

Есть способ лучше: цифровой двойник повысит эффективность процессов конструкторско-технологического проектирования и производства

Aaron Frankel, старший директор по маркетингу решений для машиностроения, Jan Larsson, старший директор по маркетингу в EMEA (Siemens PLM Software)

Производство изделия – несомненно, наиболее важная часть из всех процессов жизненного цикла. На этом этапе идеи превращаются в реальность. Более того, без скоординированности процессов проектирования и изготовления, гарантирующей успешную сборку изделия в цехе, идеи так и останутся всего лишь красивыми чертежами, либо не будут реализованы в полной мере. Многие годы способы конструирования и разработки технологических процессов оставались неизменными, сохраняя все традиционные недостатки, приводящие к росту себестоимости и сроков. Учитывая, что сегодня инновации стали жизненно необходимыми для выживания машиностроительных предприятий, компания *Siemens PLM Software* проанализировала процессы подготовки производства, чтобы выявить пути их дальнейшей оптимизации. В этой статье мы обсудим, какие источники неэффективности необходимо устранить, чтобы внедрить концепцию “цифрового двойника” (как изделия, так и цехового оборудования), и как это повлияет на способы выпуска изделий.

Впечатляющая симфония

Если вы окажетесь на современном производственном предприятии, то увидите потрясающую картину – своеобразную симфонию, в которую сливаются труд людей, роботов и станков, движение материалов и деталей; и всё это происходит с точностью до секунды, чтобы не отстать от графика. Это действительно впечатляет! Однако за кулисами мы по-прежнему увидим устаревшие процессы конструкторско-технологической подготовки производства...

Мы не собираемся кого-либо критиковать. Разработка конструкции изделия – само по себе немалое достижение. Проектирование может оказаться очень сложной задачей. В ряде случаев изделие состоит из миллионов деталей, а над его созданием работают тысячи сотрудников предприятия и партнеров – причем, нередко, по всему миру. Более того, в таких важнейших отраслях, как электронная промышленность (требуются более быстрые процессоры, миниатюризация), автомобилестроение (где важны вопросы экологичности и снижения выбросов) и авиационно-космическая отрасль (экологичность и внедрение композитных материалов) наблюдается постоянное стремление к оптимизации и ускорению процессов создания новых изделий.

С учетом высокой сложности решаемых сегодня задач вполне понятно нежелание компаний отходить от проверенных на практике процессов подготовки производства. Однако в этом случае мы слышим о проблемах при проектировании и изготовлении продукции, которые в ряде случаев приводят к дорогостоящим задержкам.

Общие проблемы

Одна из наиболее серьезных трудностей, которую мы наблюдаем, заключается в том, что конструкторы и технологи применяют разные, не связанные друг с другом программные системы. На практике это приводит к тому, что, когда конструкторы передают свои разработки технологам, те пытаются создавать технологические процессы в привычных для них системах. При таком сценарии – а он встречается очень часто – происходит рассинхронизация информации, что затрудняет контроль над ситуацией. Кроме того, возрастает вероятность возникновения ошибок.

Проблемы регулярно возникают и в ходе разработки цеховых планировок. Причина заключается в том, что планировки обычно создаются в виде двумерных поэтажных планов и бумажных чертежей. Это длительный и трудоемкий процесс. Двумерные чертежи – важная составляющая того процесса, но они не обеспечивают нужной гибкости. Нередко случается, что перестановка оборудования в цехе не фиксируется на чертеже. Проблема особенно обостряется при работе на быстро меняющихся рынках (например, бытовой электроники), когда требуется постоянное расширение и модернизация производственных систем. Почему? Потому, что у двумерных планировок отсутствуют интеллектуальность и ассоциативность. Они не позволяют технологам узнать, что именно происходит в цехах, и быстро принимать умные решения.

После того как планировки будут готовы, разрабатывается технологический маршрут. Как правило, он затем проходит этап контроля (валидации). Здесь лежит еще одно существенное препятствие росту эффективности. Технологам, чтобы оценить характеристики оборудования, обычно приходится ждать, пока оно не будет установлено. Если характеристики оказываются ниже ожидаемых, то разрабатывать альтернативную технологию уже поздно. Опыт показывает, что такая ситуация приводит к значительным задержкам.

