



## **Ключевые функциональность и преимущества использования цифровых двойников в промышленности**

**Кораблев А.В.**

Президент Концерна R-Про,  
Ген. директор Института инновационных технологий в бизнесе,  
Академик инженерной академии.

[korablev.a@r-p-c.ru](mailto:korablev.a@r-p-c.ru)

Современная промышленность цифровизируется сверхскоростными темпами. Все большее количество бизнес-процессов промышленного предприятия управляется с использованием цифровых технологий. Мало того, все большее количество производственно-технологических и др. процессов реализуются высокоавтоматизированным или роботизированным способом и для таких процессов любое управление, кроме цифрового вообще не возможно. Трендом последнего времени в развитии информационных технологий управления производством становится создание цифровых двойников. В настоящей статье делается попытка дать определение цифровому двойнику производства, систематизировать его основную функциональность, определить место в ландшафте цифровых систем предприятия и выявить основные преимущества от его использования.

### **Цифровые двойники и их типовая функциональность**

Цифровой двойник (Digital Twin) производства - это цифровая 3D имитационная модель производственной ячейки, линии, участка, цеха или производственного комплекса в целом. В данной модели может быть выполнена симуляция реализуемых в производстве основных и вспомогательных производственных, технологических, логистических и иных процессов, с целью расчёта и оптимизации требуемых организационно-технологических и технико-экономических параметров производства, с требуемой точностью и детализацией симуляции, вплоть до полной идентичности по всем цифровым параметрам, получаемым как из модели, так и из реального производства.

Причём цифровой двойник производства должен обладать возможностью в среде цифровой модели симулировать процесс создания цифровой модели производимой продукции - т. е. создать цифровой двойник продукта (или изделия). Проблематике создания цифровых двойников продукции, моделирования всех процессов работы продукта в двойнике на всём протяжении его жизненного цикла посвящено немало публикаций и работ. Далее в данной статье мы не будем рассматривать цифровые двойники продуктов и сосредоточимся на цифровых двойниках именно производства (производственной системы и её компонентов).

Создание цифровых двойников может осуществляться с использованием различных технологий, в зависимости от того создаётся ли двойник для будущего производства и от того в какой стадии проектирования находится данный производственный объект, или же он создаётся для уже существующего производства, а также в зависимости от назначения создаваемого двойника и степени требуемой детализации имитационной модели.

В настоящей статье мы не будем рассматривать технологии создания цифровых двойников - этой теме посвящена отдельная статья цикла R-Pro DIGITAL: повышение эффективности бизнеса, за счёт цифровых трансформаций.

Для целей создания цифровых двойников используется специальный класс программного обеспечения цифрового инжиниринга. Мы также не будем рассматривать здесь функционал данного ПО, так как это отдельная, хотя и очень интересная тема. Заметим лишь, что исследования рынка этого класса ПО можно найти и приобрести. Так, например, глубокое аналитическое и маркетинговое исследование программного обеспечения цифрового инжиниринга проведено Институтом инновационных технологий в бизнесе.

