

# Имитационное моделирование в промышленности

## В статье рассмотрена роль средств имитации моделирования при подготовке производства

### Введение

Давно уже прошли времена, когда можно было спроектировать мало-мальски сложную систему без помощи компьютерных помощников. Как только появилась компьютерная техника, появилась и возможность ее применения для решения задач в области подготовки производства. Для проектирования изделий с точки зрения геометрии, точности изготовления, прочности, стали применяться пакеты систем авто-

ваться в цифровом виде, появилась возможность перейти от ручного программирования роботов (в режиме обучения) к off-line программированию. Таким образом, программа манипулятора стала выходной формой цифрового процесса. Это с одной стороны облегчило труд наладчика, а с другой повысило качество изделия. Сноп искр при точечной сварке автомобиля выглядит красиво, но на практике означает, что наладчик не смог подве-

### За счет изменения функционирования и управления системой производительность может быть значительно увеличена

матизированного проектирования (САПР, CAD), инженерных расчетов (CAE). Такие программные средства существенно облегчили работу конструкторов и стали быстро вытеснять традиционные кульман и карандаш. Следующим этапом автоматизации проектирования промышленных систем явилось использование средств для моделирования технологических процессов, часто называемых CAPE (Computer Aided Process Engineering). Такие средства позволяют проверить процесс до монтажа оборудования в цехе с точки зрения отсутствия столкновений, обеспечения требуемого времени цикла, подбора инструмента и других факторов. Особенно важны эти средства при подготовке автоматизированного и роботизированного производства.

После того как конструкция изделия стала разрабатываться в цифровом виде, появилась возможность автоматизировать процесс подготовки управляющих программ для обработки ЧПУ, эту задачу решают продукты семейства CAM. С другой стороны, процесс производства также стал разрабаты-

сти клещи точно по нормали к поверхности, вследствие чего возник выплеск металла, непровар и снижение качества шва.

Казалось бы, средства трехмерного моделирования CAD, CAE, CAM и CAPE покрывают потребности конструкторов и технологов. Но на практике часто оказывается, что даже если изделие и все технологические процессы спроектированы верно, реальное производство не обязательно будет работать с ожидаемой эффективностью. В результате ошибок при проектировании производства и необходимости их исправления «по месту» длительность пусконаладочных работ увеличивается, тратятся избыточные ресурсы, производственный план не выполняется, а предприятие терпит существенные убытки. Причинами этого являются факторы, которые не могут быть учтены системами проектирования, как бы хороши и совершенны они не были. Эти факторы можно разделить на три большие группы.

**Численные параметры.** В качестве примера таких параметров можно привести емкости накопителей, такты ра-



Моделирование случайных факторов и учет сбоев позволяет обеспечить работу системы с ожидаемой эффективностью





## Siemens PLM Connection, 28–29 мая 2008, Москва Информационный партнер



PC Week/RE – еженедельная газета для корпоративных пользователей информационных технологий и решений. Сообщает о передовых технологиях, новейших разработках и важнейших событиях зарубежного и отечественного ИТ-рынков. Имеет бесплатную

корпоративную подписку и приложение: PC Week Review и PC WEEK Mobile о мобильных и беспроводных решениях для бизнеса. IT специалисты российских организаций могут заполнить анкету и оформить подписку на сайте издания: [www.pcweek.ru](http://www.pcweek.ru).

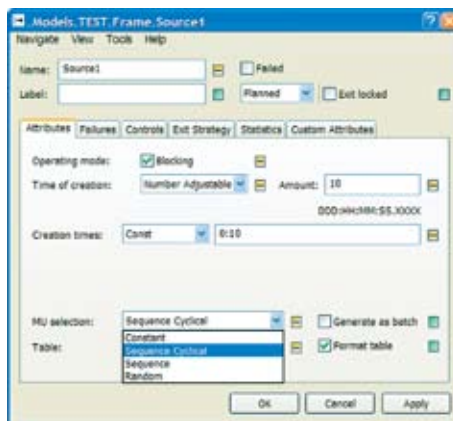
боты оборудования, количество персонала или транспорта. Обычно значения параметров закладывают на этапе проектирования, часто исходя из накопленного опыта, статистики и интуиции проектировщика, а для расчетов используют статические инструменты, такие как Excel. При этом очень сложно определить, как будет вести себя система с такими параметрами в динамике, тем более, что на ее работу влияют сбои, внеплановые остановки оборудования и другие случайные факторы, например изменение программы выпуска в зависимости от ситуации на рынке или неритмичность поставок.