Кроме того, производители сообщают о еще двух проблемах, возникающих в конце цикла подготовки производства – это трудность оценки производительности отдельных операций и всего технологического процесса в целом.

Вследствие высокой сложности современного производства (и, как часто бывает, отсутствия координации между различными автоматизированными системами технологического проектирования) оказывается очень непросто выявить, какие именно операции или производственные участки вызывают задержки работы всей линии. А когда дело доходит до собственно изготовления изделия, то оценить производительность и степень соответствия реальных процессов запланированным зачастую бывает крайне трудно. И снова проблема заключается в высокой сложности, а также в отсутствии обратной связи между производителями, конструкторами и технологами.

Что со всем этим делать? Далее мы изложим основную идею, на которой, по нашему мнению, должны основываться все основные производственные процессы, причем с возможностью их оптимизации. Речь идет о концепции “цифрового двойника”.

Цифровой двойник

Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию реального объекта, которая ведет себя так же, как и реальный объект (рис. 1). Мы не будем здесь углубляться в технические характеристики продуктов компании *Siemens PLM Software*, – достаточно сказать, что наши средства управления жизненным циклом изделия (*PLM*) обеспечивают создание полноценной цифровой платформы. Она полностью поддерживает концепцию цифровых двойников на всех этапах, что позволяет реалистично моделировать не только сами изделия, но и процессы их сборки.

Что же всё это означает на практике? Давайте еще раз посмотрим на вышеперечисленные этапы и

покажем основные возможности, предоставляемые новым подходом.

✓ Конструирование – проверка на технологичность

Геометрические модели изделий конструкторы создают в *NX* (или в других *CAD*-системах). Эти модели хранятся в *Teamcenter*, и их можно открыть в *3D*-формате *JT*. За считанные секунды приложение создает тысячи различных виртуальных исполнений изделия, точно соответствующих реальной продукции. При этом для выявления потенциальных проблем применяются технологии обработки больших данных, используется *PMI* (содержащаяся в моделях конструкторско-технологическая информация – допуски, посадки, связи

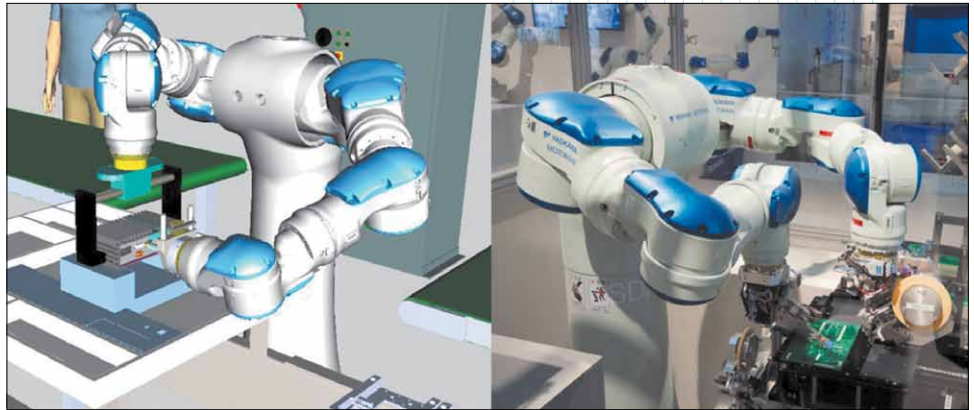


Рис. 1. Цифровой двойник цехового оборудования – промышленного робота “Motoman”