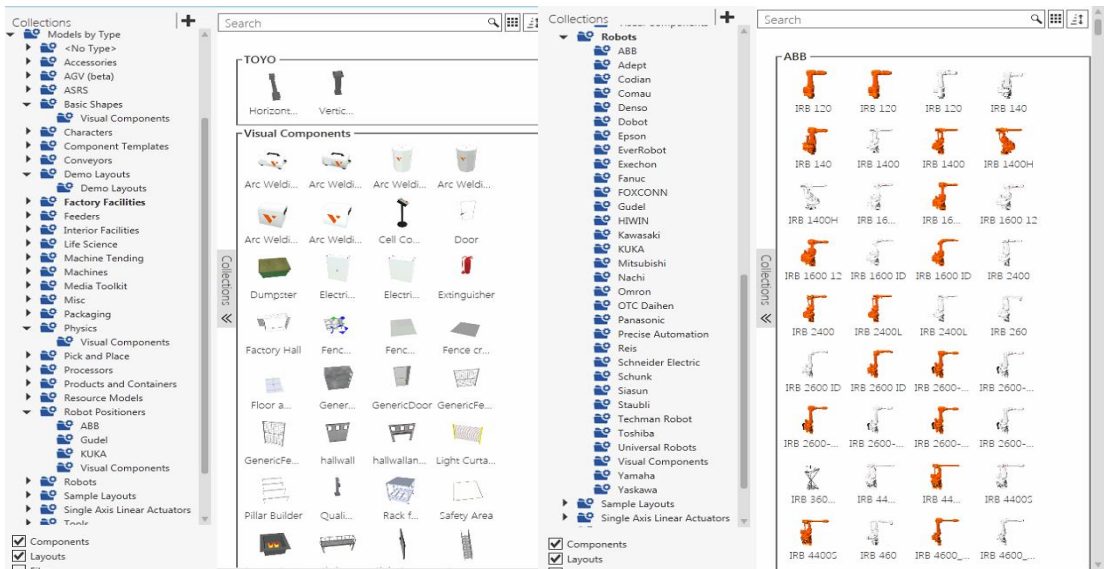
Мы же рассмотрим цели создания и, соответственно, функциональное назначение цифровых двойников в промышленности. Укрупнено, по назначению создаваемые цифровые двойники можно разделить на:

- цифровые компоненты
- цифровые прототипы
- цифровые демонстраторы / информаторы
- цифровые симуляторы / оптимизаторы
- цифровые программаторы
- цифровые тени
- цифровые менеджеры / советчики

### **Цифровые визуальные компоненты**

Цифровые компоненты или визуальные компоненты (Visual Components) - это цифровые двойники отдельных объектов, применяемых в производстве (станки, роботы, средства технологического оснащения, трансбордеры и пр. транспортно-логистические системы, манекены рабочих и т. п.) визуализирующие реализуемые ими производственно-технологические процессы (выполненные с требуемой для моделирования точностью, вплоть до полной идентичности с реальными объектами), которые затем используются для сборки из них более сложных производственных систем (производственных ячеек, участков, линий, цехов, фабрик и т. п.).

Компоненты - это своего рода «заготовки», «кубики» из которых мы затем, как в «конструкторе», собираем двойники производственных систем. Многие пользователи создают наборы тех компонентов, которые они используют - формируют так называемые библиотеки визуальных компонентов (Visual Components Libraries). Преимуществом некоторых программных продуктов цифрового инжиниринга является то, что они поставляются совместно с обширными библиотеками визуальных компонентов. Некоторые компании, оказывающие услуги цифрового инжиниринга специализируются на разработке и поставке библиотек компонентов, в том числе и на создании таких библиотек для своих клиентов по их заказам.

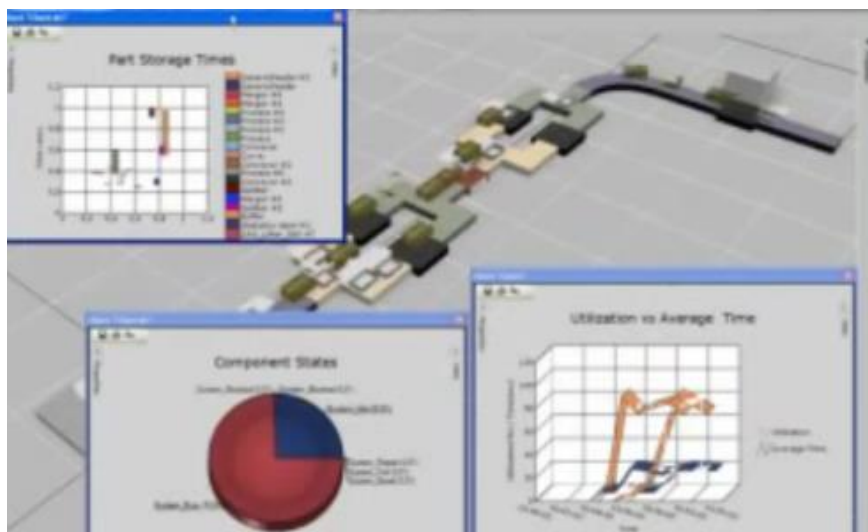


*Библиотека цифровых визуальных компонентов.*

## Цифровые прототипы

Цифровой прототип (Digital Prototype) - это упрощенная реализация цифрового двойника, симулирующая лишь некоторые динамические функции реального объекта, в зависимости от целей моделирования.

