



РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Р.С. Крашенинников, А.В. Лобанов, М.Д. Пысин, Е.Б. Филиппова,
Д.В. Зубов (РХТУ им. Д.И. Менделеева)

Для проектирования новых и реконструкции существующих химико-технологических производств широко востребованы цифровые двойники, которые позволяют отработать сценарии типовых событий на виртуальном объекте, соответствующем проектируемому или существующему. Цифровые двойники позволяют смоделировать возникновение и развитие аварийных ситуаций, дают возможность безопасно обучить персонал необходимым действиям, с их помощью можно оценить уровень подготовки работников и их готовность к самостоятельной работе на реальном объекте. Статья посвящена разработке модуля имитации аварийных ситуаций и модуля виртуальной реальности для цифровых двойников химико-технологических производств. Предложена структура программных модулей, которая может быть использована для создания цифровых двойников различных химических производств.

Ключевые слова: цифровой двойник, виртуальная реальность, технологическая авария, имитационное моделирование, промышленная безопасность.

Введение

Обучение персонала в химической промышленности, транспорте, энергетике является важной задачей. В областях, где от действий работника зависит безопасность не только оборудования, но и персонала и населения, широко применяются дорогостоящие аппаратные симуляторы, например для обучения летчиков, водителей, операторов электростанций и т.д. По данным анализа исследований аварий на производстве, примерно 50% аварийных ситуаций возникает из-за низкой квалификации работников. При этом зачастую операторы знают, что необходимо делать лишь в теории, а при возникновении реальной аварии теряются из-за отсутствия отработанных навыков, не успевают правильно обрабатывать поступающую информацию. Снижение числа человеческих ошибок позволит существенно минимизировать финансовые затраты, а также создать более безопасную обстановку для людей и окружающей среды.

Развитие цифровых технологий привело к увеличению степени цифровизации промышленных производств и к расширению возможностей программного и аппаратного обеспечения информационных систем — появилась возможность создания реалистичных моделей технологических объектов и средства для их представления оператору в ходе его обучения или тестирования.

Динамическую модель в виртуальном мире, которая соответствует физическому объекту в реальном мире с возможностью имитации его характеристик, поведения на протяжении всего жизненного цикла называют цифровым двойником (Digital Twin) объекта. Одним из основных направлений применения цифровых двойников является обучение рабочего персонала, в том числе в составе компьютерных тренажерных комплексов (КТК).

При помощи таких тренажеров на основе цифровых двойников реальных производств, сотрудники могут полностью освоить специфику всех протекающих процессов, ознакомиться с особенностями технологии, а также приобрести соответствующие профессиональные компетенции, без угрозы для исправности оборудования и здоровья персонала. Детальное изучение промышленных процессов на подобных цифровых двойниках позволяет оптимизировать качественные и количественные характеристики производства, повысить его эффективность. Создание цифровых двойников способствует адекватному управлению производственными процессами и решению типовых проблем предприятий [1-3].

Структура цифрового двойника

Общая структура разработанного цифрового двойника схематично показана на рис.1. Ядром цифрового двойника является динамическая схема

¹ REST API — это прикладной программный интерфейс (API), который использует HTTP-запросы для получения, извлечения, размещения и удаления данных.