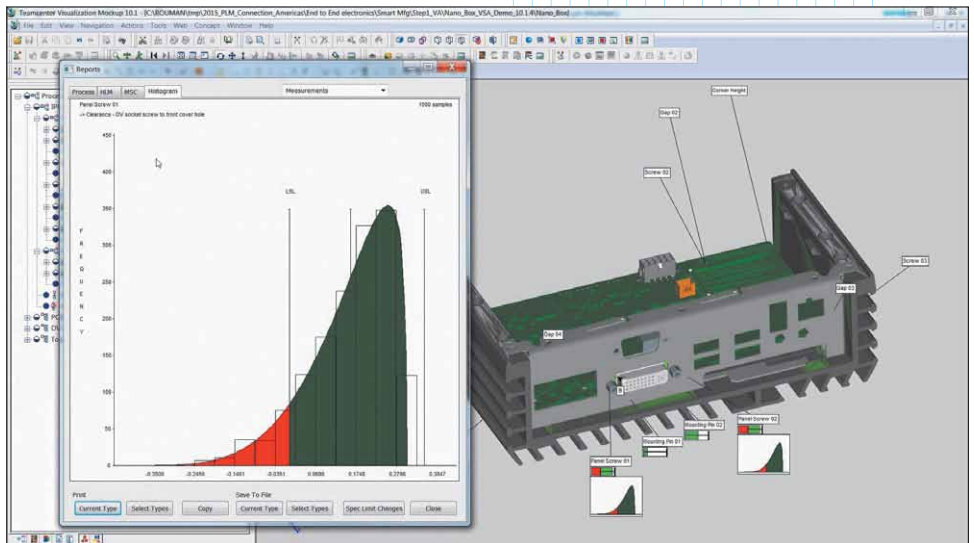


Рис. 2. В ходе конструирования цифровой двойник промышленного компьютера *Siemens Nanobox* проверяется на технологичность в модуле *Variation Analysis* (входит в *Teamcenter*). При этом виртуально изготавливаются тысячи изделий *Nanobox*. В ходе анализа было выявлено, что 9% изделий не будут соответствовать требованиям из-за неверно назначенных допусков. Для устранения проблемы были внесены изменения в цифровую конструкторскую модель. Такой подход позволяет избежать расходов на гарантийный ремонт

между деталями и узлами), а также базовое описание технологического процесса.

Этот подход уже был проверен на практике при создании выпускаемых компанией *Siemens* электронных изделий. Например, мы смогли сразу установить, что резьбовые отверстия на разъеме видеовыхода не совпадают точно с отверстиями под винты на печатной плате. Если бы ошибка осталась незамеченной, это привело бы к гарантийным претензиям от заказчиков: разъем мог бы отделиться от печатной платы. Выявление ошибок в конструкции на ранних этапах существенно экономит время и деньги – как при разработке технологии, так и в ходе производства (рис. 2).

✓ Проектирование технологических процессов

Цифровой двойник позволяет улучшить совместную работу конструкторов и технологов, оптимальным образом выбирать место и технологию изготовления, а также необходимые ресурсы. Рассмотрим пример, касающийся внесения изменений в процесс сборки изделий. Используя наши программные средства, инженеры-технологи на основе новой конструкторской спецификации (*BOM*) добавляют новые операции в рабочую *3D*-модель технологического процесса сборки. Можно смоделировать любую производственную систему, находясь при этом в любой точке земного шара (к примеру, технологи в Париже готовят производство на заводе в Рио). Обладая информацией о штучном времени по каждой добавленной операции, технологи проверяют, соответствует ли новый технологический маршрут заданным показателям производительности. Если это не так, то технологические операции заменяются или переставляются. Затем снова выполняется

симуляция процесса – до тех пор, пока выбранный технологический маршрут не будет удовлетворять требованиям. К новому техпроцессу незамедлительно получают доступ все заинтересованные лица, которые должны подтвердить его правильность. Если выявляются какие-либо проблемы, то конструкторы и технологи вместе работают над их устранением (рис. 3).

The screenshot displays a 'Time Analysis' window for the operation 'INSTALL OUTER CASE'. The table below summarizes the data shown in the image:

Operator Actions	CONTENT	TIME SYSTEM	TIME ATTRIBUTES	REPEATS	PER CYCLE	TIME (TIME)
1	OBTAIN OUTER CASE FROM CONTAINER	SAM	Get: 5 80 2 4	1	1	130
2	INSTALL OUTER CASE	Clock	Clock Time (seconds) VA NOA	1	1	194.44
	SECURE OUTER CASE	SAM	Use Type: 1 1 1 4 SPOT Screw with ratchet wrench: 20 2 4	1	1	140

Below the table, there is an 'Edit Time Attributes' section with a grid for 'Get', 'Put', 'Use', and 'Return' operations, showing various numerical values and units.

