_{SCR} – число шнеков; τ_D , T_D – время (с) и температура (°C) начала изменения цвета экструдата вследствие термодеструкции; E_D – энергия активации процесса термодеструкции, Дж/моль; T_{EXT} – температура экструдата, °C.

Скорости сдвига и температура экструдата в формулах (1)–(2), как и производительность экструдера, вычисляются по математической модели, синтезируемой путем компоновки моделей, построенных на основе законов сохранения физических субстанций и реологии псевдопластичных жидкостей и описывающих плавление твердого полимера и неизотермическое течение расплава в каналах элементов, из которых составлен шнек [10]. Модели элементов настраиваются на геометрические параметры элементов и параметры свойств полимера.

Варьированием режимных параметров процесса (частот вращения шнеков загрузочной воронки и экструдера, температур тепловых зон корпуса экструдера) в сформированных регламентных диапазонах определяются их допустимые значения, обеспечивающие выполнение критериальных ограничений $\gamma_{AV} \geq \gamma^{MIN}$, $I_D \leq I_D^{MAX}$, $Q \geq Q_0$.

Здесь γ^{MIN} , I_D^{MAX} – предельно допустимые значения показателей качества, при которых экструдат пригоден к дальнейшему формованию в полимерный материал, Q_0 – заданная объемная производительность экструдера.

Настройка системы компьютерного моделирования на метод производства и тип полимерного материала, требования к производительности и энергопотреблению осуществляется с помощью банка данных. Банк данных включает БД конструктивно-технологических характеристик экструдеров, БД геометрических параметров элементов шнеков и головок экструдеров, БД типов полимерных материалов, параметров свойств полимеров и требований к качеству экструдата, БД регламентных диапазонов режимных параметров процесса экструзии.

На базе системы моделирования разработан компьютерный тренажер для обучения производственного персонала структурному и параметрическому управлению экструдерами с переменными конфигурациями шнеков при перенастройке производства на новые задания. Тренажер позволяет реализовать сценарии обучения для различных методов производства и типов полимерных материалов, типов



Рис. 5. Виртуальные модели завода по производству каландрированных полимерных материалов (Санкт-Петербург) и экструзионной линии для изготовления 11-слойных рукавных полимерных пленок (Германия)

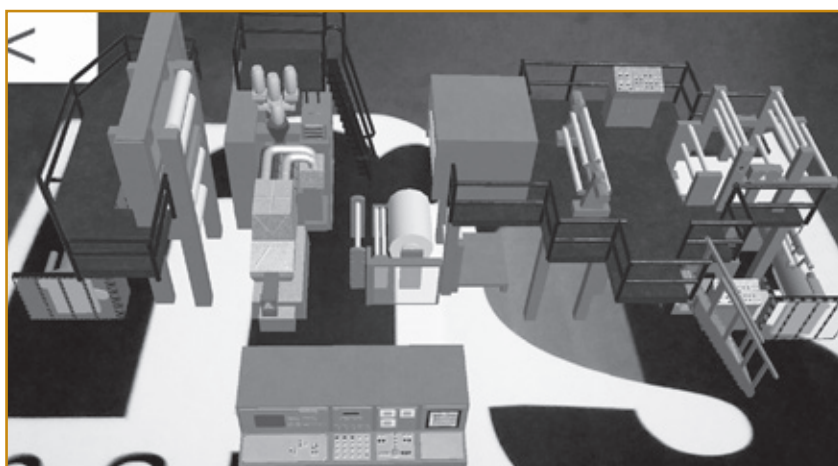


Рис. 6. Виртуальная модель экструзионной линии с пультом управления в дополненной реальности

экструдеров, требований к их производительности и энергопотреблению.

Для проектирования виртуальных 3D моделей производственных систем по выпуску многоассортиментных полимерных материалов создан программный комплекс, который решает задачи синтеза фотореалистичных 3D моделей промышленных производств и поверочного расчета синтезированных моделей. Синтез осуществляется путем выбора, размещения и компоновки 3D моделей цехов производства, а также выбора, размещения и компоновки моделей агрегатов, составляющих производственные линии, в моделях цехов для заданных методов производства и типов полимерных материалов, производительности и энергопотребления. При поверочном расчете выполняется проверка ограничений на геометрические и технологические характеристики производственной системы – расстояния между агрегатами, расстояния от агрегатов до стен цехов, производительность, энергопотребление. Результатами проектирования являются виртуальные 3D модели производств, виртуальные

видеоэкскурсии по производству, файлы для запуска модуля погружения в виртуальную реальность и модуля дополненной реальности (при установке приложения на смартфон или планшет). В программном комплексе созданы виртуальные 3D модели экструзионных и каландровых производств полимерных материалов на заводах международных корпораций Klöckner Pentaplast, Mondi, Maria Soell в России, Германии, Таиланде (рис. 5), применяемые в рекламных и маркетинговых целях, для демонстрации современных высокотехнологичных систем изготовления многослойных упаковочных полимерных пленок, реконструкции и модернизации промышлен-

ных предприятий, в том числе создания и введения в эксплуатацию новых производственных линий.

Разработанные виртуальные 3D модели в дополненной реальности позволяют визуализировать производственные линии, оснащенные пультами для управления качеством полимерных материалов на основе обработки промышленных данных больших объемов (рис. 6).