**Планировка или размещение.** Разработанная планировка производственных помещений может быть оптимальна с точки зрения использования площадей, но не быть таковой с точки зрения материальных потоков. При этом могут возникать лишние перемещения материалов, большие транспортные плечи или появляться «бутылочные горлышки». А неправильное территориальное размещение отдельных элементов системы может привести к тому, что узким местом всей системы станет транспортная логистика, внешняя или межцеховая, потребность в промежуточном хранении или необходимость использования дополнительных ресурсов.

### Правила работы системы.

Программистам известно, что невозможно написать сложную программу,

не сделав ни одной ошибки. Любая программа проходит через этап отладки — проверки корректности работы в различных ситуациях, при различных исходных данных. Аналогична ситуация при проектировании технических систем, но часто проверять правильность управления приходится на реальной системе. Эта группа факторов является наиболее сложной для анализа, но и наиболее многообещающей.



Ведь для изменения правил работы не требуется капитальных вложений, а отдача может быть велика. В ряде случаев производительность увеличивается на десятки процентов только за счет изменения логики функционирования и управления системой. Разумеется, конструкторам и технологам хотелось бы иметь инженерный инструмент для проверки и оптимизации всех перечисленных факторов. Инструмент, который позволил бы предсказать, как заложенные параме-

тры повлияют на проектируемую или реконструируемую систему. Инструмент, который позволил бы избежать дорогостоящих экспериментов на работающей системе.

### Имитационное моделирование

Метод, решения обозначенных проблем — дискретное имитационное моделирование. Суть метода состоит в замене реальной системы цифровой моделью, в которой процессы протекают так же, как в реальной системе. Как работает этот подход, как он может быть использован проектировщиками, каковы его преимущества можно проследить на примере пакета Tecnomatix Plant Simulation Tool компании Siemens PLM Software.

Следует отметить, что попытки использовать моделирование (и не только имитационное) известны с 60-х годов прошлого века. Первоначально для этого использовались универсальные языки программирования (Algol, Fortran), позже начали появляться специализированные языки программирования (GPSS, Simula). Однако подобные средства не могут претендовать на роль промышленного инструмента, так как сложность освоения, трудоемкость моделирования, слабые средства визуализации результатов сильно ограничивают их применение для решения инженерных задач.

Продукт Plant Simulation изначально разрабатывался для промышленного применения. Целью разработчиков было дать инженерам мощный инструмент моделирования, который позво-



Одной из традиционных областей применения продукта является проектирование автоматизированных линий в автопромышленности. Продукт используется такими автогигантами как группа Фольксваген, Даймлер, АвтоВАЗ, а также поставщиками проектных решений.

В качестве исходных данных в имитационную модель заложена циклограмма работы линии (которая получена в системе разработки техпроцесса, например Robcad), а также надежность

оборудования в виде статистического распределения остановов.

Моделирование автоматизированных линий позволяет спрогнозировать, какой будет производительность линии на большом интервале времени (обычно от месяца до года) и как на неё будут влиять такие факторы как размеры накопителей, размер и порядок запуска партий.

Ссылка по теме:

[http://www.ebgroup.ru/?go=product\\_welding\\_modeling\\_imitation\\_ru](http://www.ebgroup.ru/?go=product_welding_modeling_imitation_ru)

ляет быстро строить и модифицировать модели, обладает развитыми средствами анализа, двумерной и трехмерной визуализации, обладает открытыми интерфейсами для встраивания в имеющуюся информационное окружение и при этом не требует длительного освоения и глубоких знаний в области программирования или математической статистике.

#### Создание модели

Построение модели в Plant Simulation основано на использовании стандартной или расширенной библиотеки объектов. Каждый из объектов библиотеки уже обладает встроенной логикой, набором параметров и диалоговым интерфейсом. Для использования объекта в модели достаточно поместить его в модельное окно, соединить с другими объектами стрелками, показывающими направление течения материала, и задать желаемые параметры.

Кроме стандартных библиотек существуют также дополнительные, предназначенные для применения при решении типовых задач (например,

моделирование сборочно-сварочных линий). Поэтому для некоторых типов систем модель может быть построена из объектов, как из кубиков, без необходимости какого-либо программирования. Эта простота позволяет создавать модели очень быстро.

Если правила работы реальной системы сложны и не могут быть описаны элементарными параметрами, Plant Simulation тоже не ограничивает проектировщика. Для каждого события в модели (начало операции, конец операции, подход к датчику на конвейере и др.) есть возможность написания пользовательского обработчика, который обычно представляет собой процедуру из нескольких строк на встроенном языке программирования



#### Стандартная библиотека объектов

Стандартная библиотека состоит из нескольких десятков объектов, разделенных на 5 групп:

- **Материалопоток.** В эту группу выделены объекты для представления таких элементов как источник дета-

### Для некоторых типов систем модель может быть построена из объектов, как из кубиков.

SimTalk и реализует более сложную логику поведения.