Цифровое Прототипирование (Digital Prototyping) применяется, как правило, на ранних стадиях создания цифрового двойника и / или когда необходимо проверить различные, в том числе альтернативные гипотезы или оценить сценарии работы объекта. К примеру, когда необходимо проверить только габаритное размещение оборудования в производственном помещении на возможность перемещений заготовок при таком размещении, или для расчёта лишь нескольких параметров процессов, к примеру, для расчёта только ритма и такта производственной линии, когда расчёт других параметров, на текущем этапе проектирования не требуется и в т. п. ситуациях. Упрощённая реализация двойника позволяет сделать симуляции и произвести расчёты необходимые на соответствующем этапе работ, при минимальных затратах на создание двойника.



*Цифровое прототипирование*

## Цифровые двойники для демонстрационных целей

Производители оборудования и роботов, системные интеграторы роботов, средств и систем промышленной автоматизации, проектные организации, создающие новые или модернизирующие действующие производства, используют цифровые двойники для визуальной демонстрации клиентам своих решений и эффекта от их внедрения. Согласитесь, что ни какой технический документ или расчёт не произведёт такого эмоционального эффекта на клиента, как если показать ему тот производственный объект, которого нет в реальности, но он работает именно так как хочет клиент в виде цифрового двойника, причём достигает именно тех технических параметров, которые и заданы в ТЗ заказчика.



*Цифровая демонстрация*

Другим направлением использования цифровых двойников этого типа может являться их применение для информационно-демонстрационных целей. Иногда такие двойники называют цифровыми информаторами. На их основе, к примеру могут создаваться 3D цифровые туры по производству, с предоставлением пользователям всех необходимых цифровых данных в нужное время демонстрации, электронные динамические инструкции и руководства пользователей, к примеру, по реализации производственных процессов, по настройке, сборке-разборке, тех. обслуживанию и ремонту оборудования и пр.

Важным преимуществом таких цифровых двойников перед различными мультимедийными программами является реалистичность отображения информации в двойнике, по отношению тому как реализуются процессы в реальном производстве, вплоть до полной идентичности.

Современным трендом использования данного типа двойников является их применение в среде виртуальной / дополненной реальности (Virtual Reality / Augmented Reality - VR / AR), что позволяет пользователям погрузиться непосредственно внутрь

цифрового двойника, что создаёт комплекс дополнительных эффектов и возможностей, связанных с 3D визуализацией и эффектом присутствия / погружённости.