Рис. 3. При проектировании техпроцессов конструкторы и технологи совместно работают над созданием изделий. В технологическом процессе описывается, что именно изготавливается, где, каким образом, и какие для этого нужны ресурсы. На иллюстрации представлены этапы установки наружного корпуса компьютера Nanobox, а также расчетное время на каждое действие оператора

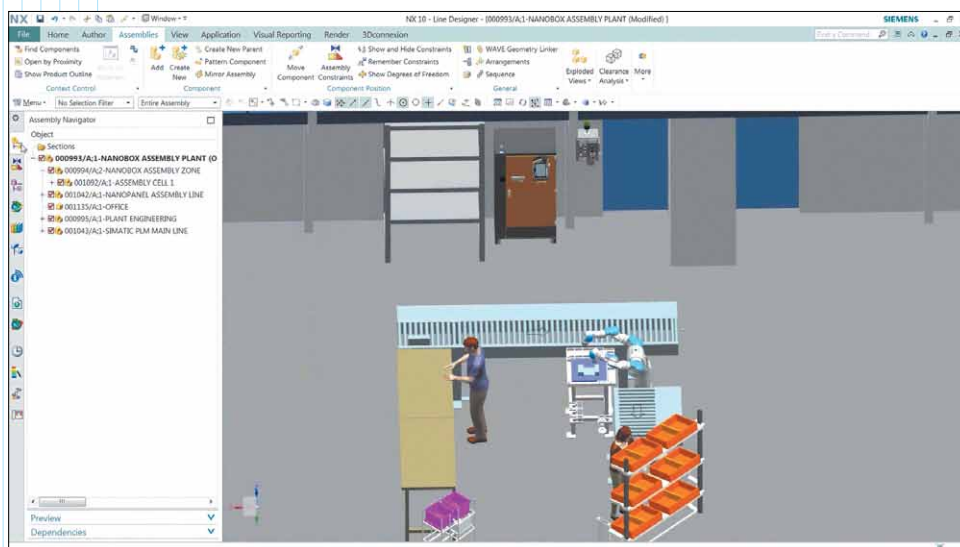


Рис. 4. Цеховые планировки: на основе занесенного в Teamcenter техпроцесса в системе NX создается цифровой двойник производственных мощностей по выпуску компьютера Nanobox. Управление размещением технологического оборудования также ведется через Teamcenter. Это обеспечивает постоянную синхронизацию конструкторского проекта, технологического процесса и производственной линии, что позволяет начать выпуск изделий без задержек

✓ **Цеховые планировки**

При работе над планировками мы рекомендуем создавать цифровой двойник цеха, содержащий механическое оборудование, системы автоматизации и ресурсы, причем неразрывно связанные со всей “экосистемой” конструкторско-технологической подготовки производства (рис. 4). С помощью предлагаемого набора PLM-инструментов технологические операции можно менять местами путем перетаскивания. Столь же легко выполняется размещение оборудования и персонала на производственной линии и моделирование её работы.

Это очень простой, но в тоже время исключительно эффективный способ создания и редактирования технологических процессов. К примеру, при внесении изменений в конструкцию, требующих применения нового промышленного робота, инженеры проверяют путем симуляции, позволят ли габариты установить его так, чтобы он не задевал конвейер. Разработчик цеховых планировок вносит необходимые поправки и подготавливает извещение об изменениях, на основании которого отдел закупок приобретает новое оборудование. Такой анализ последствий вносимых изменений позволяет избежать ошибок и сразу уведомлять поставщиков, которых это касается.

✓ **Валидация производственного процесса**

На этапе контроля цифровой двойник применяется для виртуальной проверки процесса сборки. Виртуальное моделирование и количественный анализ позволяют оценить все факторы, связанные с ручным трудом на сборочной линии, и выявить такие проблемы, как, например, неудобная поза рабочего. Это дает возможность избежать утомления и производственных травм. На основе результатов моделирования создаются учебные видеоролики и инструкции (рис. 5).

