

DOI: 10.25728/avtprom.2020.05.01

Автоматизация сборочных производств уровня Industry 4.0

Н.И. Аристова (ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН)

Рассмотрены преимущества, которые смогут получить машиностроительные промышленные предприятия, оснащенные автоматизированными сборочными линиями, благодаря применению таких инновационных технологий, как промышленный Internet вещей, облачные технологии, алгоритмы работы с большими данными, блокчейн, дополненная и смешанная реальность, цифровые двойники, алгоритмы распознавания образов, аддитивные технологии. Показана роль человека в производственных и автоматизированных сборочных линиях уровня Industry 4.0. Описаны технологии, повышающие эргономические характеристики рабочих мест оператора.

Ключевые слова: сборочные линии, промышленный Internet вещей, облачные технологии, большие данные, блокчейн, дополненная и смешанная реальность, цифровые двойники, алгоритмы распознавания образов, аналитические платформы, аддитивные технологии, эргономика.

Введение

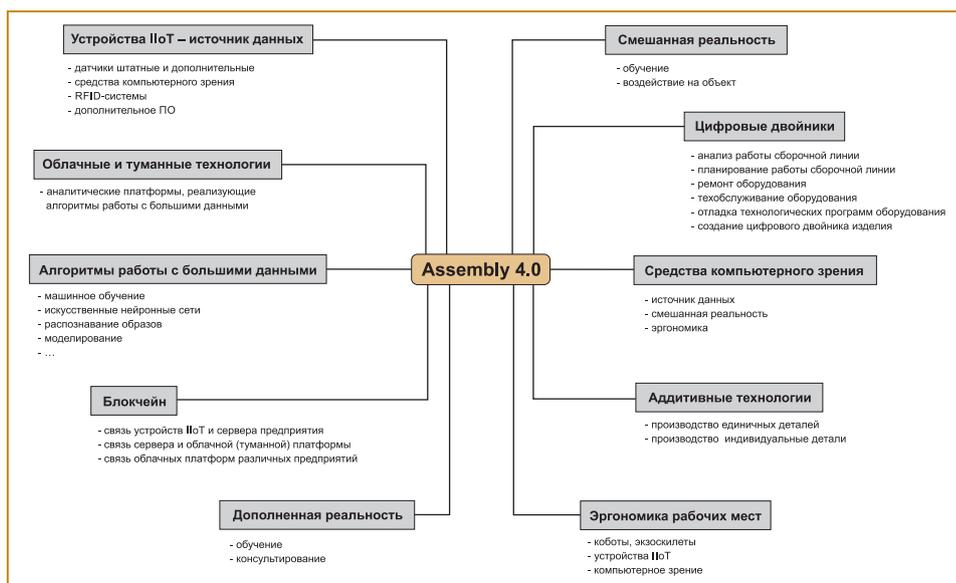
Для повсеместной цифровизации, в условиях которой мы сегодня живем, характерны радикальные изменения, интегрирующие многие новые цифровые технологии в производственные процессы. Одна из главных задач цифровизации — устранение человеческого фактора на этапе сбора данных (уход от ручного ввода данных и бумажных носителей), работа с производственными данными в темпе реального времени. На современном уровне промышленные предприятия могут использовать в работе целый ряд достижений наук и техники: технологии работы с большими данными, включая, например, алгоритмы искусственного интеллекта, машинного обучения и самообучения и др.; облачные вычисления, промышленный Internet вещей, элементы виртуальной

и дополненной реальности, аддитивные технологии, блокчейн и т. д.

Все сказанное справедливо и для машиностроительных промышленных предприятий, оснащенных автоматизированными сборочными линиями. На автоматизированной сборочной линии собираемое изделие последовательно перемещается с одной рабочей позиции на другую, где над полуфабрикатом выполняются операции в соответствии с технологическим процессом сборки. В выполнении технологического процесса задействованы люди, инструменты, технологическое оборудование (автоматы, роботы) и комплектующие детали. Каждый работник обычно выполняет одну простую технологическую операцию. Все детали или собираемые узлы перемещаются транспортерами или моторизованными транспортными

средствами от одной рабочей позиции к следующей. При этом на рабочих станциях выполняется последовательное присоединение деталей до тех пор, пока не будет выполнена окончательная сборка. В этой производственной системе технологические операции выполняются в строгой последовательности, предусмотренной сборочным технологическим процессом.