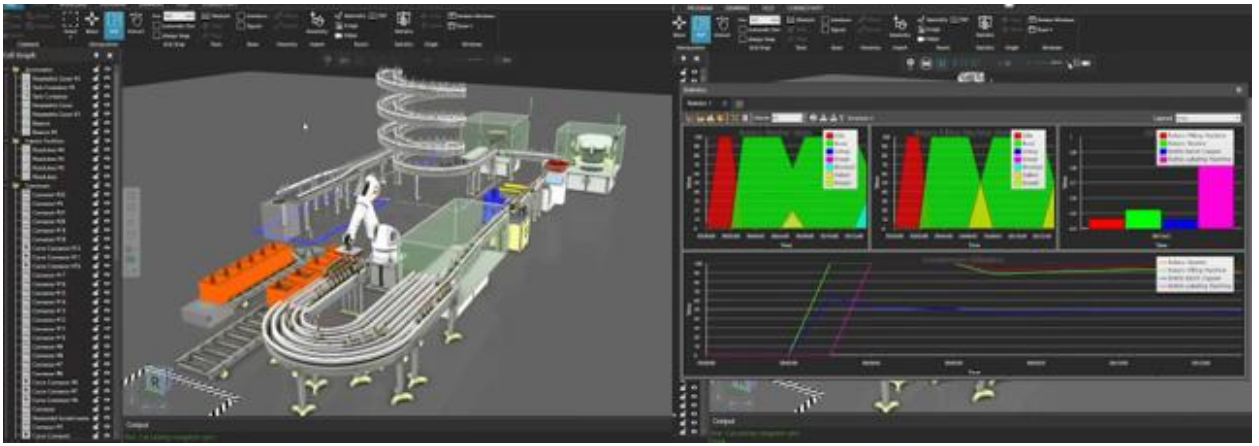


*Виртуальная / дополненная реальность*

### **Цифровые двойники для симуляции и оптимизации процессов**

Наиболее значимая функциональная задача, для решения которой применяются цифровые двойники - это 3D имитационное моделирование производственно-логистических процессов, с целью их проектирования, отладки и оптимизации. Эта задача может решаться как на стадии создания новых производств или модернизации действующих, так и на стадии их непосредственной эксплуатации.

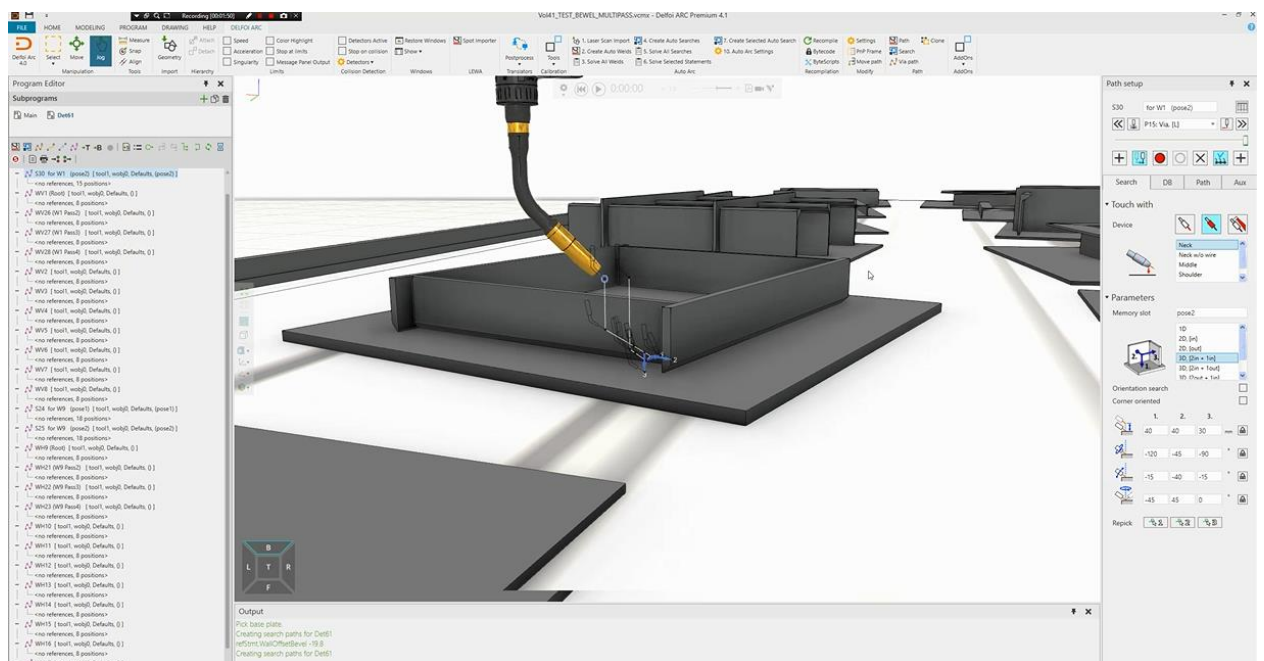
С использованием цифрового двойника может быть произведено имитационное моделирование процессов производства и рассчитаны все необходимые организационно-технологические параметры, такие как потраченные на выполнения процессов человеко и машино часы, время полезного использования оборудования, время переналадки и простоя, параметры съема продукции в единицу времени и многое другое. Задавая разные сценарии выполнения процессов в двойнике, могут быть найдены оптимальные технология и организация реализации процессов. Для целей процессной оптимизации в двойнике, также как и в реальном производстве, по результатам симуляции собираются необходимые параметры, проводится их статистический, прогностический и пр. анализ ( для этих целей статистические данные полученные в цифровом двойнике, могут быть импортированы в различные статистические программные пакеты), используются принципы и методы их оптимизации, известные в научной организации труда, в частности, инструменты бережливого производства (Лин Шесть Сигма - Lean Six Sigma - LSS) и пр.