Заключение

Рассмотрены методы и технологии построения моделей виртуальной и дополненной реальности, позволяющих решать задачи проектирования, строительства, реконструкции и модернизации высокотехнологичных промышленных объектов и систем. Модели апробированы при проектировании, строительстве, реконструкции и модернизации современных производств нефтепродуктов и полимерных материалов. Результаты апробации подтвердили адекватность и работоспособность моделей.

Разработаны тренажерные программные комплексы, которые позволяют на базе виртуальных

и математических моделей осуществлять обучение проектированию и управлению сложными промышленными объектами и системами нефтепереработки и переработки полимеров.

Применение созданных моделей виртуальной и дополненной реальности приводит к сокращению времени и трудоемкости проектирования, обеспечивает мониторинг качества строительства для своевременного устранения коллизий при выполнении строительно-монтажных работ, способствует цифровизации и продвижению производства на рынке, повышает профессиональный уровень производственного персонала предприятий нефтехимической и полимерной промышленности.

Список литературы

1. 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. — Т. 23, № 2. — С. 252-264.
2. Фураев Д.Н. Формирование комплексной BIM-модели сложных промышленных объектов. Опыт компании ЗАО «ПМП» // САПР и графика. — 2016. — № 2. — С. 24-27.
3. Лакпа А.В., Андреев С.Г., Лосев А.В., Горячев Д.В. Внедрение 3D-проектирования в нефтегазовую отрасль // Интеграция наук. — 2018. — № 4. — С. 337-338.
4. Ланг М., Шмид Ф., Бауэр Х. Техническая концепция и практическая реализация проекта Амурского газоперерабатывающего завода // Газовая промышленность. — 2019. — № 3. — С. 66-72.
5. Квасов И.Н., Александров М.А., Занин А.В., Земенкова М.Ю. Сравнительный анализ расчетов врезки в трубопровод на проектируемом комплексе ЭЛОУ-АВТ Омского нефтеперерабатывающего завода на основе 3D-моделирования // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2019. — № 1. — С. 58-66.
6. Чистякова Т.Б., Фураев Д.Н., Защиринский С.В. Системы автоматизированного проектирования 3D моделей промышленных установок // Автоматизация в промышленности. — 2018. — № 9. — С. 9-12.
7. Краснянский М.Н., Остроух А.В., Баринов К.А., Дедов Д.Л., Руднев А.А. Виртуальные тренажерные комплексы для обучения и тренинга персонала химических и машиностроительных производств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2011. — Т. 17, № 2. — С. 497-501.
8. Дозорцев В.М. Технологии виртуальной реальности в обучении операторов технологических процессов // Автоматизация в промышленности. — 2018. — № 6. — С. 42-50.
9. Чистякова Т.Б., Новожилова И.В., Фураев Д.Н. Разработка научно-образовательного комплекса как инструмента подготовки инжиниринговых команд для решения задачи проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичной промышленной продукции // Автоматизация в промышленности. — 2020. — № 12. — С. 50-56.
10. Чистякова Т.Б., Полосин А.Н. Математические модели и программный комплекс для управления экструзионными процессами в гибких многоассортиментных производствах полимерных материалов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Математическое моделирование и программирование». 2019. — Т. 12, № 4. — С. 5-28.

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»,

Полосин Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доц. кафедры САПРиУ СПбГТИ(ТУ),

Защиринский Степан Владимирович — аспирант, ассистент кафедры САПРиУ СПбГТИ(ТУ).

Контактный телефон +7 (812) 494-93-54.

E-mail: nov@technolog.edu.ru

Сервис предиктивной аналитики для измерения температуры стали

Компания Accenture разработала для группы НЛМК цифровой сервис предиктивной аналитики, который помог повысить эффективность производства стали на заводах НЛМК-Калуга и НЛМК-Урал.

Цифровой советчик с использованием искусственного интеллекта и big data позволяет контролировать температуру стали в проковше. Показатель является критически значимым, так как падение температуры стали ниже определенного минимума при ее разливе приведет к остановке производственного процесса, тогда как перегрев металла повышает себестоимость продукции и негативно сказывается на ее качестве.

Сложность заключается в том, что для каждой марки стали существуют свои технологические параметры и нормативы. Решение потребовало машинного обучения математической модели на основе больших данных.

Сейчас сервис в on-line режиме дает рекомендации пользователям по определению оптимальной температуры плавки, что

приносит прямой экономический эффект за счет снижения расхода электродов и электроэнергии в процессе производства стали.

Работа над цифровым продуктом стартовала весной 2020 г. На стадии PoC (Proof of Concept) было проверено множество гипотез, и на основе анализа больших данных были реализованы первые прогнозные модели, выявлен потенциальный эффект от внедрения решения.

На этапе MVP (minimum viable product) был получен рабочий рекомендательный сервис для сталеваров и мастеров сортового дивизиона, использование которого уже приносит ожидаемую бизнес-выгоду.

В дополнение к рекомендательному сервису Accenture разработала набор отчетов для специалистов и руководителей, позволяющий отслеживать, контролировать и анализировать ключевые метрики технологического процесса, а также выявлять и прорабатывать возможные отклонения от рекомендаций сервиса.

[Http://www.accenture.com](http://www.accenture.com)