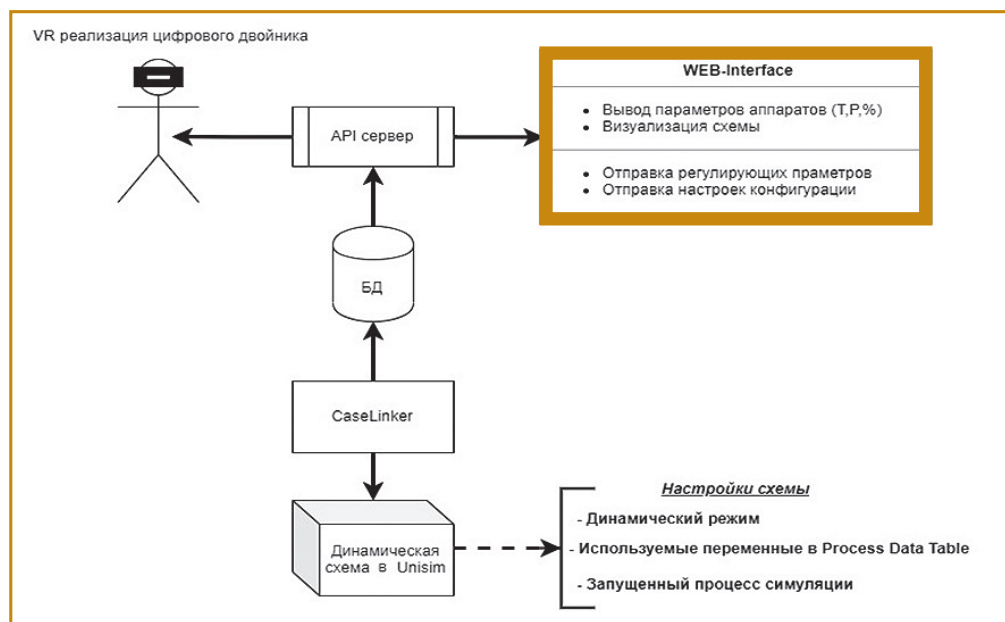


Рис. 1. Архитектура цифрового двойника

химико-технологического процесса, созданная в специализированном программном пакете UniSim Design АО «Хоневелл». Пакет UniSim Design – это инструмент, который позволяет создавать как стационарные, так и динамические модели разнообразных технологических процессов, в том числе технологических процессов нефтегазовой, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности, а также системы автоматического управления этими процессами. Текущие смоделированные динамической схемой значения технологических переменных хранятся в специальной таблице, названной Process Data Table, в пакете UniSim Design. С помощью программы-посредника, разработанной для обеспечения связи между приложениями, (на рис. 1 обозначенной как CaseLinker) данные из динамической схемы передаются в базу данных цифрового двойника (БД) и посредством популярной архитектуры Rest API передаются в другие программные модули, в частности, в модуль визуализации, представляющий картину процесса оператору. Аналогично организована и обратная связь, позволяющая передавать команды от оператора в динамическую модель [4].

Модуль имитации аварийных ситуаций

За основу рассматриваемого технологического процесса было взято реальное производство компании ОАО «Щекиноазот» по получению метанола из природного газа, содержащее следующие основные стадии: сероочистка, риформинг, очистка от CO_2 , синтез метанола, ректификация.

После анализа и переработки технологической схемы в UniSim Design была создана упрощенная схема производства метанола, полностью отражающая основные его этапы, поддерживающая соответ-

ствующие регламенту технологические параметры и имеющая минимально допустимые различия в свойствах и составе целевого продукта.

Были систематизированы основные виды производственных аварий и выделены причины их возникновения и развития. Для данной технологической схемы возможно множество аварийных ситуаций, из которых были выделены те, которые могут возникнуть на данном реальном промышленном объекте,

не зависят от конструкционных особенностей отдельных аппаратов, и при этом возможна их простая имитация в программе Unisim Design. Такими типовыми авариями являются: разгерметизация емкости (течь в аппарате); течь в трубе; просок перегретого теплоносителя в теплообменник; «залипание» клапана в текущем/полностью открытом/полностью закрытом положении.

Приведенные типы аварийных ситуаций могут возникнуть практически на любом предприятии, при этом технология их имитации универсальна. Моделирование аварийной ситуации проходит в несколько этапов:

- 1) выявление на схеме потенциального места аварийной ситуации;
- 2) создание в Unisim Design дополнительных материальных потоков, необходимых для имитации аварийной ситуации;
- 3) разработка сценария развития аварийной ситуации;
- 4) программное изменение параметров в схеме по созданному сценарию.

Поскольку целью цифрового двойника не стоит полное воспроизведение всех процессов, происходящих в технологической схеме (отложение осадков, коррозия трубопроводов, развитие микротрещин в емкостях и т.д.), то аварийные ситуации инициируются скриптом программы обучения/тестирования или оператором-наставником по заранее составленным сценариям. Аварийные ситуации моделируются открытием имитирующего течь клапана (сразу на полное открытие, если выбрана ситуация с разрывом трубопровода или с постепенно увеличивающейся степенью открытия, если сценарием предусмотрена постепенно развивающаяся течь), полным перекрытием потока клапаном, соответствующим