### *Аналитика цифрового двойника.*

Также могут быть смоделированы и минимизированы различные промышленные риски.

Для технологически сложных процессов, таких например, как сварка или резка, могут быть смоделированы и оптимизированы многие технологические параметры, такие как траектории сварных швов или резов, температурные режимы, расход сварочных материалов и мн. др.

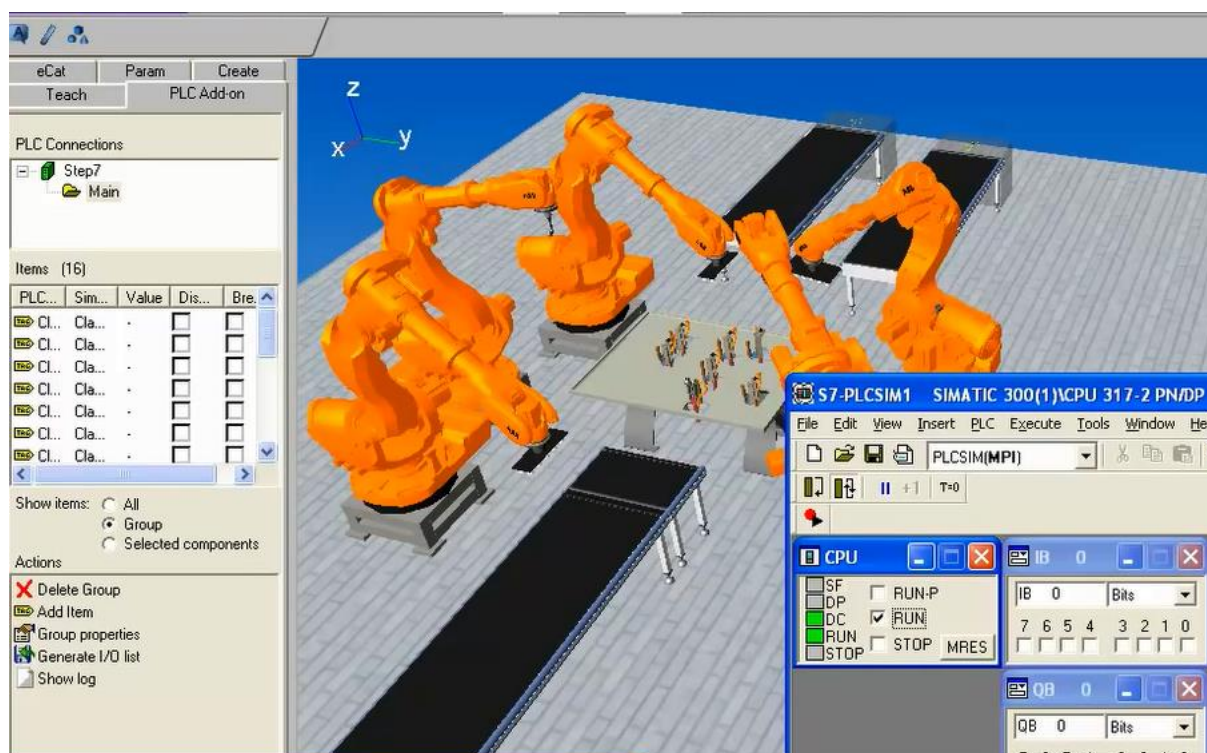


### *Оптимизация процессов сварки при офлайн программировании в цифровом двойнике.*

## **Цифровые двойники для офлайн программирования**

С использованием цифрового двойника, программирование и отладка промышленных роботов и промышленного оборудования с цифровым интеллектуальным управлением может быть перенесена из реального производства в офлайн режим. Это позволяет, например, вместо того чтобы оператор в цехе программировал робота с его пульта и там же отлаживал работу программы, выводя оборудование на это время из полезного использования (т. е. выполнял бы программирование и отладку в онлайн режиме), реализовать их в офисе цифрового инжиниринга в режиме офлайн - т. е.

выполнить офлайн программирование (Offline programming - OLP), а затем загрузить готовую программу непосредственно в систему управления роботом. При этом, реальное оборудование в течении времени, которое занимает офлайн программирование и отладка, работает в штатном режиме. Нет ни каких отходов тех заготовок, которые, например, используются для процесса натуральных испытаний и отладки программы, а затем идут в брак или отходы - все испытания проводятся в цифровом двойнике, а необходимость натуральных испытаний отпадает. Иногда перевод программирования роботов в офлайн режим дает просто феноменальные преимущества, обеспечивая не только эффект сокращения издержек процессов, но и порождая новое их качество и добавленную ценность производимой продукции. В частности, это касается точности и качества реализации производственных процессов, скорости их выполнения, что влияет на потребительские свойства создаваемой продукции и не может быть достигнуто без офлайн программирования.



### *Офлайн программирование и отладка в цифровом двойнике*

Цифровые двойники данного назначения должны обладать самой высокой степенью идентичности реальным объектам, так как с их помощью создаются технологические программы работы оборудования и, если цифровой двойник не соответствует реальному объекту, то при запуске программы, созданной в двойнике, в реальности, возможны некорректное исполнение технологических операций, производство брака, поломка оборудования, несчастные случаи с рабочими.

Поэтому, перед переводом программирования интеллектуально управляемого оборудования в офлайн режим, выполняется так называемая калибровка цифрового двойника (Digital twin calibration). Калибровка - это комплекс испытаний и отладки цифрового двойника по обеспечению его идентичности реальному производственному объекту, с требуемой в соответствии с целями моделирования точностью совпадения организационно-технологических параметров, снимаемых как с двойника, так и с реального объекта. Эти работы также выполняются специализированными компаниями, оказывающими услуги цифрового инжиниринга, как сервис.