Сборочные линии были новаторами, начиная с эпохи механизации. Поэтому ожидаемо, что сборочные системы станут активными пользователями технологий Industry 4.0 на всех



Применение инновационных технологий на сборочных линиях уровня Industry 4.0

этапах, включая ввод сборочного оборудования в эксплуатацию, выполнение сборочных операций, мониторинг за работой оборудования сборочной линии, поддержку работы оператора, оснащение его рабочего места. Отдельные зарубежные исследователи говорят в этой связи о создании сборочных систем уровня 4.0 — Assembly 4.0 [1]. Рассмотрим возможности применения современных инноваций на машиностроительных сборочных участках (рисунок).

Источники производственных данных — Industrial Internet of Things

Современные промышленные производства, в том числе сборочные, характеризуются стремлением собрать и обработать как можно больше информации о ходе технологического процесса, о состоянии оборудования, о местонахождении изготавливаемых изделий, их качестве и т.д. Анализ всей этой информации позволяет своевременно реагировать на производственные отклонения, принимать упреждающие меры, тем самым, повышая производительность и качество выпускаемых изделий, конкурентоспособность предприятия в целом.

Для реализации указанных потребностей в условиях Industry 4.0 значимым этапом является сбор производственных данных и тесно связанная с ним технология промышленного Internet вещей.

Промышленный Internet вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) — технология, обеспечивающая информационное взаимодействие вычислительных средств предприятия, подключенных к компьютерной сети предприятия или сети *Internet*, без непосредственного участия человека. Другими словами, информация, поступающая от встроенных в промышленное оборудование датчиков и программного обеспечения, собирается на производственном сервере и в дальнейшем передается в облако (локальное или глобальное) для обработки и анализа.

В рамках технологии IIoT используется информация от датчиков, штатно установленных в мехатронных узлах промышленного оборудования, а также от дополнительных датчиков, устанавливаемых на критически важных производственных узлах и компонентах, за которыми требуется пристальное слежение. Дополнительные датчики устанавливаются также на производственные участки, которые являются узким местом в сборочной системе (бутылочным горлом), чтобы выявлять и устранять производственные проблемы.

В системах уровня IIoT могут использоваться самые различные датчики измерения физических величин. Отдельно отметим важность интеграции IIoT систем с технологиями компьютерного зрения как источника производственной информации, значительно расширяющих возможности фиксации и анализа информации со сборочной линии.

Компьютерное зрение уже не первый год используется в сборочных системах для различных целей, таких как контроль качества выпускаемого полуфабриката, управление потоком комплектующих и т.д. Компьютерное зрение реализуется путем установки внешних видеодатчиков на конвейере, чтобы отслеживать и фиксировать действия в заранее определенной области сборочной линии. Решение отличается большой адаптируемостью и гибкостью, поскольку различные типы оптических датчиков могут быть просто и быстро перемещены в сборочной среде без какой-либо специфической инфраструктуры.

Следующим IIoT источником информации на сборочной линии служат RFID¹-системы, которые автоматически, в беспроводном режиме передают информацию об объекте (детали, полуфабрикате) на сервер в реальном времени. Технология RFID используется для решения задач автоматизированного контроля перемещения объектов, учета большого числа продукции и т.д.

Источником дополнительной производственной информации являются также системы управления технологического оборудования (роботы, ПЛК, контроллеры движения и т.д.), из которых извлекается информация для анализа, не предусмотренная для предоставления пользователю в штатном режиме работы. Для доступа к этой информации разрабатываются специальные программные приложения [2].