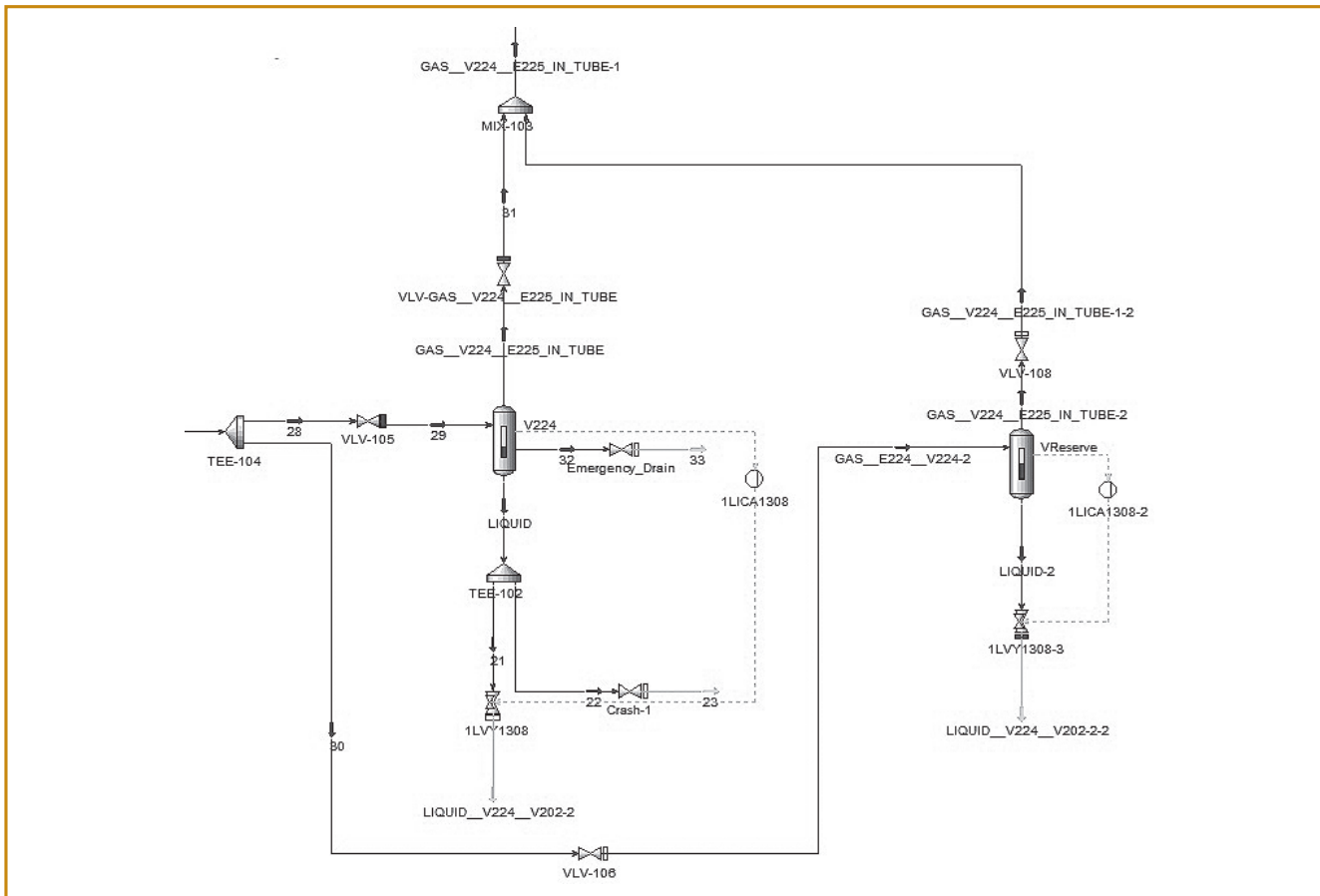


Рис. 2. Имитация течи в аппарате V224

залипанию регулирующего клапана в закрытом положении и т.д.

Рассмотрим реализацию сценария возникновения течи в аппарате на примере сепаратора V224 (рис. 2).