Plant Simulation в полной мере использует преимущества объектно-ориентированного подхода к разработке модели. Модель может быть построена по иерархическому принципу, сложные объекты можно строить из более простых и позже использовать в других моделях, создавая таким образом свою пользовательскую библиотеку. Реализован механизм наследования, поэтому исправление поведения объекта в классе отражается на всех его экземплярах.

лей, единичная операция, операция сборки (соединения), накопитель, конвейер, сортировщик и другие. Каждый из объектов обладает набором атрибутов, например, ёмкость накопителя, длина конвейера или время выполнения операции, задаваемое в виде константы, статистического распределения или формулы расчета. Так как объекты достаточно абстрактны, то очередь деталей перед станком, кораблей перед шлюзом или стопку бумаг на подпись можно представить с помощью объектов одного типа;



## Siemens PLM Connection, 28-29 мая 2008, Москва

### Информационный партнер

#### Rational Enterprise Management

Rational Enterprise Management / Рациональное Управление Предприятием – информационно-аналитический журнал для руководителей и IT-специалистов промышленных предприятий, научных и проектных организаций. Основное содержание журнала

концентрируется вокруг вопросов построения единого информационного пространства предприятия на базе автоматизации планирования и управления ресурсами, автоматизации проектирования и автоматизации производства и технологических процессов.

● **Подвижные объекты:** деталь, контейнер, транспорт. Эти три типа объекта перемещаются по сети, сформированной из объектов для описания материалопотока;

● **Информационный поток.** Здесь представлены объекты для хранения и обработки информации, в том числе переменная, разные типы таблиц, обработчик событий, а также интерфейсы обмена данными с внешними системами. Часто объекты этой группы используются для сбора и хранения статистики и результатов работы модели;

● **Пользовательский интерфейс** модели формируется из таких объектов как график, гистограмма, индикатор, диалог, HTML-отчет;

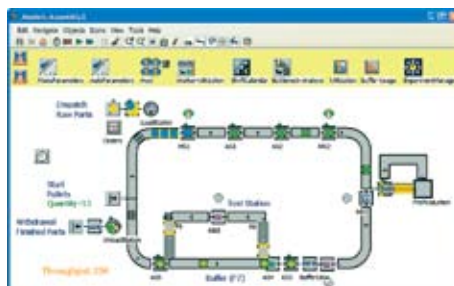
● **Инструменты.** Сюда включены объекты для анализа работы и оптимизации модели, такие как диаграммы Ганта и Сэнки, анализатор узких мест, нейронная сеть, генетические алгоритмы оптимизации и менеджер экспериментов.

#### Проведение моделирования и анализ результатов

Для запуска моделирования не требуется компиляции или обработки модели. После нажатия на кнопку «пуск» модель начинает работу немедленно, визуализация работы и сбор статистики производится в реальном времени. Каждый объект уже имеет функционал для сбора статистики, поэтому во время прогона модели пользователь может посмотреть динамически обновляемую информацию каждого из объектов: времена работы, ожидания,

простоя или блокировки, какова была максимальная заполненность накопителя или сколько деталей обработал станок к настоящему моменту).

Наглядное представление модели также играет важную роль, благодаря визуализации перемещения деталей по оборудованию и текущего состояния оборудования легко понять и интерпретировать происходящие в модели



процессы, где и почему скапливаются очереди, какие ресурсы недогружены и т.д. В любой момент модель можно остановить и отследить процесс в пошаговом режиме.

Скорость моделирования вполне достаточна для оперативной работы с моделью. Обычно моделирование нескольких дней или недель реальной системы занимает несколько минут, но иногда бывают ситуации, когда параметры системы неизвестны точно и требуется провести множество испытаний, чтобы найти оптимальные настройки. Plant Simulation предлагает два средства решения этой проблемы, менеджер экспериментов и оптимизация с помощью генетических алгоритмов. Оба решения поддерживают рас-

параллеливание вычислений на несколько компьютеров, что бывает востребовано, когда оптимизацию сложной модели требуется выполнить быстро.

Менеджер экспериментов позволяет задать множество наборов исходных данных и автоматически выполнить моделирование всех наборов, сохранив результаты. Такая возможность экономит время инженеров, если расчет множества вариантов требует нескольких часов машинного времени, то модель можно оставить на ночь, а утром, придя на работу, сразу увидеть готовый результат.