Таким образом, для реализации указанной тенденции по сбору максимальной информации о сборочном процессе технологические линии оснащаются дополнительными датчиками, видеокамерами, RFID-системами, комплексами технического зрения и прочим оборудованием — источниками искомой информации, а также периферийными вычислительными устройствами, способными на локальном уровне произвести первичную обработку данных. Далее отфильтрованная информация по коммуникационным каналам передачи данных поступает на сервер предприятия или в специализированное облако, где происходит аналитическая обработка информации.

Для обработки значительных объемов информации потребовалась разработка специальных баз данных и алгоритмического обеспечения, получивших название — технологии работы с большими данными.

Большие данные

Большие данные — наборы данных, размер которых превосходит возможности типичных баз данных по записи, хранению, управлению и анализу информации. Это данные структурированного и неструктурированного вида, получаемые из различных источников. Основными характеристиками больших данных традиционно являются «три V»: объем (*volume* — величина физического объема), скорость (*velocity* — необходи-

¹ RFID (Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) — способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в RFID-метках.

мость высокоскоростной обработки и получения результатов), многообразие (*variety* — возможность одновременной обработки различных типов данных).

В качестве базового принципа обработки больших данных отмечают горизонтальную масштабируемость — возможность добавлять к системе новые узлы, серверы, процессоры для увеличения общей производительности.

В отчете McKinsey выделяются методы и техники анализа, применимые к большим данным [3]:

- методы класса Data Mining: обучение ассоциативным правилам, классификация (методы категоризации новых данных на основе принципов, ранее примененных к уже наличествующим данным), кластерный анализ, регрессионный анализ;

- краудсорсинг — категоризация и обогащение данных силами широкого, неопределенного круга лиц, привлеченных на основании публичной оферты, без вступления в трудовые отношения;

- смешение и интеграция данных — набор техник, позволяющих интегрировать разнородные данные из разнообразных источников для возможности глубинного анализа (например, цифровая обработка сигналов и обработка естественного языка);

- машинное обучение, включая обучение с учителем и без учителя, а также использование моделей, построенных на базе статистического анализа или машинного обучения для получения комплексных прогнозов на основе базовых моделей;

- искусственные нейронные сети, сетевой анализ, оптимизация, в том числе генетические алгоритмы;

- распознавание образов;

- прогнозная аналитика;

- имитационное моделирование;

- класс методов пространственного анализа, использующих топологическую, геометрическую и географическую информацию в данных;

- статистический анализ;

- визуализация аналитических данных — представление информации в виде рисунков, диаграмм, с использованием интерактивных возможностей и анимации как для получения результатов, так и для использования в качестве исходных данных для дальнейшего анализа.

Все перечисленные технологии работы с большими данными могут применяться для обработки информации, собранной в условиях Assembly 4.0. Например, в [4] применительно к решению задач автоматизации сборки рассмотрены: системы, основанные на знаниях (экспертные системы), алгоритмы нечеткой логики, методы автоматического извлечения знаний, нейронные сети, генетические алгоритмы, рассуждения на основе прецедентов, многоагентные системы и распределенные самоорганизующиеся системы.

Облачные аналитические платформы

В условиях Assembly 4.0 ресурсы сборочной системы — детали, оборудование и персонал становят-

ся источниками большого объема информации. Для обработки собранных данных используются не отдельные алгоритмы, а комплексные аналитические платформы, способные обеспечить решение очень сложных задач за очень ограниченное вычислительное время. Для запуска аналитических приложений в большинстве случаев используются облачные или туманные вычисления.

Облачные технологии — модель обеспечения удобного сетевого доступа по требованию к некоторому общему фонду конфигурируемых вычислительных ресурсов, расположенных в облаке (локальном или глобальном — Internet), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами или обращениями к провайдеру. Потребители облачных технологий могут значительно уменьшить расходы на инфраструктуру информационных технологий и гибко реагировать на изменения вычислительных потребностей. Все задачи по развертыванию информационных ресурсов, поддержанию их в работоспособном состоянии, обеспечению их доступности лежат на владельце этих вычислительных ресурсов — центрах обработки данных.