Течь в аппарате — одна из наиболее распространенных ситуаций на реальных производствах. Такие аварии могут приводить не только к полному выходу аппаратуры из строя и нарушению технологического режима, но также могут быть опасными для окружающей среды и сотрудников предприятия и даже населения. В рассматриваемой ситуации течь приводит к понижению уровня жидкости в сепараторе, что в свою очередь приведет к нарушению технологического режима, падению качества получаемой продукции и, возможно, к окончательной порче оборудования. При этом именно понижение уровня жидкости в аппарате будет являться сигналом для оператора о месте аварийной ситуации (разумеется, в сочетании с сигналом от газоанализатора, контролирующего состав воздуха).

Для имитации аварии рассматриваемого типа в Unisim Design добавили дополнительные материалы потоки на схему — это потоки 22 и 23, расход которых регулируется при помощи добавленного вентиля Crash-1. При открытии вентиля Crash-1 часть жидкости из сепаратора V-224 начнет утекать,

то есть степень открытия вентиля Crash-1 будет имитировать трещину контролируемого размера. Сценарием данной аварии будет постепенное открытие Crash-1, что будет имитировать постепенное увеличение трещины в аппарате с течением времени. При обнаружении течи в аппарате оператор должен просигнализировать о ней и приступить к ликвидации аварийной ситуации: необходимо полностью отсечь неисправный аппарат (V224) от технологических потоков. Это предполагает перекрытие вентиля выхода паровой и жидкой фазы (VLV-GAS_V224_E225_IN_TUBE и 1LVY1308), а также вентиля на входе в аппарат (VLV-105). При этом поток, поступающий в аппарат, необходимо перевести на резервный сепаратор. Далее, при полном перекрытии неисправного аппарата необходимо открыть вентиль аварийного сброса жидкости из аппарата (Emergency_Drain).

Для программного управления схемой во время имитации аварийной ситуации в данной работе используется высокоуровневый кроссплатформенный интерпретируемый язык программирования Python. Связь между программой и схемой в Unisim Design осуществляется при помощи специально созданного сервера, который позволяет выводить параметры из схемы и изменять их в ней. Управление схемой осуществляется отправлением на сервер



Рис. 4. Течь в аппарате



Рис. 3. Завод в виртуальном пространстве

Модуль виртуальной реальности

Помимо динамической модели технологической схемы в UniSim Design и модуля имитации аварийных ситуаций создана система визуализации цифрового двойника в виртуальном пространстве. Для этого был разработан план расположения объектов и элементов трубопроводов создаваемого виртуального производства с учетом материалов по реальному производству (спутниковая фотосъемка, геолокация, фото и мультимедийные материалы по внешнему виду производства).

После составления плана расположения основных аппаратов и трассы прокладки трубопроводов проводилось моделирование процессов, протекающих в необходимых аппаратах, трубопроводах и т.д. Создание 3D моделей аппаратов опиралось на соответствующие материалы из технологического регламента и спецификации на оборудование, содержащие их чертежи и реальные размеры. При этом использовались такие программы, как Autodesk 3ds Max, AutoCAD, Blender, SolidWorks. Разработанные 3D модели преобразованы в необходимый формат FBX для передачи в систему визуализации, созданной на

основе пакета Unity. Сохранение графических объектов в формате FBX позволяет получить объекты с сохранением их размеров без искажений, что существенно упрощает дальнейшую работу, так как метрическая система в Unity работает иначе, чем привычные измерения расстояний и габаритов.

Для размещения объектов в виртуальном пространстве использована межплатформенная среда разработки Unity, позволяющая создавать приложения, работающие на множестве платформ, включая персональные компьютеры, игровые консоли, мобильные устройства и др.

Сборка технологического производства в виртуальном пространстве не зависит от конструктивных особенностей отдельных аппаратов. В связи с этим технология импорта и добавления элементов в виртуальную схему в Unity универсальна и может

основе пакета Unity. Сохранение графических объектов в формате FBX позволяет получить объекты с сохранением их размеров без искажений, что существенно упрощает дальнейшую работу, так как метрическая система в Unity работает иначе, чем привычные измерения расстояний и габаритов.

Для размещения объектов в виртуальном пространстве использована межплатформенная среда разработки Unity, позволяющая создавать приложения, работающие на множестве платформ, включая персональные компьютеры, игровые консоли, мобильные устройства и др.

Сборка технологического производства в виртуальном пространстве не зависит от конструктивных особенностей отдельных аппаратов. В связи с этим технология импорта и добавления элементов в виртуальную схему в Unity универсальна и может

быть использована в других проектах. Добавление каждого из аппаратов проходит в несколько этапов.