Генетические алгоритмы оптимизации (ГА) можно применять для подбора настроек системы, если на работу системы могут влиять множество параметров, каждый из которых может меняться в достаточно широких пределах. Типичный пример применения ГА — построение суточного плана выпуска продукции. Выпуск каждого изделия может требовать различного набора технологических операций, ресурсов и занимать разное время, поэтому изменение времени и порядка запуска в производство изделий может существенно сказаться на исполнении сроков поставки, загрузке оборудования и себестоимости.

#### Области применения продукта

Опыт применения продукта на российских и зарубежных предприятиях показывает, что это универсальное решение, способное успешно решать задачи в самых разных отраслях промышленности: машино-, автомобиле-,

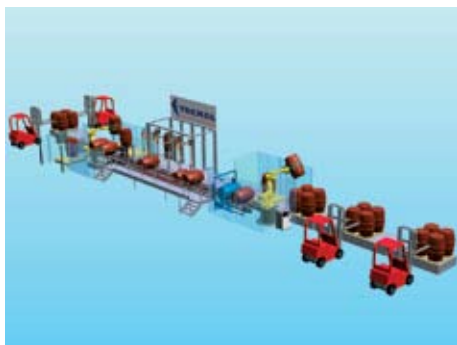


Продукт Tecnomatix Plant Simulation Tool появился на рынке более 17 лет назад, в 1991 году. Он разрабатывался в Германии в компании AESOP, расположенной в Штуттгарте и первоначально назывался SIMPLE++ (Simulation in Produktion Logistik und Engineering). В 1997 году фирма была приобретена

компанией Tecnomatix, а продукт занял своё место в линейке решений для технологической подготовки производства eM-Power под именем eM-Plant. В настоящее время продукт распространяется под именем Tecnomatix Plant Simulation Tool и принадлежит компании Siemens PLM Software.

авиастроительной, на транспорте, в добывающих и других отраслях. Решаемые задачи можно условно разделить на 5 групп:

**Поддержка принятия стратегических решений.** В эту группу включается класс задач, возникающий при анализе вновь проектируемых или модернизируемых систем, когда требуется проверить или оптимизировать систему и



управление ею на концептуальном уровне. Часто на этом этапе детали проекта еще не проработаны, поэтому модель может состоять из укрупненных объектов. Например одним объектом может быть целая сборочная линия, характеризующаяся тактом, количеством постов и коэффициентом надежности оборудования.

**Тактическое управление.** Сюда входят задачи планирования приема заказов, минимизации необходимых запасов и оборотных средств, анализ возможности выполнения заказов в срок в среднесрочной перспективе (неделя, месяц, квартал). Особенностью здесь является то, что структура и правила работы системы уже определе-

ны, а модель служит для поддержки принятия решения подразделениями предприятия.

**Оперативное планирование.**

Это ежедневное планирование выполнения производственного плана, определение оптимальных размеров и последовательности обработки партий изделий, перепланирование при изменении текущей ситуации (например, поломках оборудования), планирование графика ремонтов оборудования. Особенностью является необходимость оперативной связи с информационными системами предприятия уровня MES/SCADA для возможности

### Plant Simulation наглядно демонстрирует на модели, как спроектированная система работает в реальности.

планирования на основе актуальной информации.

**Имитация реальности.** Модель может быть использована для обучения или лучшего понимания сотрудниками функционирования системы, имитации поведения системы при критических нагрузках, авариях и т.п.

**Инструмент маркетинга.** Plant Simulation позволяет показывать заказчикам, как спроектированная система будет работать в реальности, не на основе таблиц и страниц расчетов, а на наглядной модели. Причем заказчиком может выступать как клиент компании-поставщика, так и руководство собственной компании.

**Заключение**

В заключении хотелось бы кратко

сформулировать, какие преимущества даёт предприятию имитационное моделирование и продукт Tecnomatix Plant Simulation Tool:

- уменьшаются финансовые затраты и повышается эффективность работы проектируемой системы за счет лучшего использования ресурсов и лучшего управления ею;
- возможность быстро оценить нескольких вариантов и альтернатив построения системы ускоряет проектирование и позволяет избежать многих проектных ошибок;
- за счет предварительной проработки на имитационной модели, решения

принимаются более обоснованно, а риски снижаются.

Эффективность применения продукта оценивалась различными организациями, в том числе VDI (ассоциация немецких инженеров) и FhG (Фраунhoferовская исследовательская организация). По их отчетам экономия на инвестициях может достигать 3-6%, а повышение эффективности уже существующих систем составляет 15-20%.

**Владимир Медведев,  
ведущий инженер  
Siemens PLM Software**