Туманные технологии — аналог облачных, но вычислительные ресурсы расположены в пределах самого предприятия. Преимущества туманных технологий заключаются в их близости к источникам данных и их пользователям, в оперативном анализе потоков данных внутри предприятия.

Отметим некоторые аналитические IoT платформы и решения, разрабатываемые мировыми лидерами промышленной автоматизации. Платформа IoT — многоуровневая система, включающая устройства сбора данных (установленные на узлах и агрегатах технологического оборудования), средства передачи собранных данных, их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации и другие компоненты.

В развитие аналитических платформ уровня IoT инвестируют фирмы, традиционно работавшие в сфере промышленной автоматизации (например, открытая облачная операционная система IoT MindSphere от Siemens, облачная платформа для IoT Predix от Schneider Electric), а также компании с опытом многолетних разработок в области офисного ПО и управления производством верхнего уровня, баз данных и коммуникаций. Перечислим некоторые из доступных на рынке решений этой группы разработчиков, создаваемые для IoT и адаптированных в последствие для работы с промышленными приложениями (IIoT): Oracle Internet of Things Cloud Enterprise, IoT-платформа Lumada, Intel IoT Platform, IBM Watson IoT, SAP HANA, Azure Microsoft и др. [5]. В отдельную группу выделим две специализированные платформы уровня IIoT, история которых началась с появлением промышленного Internet вещей: ThingWorx IoT от компании PTC и Winnum IIoT от компании Winnum.

Применение принципов IIoT и облачных аналитических платформ для сборочных линий

Обработанная в аналитических системах информация возвращается обратно на сборочную линию. В результате предприятие получает рекомендации, например, по обслуживанию и ремонту оборудования, по настройке параметров производственной линии, может контролировать состояние изделий на входе/выходе с конвейера и т. д. Информация выводится на мониторы диспетчера и позволяет визуально следить за технологическим процессом и его отклонениями от нормы.

Наиболее часто аналитическая информация применяется для организации различных подходов к техобслуживанию, а также самоконфигурирования и самонастройки оборудования, что справедливо не только для дискретных, но в той же мере и для непрерывных производств. Собранная с производственных датчиков информация помогает своевременно вывести линию в ремонт или осуществить профилактические мероприятия, отследить правильность использования и хранения инструментов и т. д. На смену разрозненным станкам приходит централизованная сборочная линия, которая дает возможность контролировать работу сборочного участка в целом.

Применение технологии IIoT не только расширяет возможности по обслуживанию и эксплуатации сборочной линии, но также помогает автоматизировать слежение за ходом сборочного процесса. В эпоху Assembly 4.0 каждая деталь, заготовка, полуфабрикат может быть оснащена устройством IIoT, например, RFID-меткой. За счет этого сборочные комплектующие могут «общаться» друг с другом и передавать информацию о процессе сборки в диспетчерский центр. При этом каждая сборочная единица обладает некоторыми знаниями, контекстной информированностью, которые позволяют ей «участвовать» в принятии производственных решений, например, на этапе контроля качества.

В качестве иллюстрации приведем единую сборочную линию компании Harley Davidson, выпускающую знаменитые мотоциклы пяти моделей с возможностью их кастомизации. При этом заказчику предлагается выбор из более 1300 вариантов. Каждый станок оснащен датчиками, каждая деталь — радиометкой, которая однозначно идентифицирует изделие и его производственный цикл. Данные от датчиков сборочной линии передаются в платформу, обрабатывающую данные, куда также поступает информация из различных производственных и бизнес информационных систем компании Harley Davidson, а также из информационных ресурсов ее контрагентов. Благодаря реализованному решению стало возможным быстро комплектовать выпускаемые изделия под потребности заказчика. При этом оборудование стало работать намного надежнее и стабильнее. Раньше станки могли ломаться из-за высокой влажности или жары, но теперь микроклимат регулируют датчики —

вплоть до частоты вращения вентиляторов. В результате производственный цикл, включающий и сборочные операции, в Harley Davidson удалось сократить с 21 дня до 6 ч (<https://habr.com>, <https://www.it.ua/>).