- Определение места установки аппарата и точек его привязки к уже существующим аппаратам/трубопроводам/осям/опорам.

- Импорт в Unity соответствующей 3D модели, проверка ее на отсутствие искажений или иных деформаций, вызванных изменением формата изображения.

- Установка аппарата на нужную позицию.

- Придание необходимых свойств и материалов данной модели с учетом технологических норм и спецификаций, то есть дополнительных свойств объектов Unity Box Collider и Rigidbody, необходимых для корректной визуализации.

- Подсоединение нового аппарата к уже созданной схеме посредством добавления нужного числа моделей элементов трубопровода (фланцев, фитингов и т.д.) с целью максимального сходства с реальными технологическими линиями.

- Нанесение номера аппарата на его корпус или добавление текстового поля — для упрощения визуального распознавания объектов.

На рис. 3. показана визуализация упрощенной модели промышленного производства метанола. На аппаратах указаны их номера, соответствующие их номерам на чертежах технологической схемы.

На рис. 4 представлен пример визуализации течи в аппарате. Оператор уже на этапе обучения сможет привыкнуть к виду технологической площадки, на которой происходят те или иные аварии, что снизит время его реакции при наступлении рассматриваемых событий. Изображение (в данном случае — паров) выполнено в виде генерируемой анимации, создающейся с помощью свойств и функций, доступных в среде Unity, и скриптов, написанных на языке программирования C#.

После создания технологической схемы производства метанола в виртуальной реальности для более глубокого понимания сути технологических процессов и физико-химических явлений, протекающих в отдельных аппаратах, необходимо отобразить справочную информацию. Для этого добавлены панели с текстовыми полями, содержащие следующие сведения: названия аппаратов, кратко их технологическое назначение, величины основных технологических параметров (температуры, давления, концентрации и т.д.). Они дают более полное представление о промышленном производстве, имеющих в нем место

химико-технологических процессах и возможных аварийных ситуациях. Для удобства при перемещении по виртуальному заводу добавлены телепорты и транспортное средство, благодаря чему на виртуальное путешествие по заводу не требует непроизводительных затрат времени, с другой стороны — возможен и сознательный отказ от телепорта или транспорта для оценки затрат времени на перемещение персонала по заводу своими силами в случае аварийной ситуации.

Заключение

В рамках данной работы были решены следующие задачи.

- Выделены некоторые возможные аварийные ситуации на промышленном производстве, которые могут быть легко симитированы в рамках цифрового двойника.

- Разработан программный модуль, позволяющий имитировать описанные типы аварийных ситуаций. Предложенная структура программного модуля универсальна и может быть использована при создании цифровых двойников различных химических производств, обучения и сертификации операторов-технологов.

- Создана виртуальная модель производственного процесса, позволяющая повысить эффективность обучения рабочего персонала.

- Созданы анимации для демонстрации движения потоков, принципов работы аппаратов, аварийных ситуаций на производстве.

Список литературы

1. Kenett RS, Bortman J. The digital twin in Industry 4.0: A wide-angle perspective. Qual Reliab Eng Int. 2021;1–10. <https://doi.org/10.1002/qre.2948>
2. Волкова М. М., Манурова Р. А., Шайдуллина Д. Н. Применение виртуальных тренажеров для обучения специалистов нефтегазовой отрасли // Вестник Технологического университета. — 2019. — Т. 22. — №. 4. — С. 115-121.
3. Фролов Е.Б., Климов А.С., Хтун Зин Мин. Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории MES // Вестник Брянского государственного технического университета. № 12 (73) 2018.
4. Пысин М.Д., Зубов Д.В., Филиппова Е.Б., Шушпанов В.С., Кольцова Э.М., Крашенинников Р.С., Лобанов А.В. Проектирование распределенной экосистемы передачи данных цифрового двойника // Автоматизация в промышленности. — 2021. — №. 1. — С. 15-19.

Крашенинников Роман Сергеевич и Лобанов Алексей Владимирович - студенты магистратуры,

Пысин Максим Дмитриевич — аспирант,

Филиппова Елена Борисовна — канд. техн. наук, доцент,

Зубов Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры информационный компьютерных технологий Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева.

E-mail: feb_ikt@muctr.ru