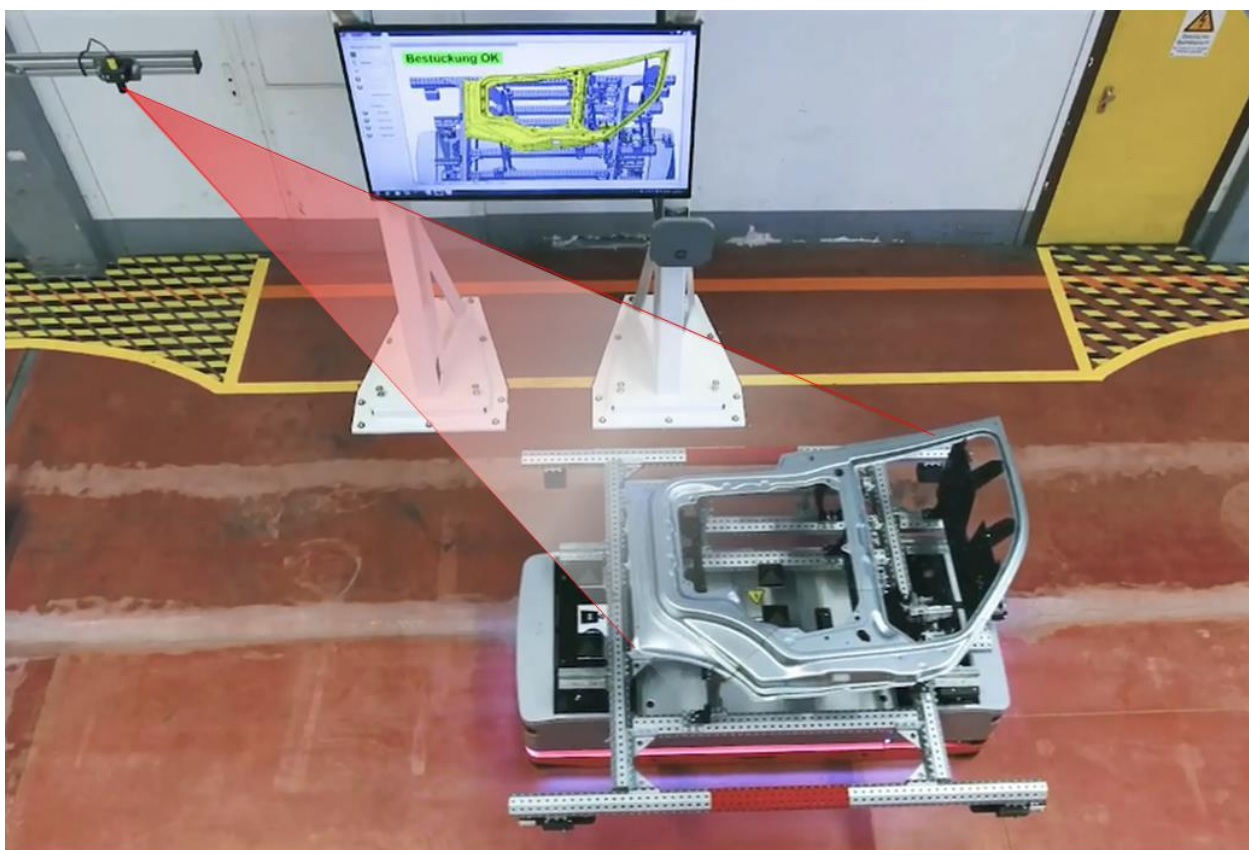
Готовая программа загружается в робот, как правило, через промышленную сеть или с использованием технологии индустриального интернета вещей (Internet of Things). В

конце концов, её можно загрузить в систему управления робота и с флеш-карты. Для того, чтобы программа, разработанная в цифровом двойнике, корректно загрузилась и исполнялась системой цифрового управления оборудованием, необходимы специальные средства интерфейса - пост-процессоры (Post processors). Такие программы, должны разрабатываться в комплекте с цифровым двойником и обеспечивать интерфейс по передаче офлайн программы, разработанной в двойнике в систему управления робота или иного автоматизированного оборудования. Постпроцессоры могут входить в комплект поставки или оборудования или ПО цифрового инжиниринга или могут быть разработаны под заказ, компаниями, оказывающими услуги цифрового инжиниринга и офлайн программирования.

### **Цифровые тени**

Цифровые тени (Digital Shadows) - это цифровые двойники, которые имеют возможность в режиме онлайн принимать цифровую информацию от соответствующих систем цифрового управления оборудованием и пр. АСУТП (всевозможных датчиков, контроллеров, сенсоров, систем технического зрения), собирая эти данные посредством промышленной сети или Интернета вещей (Industrial Internet of things).

Как правило, выгрузка данных из оборудования в двойник осуществляется с использованием аналогичного постпроцессора, что и для загрузки данных.



*Отображение данных в цифровой тени*

Сравнение данных цифрового двойника - оптимизатора и его цифровой тени выявляет расхождения между производственными процессами «как должно быть» (As Mast Be) и процессами «как есть» (As Is), что позволяет проводить дальнейшую оптимизацию и непрерывное совершенствование (Continues Improvements) процессов.