В настоящее время для повышения эффективности технологического процесса и выявления потенциальных проблем в процессе сборки используется компьютерное моделирование. Наличие подробной информации о технологическом процессе, собранной благодаря IIoT, и возможности алгоритмов обработки больших данных, реализованные в аналитических облачных приложениях, расширяют функциональность технологий компьютерного моделирования, позволяя строить модели сборочных участков уровня Industry 4.0, получившие название цифровых двойников.

Цифровые двойники сборочных участков

Цифровой двойник производства — цифровая модель производственной ячейки, линии, участка, цеха или производственного комплекса в целом, содержащая необходимые данные о производственном объекте и реализуемом в нем процессе, поддерживаемая в актуальном состоянии в реальном времени. Цифровой двойник позволяет моделировать основные и вспомогательные производственные, технологические, логистические и иные процессы с целью расчета и оптимизации требуемых организационно-технологических и технико-экономических параметров производства. Моделирование осуществляется с требуемой точностью и детализацией, вплоть до полной идентичности по всем цифровым параметрам, получаемым как из модели, так и от реального производства. Цифровой двойник позволяет в любой момент времени выдать состояние объекта, рассчитанное по модели. По разнице оригинала и модели можно сделать вывод об изменениях на объекте. Для реализации цифровых двойников наиболее часто используются алгоритмы машинного обучения.

Перечислим некоторые практические задачи, которые позволяет решать цифровой двойник сборочной линии.

1) Цифровой двойник обеспечивает не только полный контроль над сборочной линией в режиме реального времени, но и некоторые возможности прогнозирования, например, позволяет заблаговременно обнаружить признаки будущего сбоя в работе оборудования и рекомендовать выполнение немедленного техобслуживания. Таким образом, ожидается, что частота отказов оборудования в Assembly 4.0 среде будет значительно снижена, что приведет к более высокой пропускной способности.

2) Цифровой двойник может интегрироваться с системой уровня MES. В этом случае используя, например, сменно-суточные задания из MES в цифровом двойнике можно отладить технологический процесс сборки новой продукции или работу новой сборочной линии. Это особенно актуально для мел-

косерийного производства, когда переналадку оборудования нужно осуществлять за минимальное время.

3) Цифровые двойники применяются для создания технологических программ работы оборудования с цифровым интеллектуальным управлением (роботов, автоматов и др.). Цифровые двойники данного назначения должны обладать самой высокой степенью идентичности реальным объектам, иначе при запуске технологической программы на реальном производстве возможны некорректное исполнение технологических операций, производство брака, поломка оборудования и т.д. В связи с этим для повышения точности цифрового двойника осуществляется его калибровка. Это комплекс испытаний и мероприятий по отладке цифрового двойника с целью обеспечения его идентичности реальному промышленному объекту, с требуемой в соответствии с целями моделирования точностью совпадения организационно-технологических параметров, снимаемых как с двойника, так и с реального объекта. Например, при сборке электротехнических шкафов требуется выполнить прорези. Первоначально рез делается на двойнике для проверки модели. И уже откалиброванная технологическая программа загружается на сборочный автомат. Таким образом, снижаются объемы производственного брака, сокращается этап отладки программы на реальном оборудовании [6].

4) Цифровой двойник сборочной линии вносит свой вклад в создание цифровой модели производимой на предприятии продукции, то есть в создание цифрового двойника выпускаемого изделия. Цифровой двойник сборочной линии сокращает время, необходимое для старта сборки новых изделий, обнаруживает неэффективные настройки базовых сборочных процессов.

Практические примеры

Для иллюстрации использования цифровых двойников на машиностроительных производствах отметим проект, реализованный концерном R-Про (Санкт-Петербург) на Балтийском станкостроительном заводе, где для всех типов станков созданы цифровые двойники. Эти модели первоначально использовались для демонстрации возможностей оборудования заказчику, а затем применялись для программирования и настройки работы производственной линии в производственных цехах, в том числе и сборочных.