✓ **Оптимизация производственных процессов**

Цифровой двойник также применяется для статистического моделирования и оценки проектируемой технологической системы (рис. 6). С его помощью легко выяснить, следует ли использовать ручной труд, промышленных роботов или комбинацию роботов и рабочих. Можно выполнить симуляцию всех процессов, акцентируя внимание на разных критериях (вплоть до энергопотребления отдельного станка), чтобы максимально оптимизировать технологию. Анализ покажет, сколько

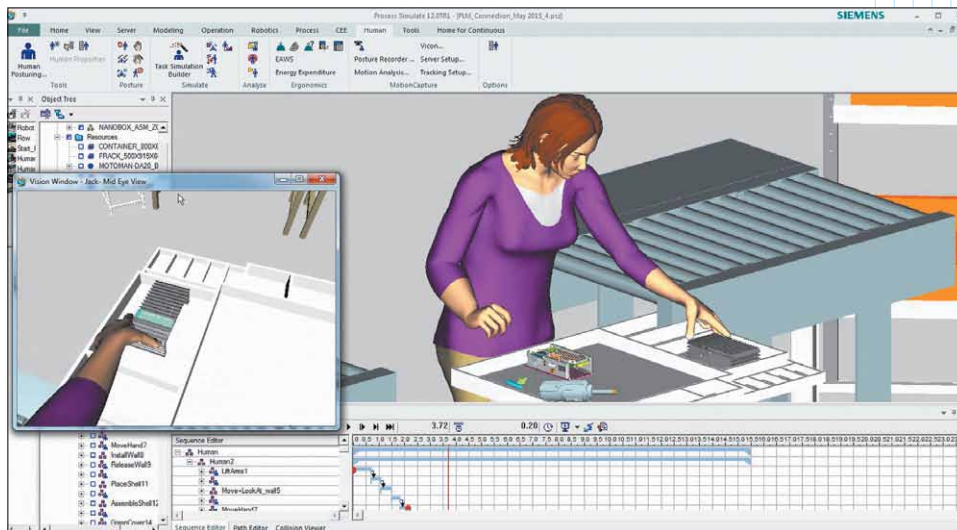


Рис. 5. Симуляция функционирования производственной системы с помощью её цифрового двойника позволяет детально проверить правильность технологического процесса. Симуляционным моделям присуща высокая степень интеллектуальности, что позволяет выполнять количественный анализ широкого ряда факторов, влияющих на безопасность труда рабочих

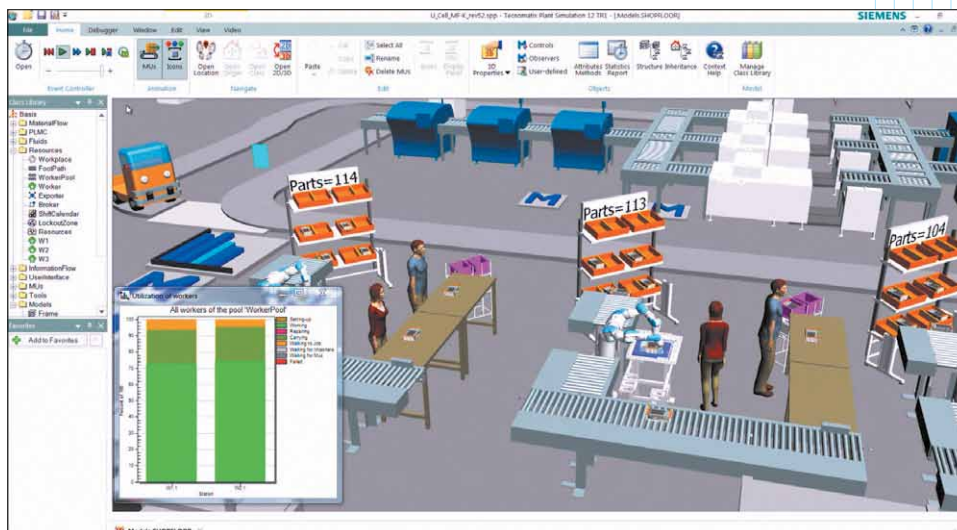


Рис. 6. Цифровой двойник проектируемой производственной системы по выпуску компьютера Napоxoh может служить для статистического моделирования и оценки. На иллюстрации видно, как люди и роботы трудятся вместе. Все ресурсы технологического участка задействованы в полной мере, а заданные показатели производительности достигнуты

деталей изготавливается на каждой операции. Это гарантирует, что производительность реальной производственной линии будет соответствовать заданной.