Кроме того, по данным цифровой тени можно производить оперативное управление производством, в том числе и в режиме онлайн. Для этой задачи используются цифровые менеджеры.

### **Цифровые менеджеры**

Цифровые менеджеры - это цифровые двойники, которые имеют возможность в режиме онлайн принимать цифровую информацию от цифровых двойников других типов (симуляторы, программаторы тени и пр.), оперативно ее интегрировать, анализировать и осуществлять модели-регулируемое управление, выбирая оптимальные производственные решения и выполняя их путём загрузки необходимых офлайн программ непосредственно в системы цифрового управления соответствующим оборудованием. К такому подходу собственно и стремится современная парадигма Индустрии 4.0, вплоть до создания полностью безлюдных производств.

В настоящее время наиболее часто, использование этого типа двойников реализуется для частных задач управления производственными процессами, контроль которыми невозможен кроме как посредством получения данных с цифровых систем управления оборудованием или датчиков при невозможности доступа менеджеров к такому оборудованию, например, для сложных комплексных многофункциональных автономных производственных ячеек роботизированной сварки, резки, покраски и т. п., для управления сервисной робототехникой, к примеру, внутритрубными роботами дефектоскопами для нефтегазовой промышленности, а также для онлайн управления самодвижущимися роботами транспортёрами в производстве и логистике и пр.

Частным случаем этого направления использования цифровых двойников является создание цифровых советчиков. Это тип двойников, которые, анализируют информацию, полученную с использованием цифрового симулятора, а также полученную из цифровой тени и осуществляет поиск оптимального решения (или вариантов возможных решений) текущей ситуации и предлагая (советуя) его (их) менеджерам производства.



*Центр цифрового управления производственной компании*

## **Эффекты от применения цифровых двойников в промышленности**

Рассматривая ключевую функциональность цифровых двойников, мы уже отмечали те преимущества, которые обеспечивает каждый их тип. Теперь же суммируем те эффекты, которые может получить современное промышленное предприятие от создания цифровых двойников своего производства. Итак, цифровые двойники в промышленности обеспечивают следующие эффекты:

- ускорение и сокращение издержек производственно-технологических и логистических процессов
- сокращение доли ручного труда в производстве
- сокращение простоев и повышение степени полезного использования оборудования
- значительное сокращение времени на переналадку оборудования с цифровым управлением
- повышение качества процессов и производимой продукции, сокращение брака
- повышение безопасности и эргономики труда в производстве
- сокращение трудоёмкости и повышение качества процесса управления производством
- повышение эффективности маркетинга и объемов продаж индустриального оборудования, решений промышленной автоматизации, системной интеграции, промышленного инжиниринга и т. п.
- ускорение и увеличение объёма возврата инвестиций (ROI) при реализации проектов создания новых и модернизации действующих производств

и некоторые другие...

Роль цифровых двойников для повышения эффективности бизнеса неуклонно возрастает и все возрастающими темпами, причём так, что сегодня, уже можно утверждать, что те компании, которые не внедряют данные технологии, буквально с каждым днём поигрывают в своей конкурентоспособности. Свидетельство тому, что современным трендом в развитии бизнеса промышленных компаний является цифровизация служит то, что сегодня все большее количество компаний создаёт в своей структуре службы или офисы цифровых трансформаций (Digital Transformation Office), возглавляемые CDO (Chief Digital Officer), главной задачей которых является создание и эффективное использование цифрового двойника своего производства.

А насколько высок Ваш уровень конкурентоспособности? - Вы уже используете цифровой двойник Вашего производства?

В данной статье мы рассмотрели основное функциональное назначение и тот эффект, который приносят цифровые двойники. Читайте цикл статей - R-Pro DIGITAL: повышение эффективности бизнеса, за счёт цифровых трансформаций, чтобы узнать все нюансы о возможностях и эффектах цифровых преобразований для Вашего бизнеса.

*Статья подготовлена по материалам компании R-Про Консалтинг ([www.r-p-c.ru](http://www.r-p-c.ru))*