Другой пример — проект компании SOVA Digital совместно с Институтом автоматизации, измерений и прикладной информатики Словацкого технологического университета (Братислава). В ходе работы над проектом создан цифровой двойник линии сборки гидравлических поршней. Цифровая модель реализована с помощью пакета Plant Simulation компании Siemens. Целью создания цифрового двойника явля-

ется непрерывная оптимизация сборочных процессов и проактивное обслуживание оборудования² в автомобильной промышленности Словакии. На следующем этапе исследований планируется создание собственной версии генетического алгоритма, который может быть интегрирован в программную среду Plant Simulation, для повышения точности настройки входных/выходных параметров сборочного процесса [7].

Западные исследователи предлагают в перспективе разработать обобщенную эталонную модель системы Assembly 4.0, чтобы изучать возможности повышения производительности, надежности и гибкости сборочной системы, качества выпускаемых изделий. Такой обобщенный цифровой двойник будет использоваться в качестве основы для построения цифровых двойников для конкретных сборочных линий [1].

Компьютерное зрение и алгоритмы распознавания образов

Компьютерное зрение в сборочных системах, основанное на современных алгоритмах распознавание образов, может выполнять две основные задачи: распознавание объектов и захват движения. Первая задача реализуется алгоритмами анализа традиционного изображения, зафиксированного обычной камерой для автоматического обнаружения конкретного объекта или распознавания определенного цвета или формы.

В эпоху Assembly 4.0 данные, получаемые системами компьютерного зрения, могут дополняться информацией от других датчиков, устанавливаемых на сборочной линии. Интегрированная комплексная информация, обработанная аналитическими системами с использованием специализированных алгоритмов, позволит значительно улучшить процессы сборки. Система Assembly 4.0 повысит точность идентификации сложных компонентов в процессе сборки, автоматически своевременно выявит любой дефект в собранном узле, автоматически известит оператора о текущем событии в ходе выполнения технологического процесса и/или технологического оборудования. Обнаружение отклонений от технологического процесса может инициировать автоматическую обратную связь со сборочной системой для коррекции сложившейся производственной ситуации.

Вторая технология — видеозахват движения — использует специализированные камеры для оцифровки движений и поз человека в 3D виртуальной среде, отслеживающей абсолютное положение различных частей его тела. Видеозахват движения позволяет автоматически количественно оценить эргономические показатели, характеризующие работу оператора, чтобы улучшить его производительность и свести к минимуму риски возникновения скелетно-мышечных заболеваний. Например, выбор деталей из мест хранения в монтажной станции может контролировать-

² Идея проактивного технического обслуживания оборудования заключается в обеспечении максимально возможного межремонтного срока эксплуатации оборудования за счет применения современных технологий обнаружения и подавления источников отказов.

ся для анализа длительности и частоты этой операции с целью последующей оптимизации процесса [1].

Дополненная и смешанная реальность

Дополненная и смешанная реальность будет полезна при выполнении тех производственных операций по сборке изделия или техобслуживания оборудования, в которых участвует человек.

Дополненная реальность

Дополненная реальность расширяет реальную производственную среду виртуальными объектами, разработанными на базе вычислительных алгоритмов и реализованными посредством таких устройств, как планшет, очки дополненной реальности, смартфон и т. д. В дополненной реальности виртуальные объекты проецируются на реальное окружение, но не могут воздействовать на него.

Дополненная реальность эффективна для отображения инструкций по сборке изделия или ремонту оборудования, которые ранее хранились в бумажных руководствах. Средства дополненной реальности проецируют на реальное изображение те данные, которые необходимы оператору в данный момент, например, порядок сборки узла, место возможной неисправности или серийный номер детали под замену. Такие наглядные подсказки позволяют повысить производительность работников в процессе сборки изделия или ремонта/техобслуживания оборудования путем отображения подсказок и рекомендаций, сократить время обучения и помочь в процессе принятия решений.