✓ Изготовление изделия

Обеспечив обратную связь физического мира с виртуальным, можно улучшить существующий производственный процесс, используя для этого возможности цифрового двойника (рис. 7).

Технологические инструкции вместе с видеороликами передаются прямо в цех, где операторы оборудования просматривают их (рис. 8). Операторы, в свою очередь, передают конструкторам информацию с “земли” (например, сведения о наличии зазора между двумя крепящими панель винтами), а другие автоматизированные системы собирают сведения о производительности. Затем производится сравнение конструкторского проекта и реально изготовленного изделия, а отклонения выявляются и устраняются.

Новые подходы к работе

Применение цифрового двойника, являющегося точной копией реального изделия, помогает быстро выявить потенциальные проблемы, ускоряет подготовку производства и сокращает себестоимость. Помимо этого, наличие цифрового двойника гарантирует возможность изготовления в цехе спроектированного конструкторами изделия; все технологические процессы синхронизированы и поддерживаются в актуальном состоянии; разработанные технологии оказываются работоспособными, а производство функционирует точно по плану. Цифровой двойник позволяет проверить, как можно “встроить” новые технологии в существующие производственные линии. Это устраняет риски, возникающие при закупке и монтаже оборудования.

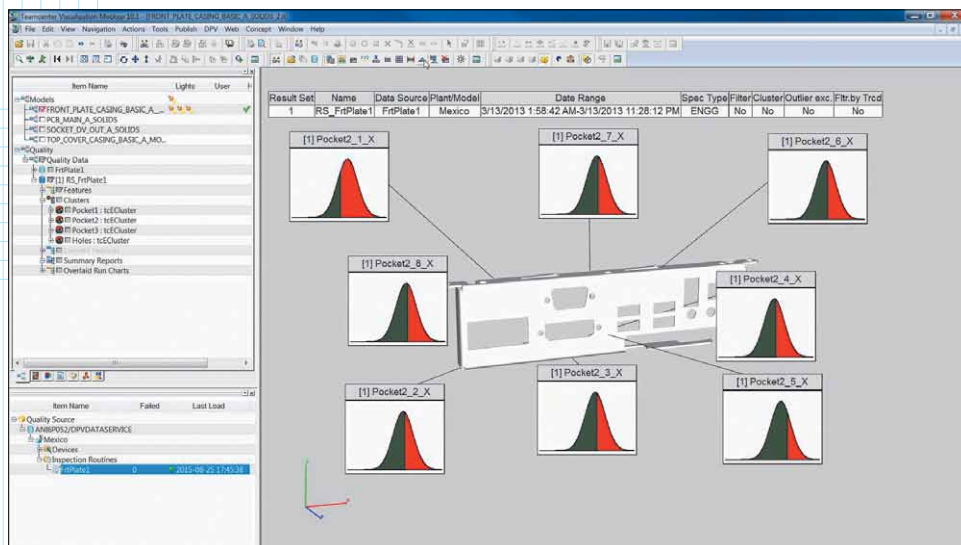


Рис. 7. На производстве наличие цифрового двойника обеспечивает обратную связь физического мира с виртуальным, позволяет сравнить конструкторский проект (as-design) с реально изготовленным изделием (as-build). Иллюстрация показывает, как технологии работы с большими данными применяются для сбора текущей информации по качеству продукции, которая передается для анализа в систему Teamcenter, где хранится цифровой двойник



Рис. 8. Цифровой двойник непосредственно связан с автоматизированной системой управления производством, что гарантирует надлежащее исполнение операций в цехе. На иллюстрации представлена электронная рабочая инструкция, связанная с техпроцессом, которая выводится для операторов оборудования на цеховом терминале SIMATIC IT

Машиностроение – одна из самых передовых отраслей мировой промышленности. При этом в отрасли традиционно полагаются на проверенные на практике, но устаревшие подходы к технологической подготовке производства. Пришло время привнести сюда дух инноваций, открывающий путь к успеху при разработке и изготовлении изделий. Пора попробовать что-то новое! 🧐