Средства дополненной реальности эффективны также в случае удаленного технического обслуживания оборудования (производственного изделия) или при монтаже совершенно нового оборудования на сборочной линии. В этом случае может использоваться технология удаленного ассистента, когда эксперт, находящийся на удалении, видит на своем мониторе производственный объект или изделие. Его задача — удаленно помочь коллеге устранить неисправность или наладить оборудование. Эксперт оценивает проблему и выводит необходимую для ремонта или пуско-наладки информацию на устройство дополненной реальности человека, выполняющего ремонт. При этом может быть использована и голосовая связь [8].

Смешанная реальность

Интеграция цифрового мира дополненной реальности с данными, получаемыми от датчиков и видеокамер, реализующих компьютерное зрение, установленных на сборочной линии, позволяют создать смешанную реальность, способную распознавать жесты оператора дополнительно к визуальному образу. Смешанная реальность позволяет реализовать ввод данных в компьютеры через взаимодействие с окружающей средой [9].

Информация, собираемая от средств смешанной реальности, может использоваться, например, для

учета числа перемещений заготовок между рабочими станциями или движений оператора в ходе выполнения технологической операции, времени, затрачиваемого на перемещение. Эти сведения могут быть полезными при анализе последовательности процесса сборки, при планировании загрузки оборудования и людей, позволят сократить время сборки и т. д.

Также системы смешанной реальности могут регистрировать экспертные знания опытных сотрудников с возможностью их последующего использования при работе с менее опытным человеком.

При выполнении работником технологических операций в соответствии с инструкциями его действия и движения, а также вид заготовки, над которой выполняются операции, отслеживаются с помощью алгоритмов распознавания образов и сравниваются с базовой запланированной моделью рабочего процесса или моделью работы эксперта. На основании собранной информации в реальном времени может быть реализована помощь, которая будет автоматически выдавать подсказки работнику при выполнении сложных операций и обеспечивать соответствующую обратную связь при выявлении ошибок.

Аддитивные технологии

Аддитивные технологии — это послойное наращивание и синтез объекта с помощью компьютерных 3D технологий. Изобретение принадлежит Чарльзу Халлу, в 1986 г. сконструировавшему первый стереолитографический трехмерный принтер. На сегодняшний день применяются несколько видов аддитивных технологий [10]:

- FDM (Fused deposition modeling) — изделие формируется послойно из расплавленной пластиковой нити;
- CJP (ColorJet printing) — 3D полноцветная печать с принципом склеивания порошка, состоящего из гипса;
- SLS (Selective Laser Sintering) — технология лазерного запекания, при которой образуются особо прочные объекты любых размеров;
- MJM (MultiJet Modeling) — многоструйное 3D моделирование с использованием фотополимеров и воска;
- SLA (Laser Stereolithography) — с помощью лазера происходит послойное отвердевание жидкого полимера.

Аддитивные технологии оказывают важное влияние на доступность деталей и крепежных элементов в Assembly 4.0. Это дает возможность изготавливать по требованию любой тип персонализированного компонента, чтобы соответствовать специфическим рыночным требованиям, ориентированным на клиента. В Assembly 4.0 некоторые части спецификации могут изготавливаться путем 3D печати, особенно в случаях несвоевременной поставки деталей или деталей, необходимых в небольшом числе. Кроме того, аддитивные технологии позволяют разрабатывать ко-

нечный продукт с персонализированными функциями заказчика при единичном изготовлении отдельных компонентов и вносить изменения в проект, вплоть до последних стадий изготовления изделия [11].

Аддитивные технологии находят применения в различных отраслях народного хозяйства и промышленности. Для иллюстрации отметим проект Urbee компании Kog Ecologic по созданию первого прототипа 3D автомобиля, 50% деталей кузова которого напечатаны на 3D принтере. Другой пример — компания Local Motors в 2015 г. представила «умный и безопасный» автомобиль LMSD Swim, 75% деталей которого выполнены с помощью трехмерной печати, используя АБС-пластик и углеволокно (<https://elite-supernova.ru>).

На предприятии «Воронежсинтезкаучук» (ГК «СИБУР», Россия) в 2017 г. создан центр аддитивного производства. С помощью аддитивных технологий на предприятии решаются единичные производственные задачи по выпуску комплектующих для оборудования, а также мелкосерийные заказы. Общая номенклатура выпускаемых изделий за полгода работы достигла 64 наименований. Всего за это время напечатано более 170 изделий. Средняя деталь печатается 2...3 ч, крупные изделия — 60 ч [12].

Блокчейн

Блокчейн — инструмент для передачи и хранения ценных данных, базирующийся на распределенной базе данных, которая хранит информацию обо всех транзакциях участников системы в виде «цепочки блоков». Распределенная база данных функционирует одновременно на множестве узлов, распределенных по всему миру между различными пользователями и организациями. Доступ к базе данных есть у всех пользователей блокчейна. Уникальность технологии заключается в неизменности или необратимости, которую гарантирует криптографическая система защиты. Все блоки находятся в строгом хронологическом порядке и связаны между собой криптографической подписью, созданной при помощи сложных математических алгоритмов. Криптографической подписью сопровождается каждое изменение в системе, а также открывается доступ к данным. Например, когда транзакции сгруппированы в блоки и записываются в базу данных, запись предваряет криптографическая верификация, в результате чего изменить состояние реестра путем каких-либо махинаций практически невозможно. Любые изменения данных в цепочке блоков возможны только, если участники подтверждают легитимность транзакции в соответствии с общими правилами и протоколами, то есть участники блокчейна выступают в качестве коллективного «нотариуса», который подтверждает истинность информации в базе данных. Таким образом, технология способна защитить данные, с которыми осуществляется работа, при этом сделав их более доступными и прозрачными.

Кроме того, блокчейн может заметно минимизировать время, необходимое для решения возникающих проблем и устранения ошибок в базе данных за счет того, что информация, сохраненная с помощью блокчейна, может быть записана в общем реестре, доступном пользователям в режиме близком к реальному времени (<http://www.tadviser.ru/>).

Технология блокчейн была разработана для осуществления платежей в системе криптовалюты Биткоин в 2008 г. Однако она может применяться для всех сервисов, где сохранность пользовательских данных находится в приоритете.

В области автоматизации блокчейн может стать основой для организации сервисов «умных» городов. Так, в начале 2019 г. международная корпорация Kyocera (Япония) и компания LO3 Energy Inc. (США) анонсировали совместный проект по созданию виртуальной электростанции, управляемой при помощи технологий блокчейн и объединяющей распределенную сеть солнечных панелей (источников энергии), накопителей энергии и активных потребителей. Технология блокчейн используется для проверки и регистрации транзакций, позволяя потребителю «делиться» энергией, которую они производят с помощью собственных солнечных батарей через микросеть.

Применительно к машиностроительным производствам блокчейн позволит отслеживать историю производства отдельных сборочных компонентов на протяжении всей цепочки поставок. Таким образом, появляется возможность выявить несоответствующее выполнение технологического процесса на ранних стадиях сборки, что поможет в дальнейшем избежать проблем с качеством, минимизировать отходы, устранить избыточность. Блокчейн также поможет оптимизировать технологический процесс сборки, повысить надежность и качество благодаря точному мониторингу за оборудованием, участвующим в сборочном процессе.

В работе [13] предложена трехуровневая архитектура производственной системы, основанная на технологии блокчейн. На первом уровне блокчейн используется для сбора данных с различных, подключенных к сети устройств. Собранные данные поступают на киберуровень, где блокчейн применяется для взаимодействия различных распределенных облачных и туманных ресурсов (распределенные вычислительные среды, распределенная память, алгоритмы «искусственного интеллекта»), выполняющих обработку и анализ данных. По сути, это уровень аналитических приложений. Комплексная информация с киберуровня поступает на уровень управления, где применяется в распределенных системах поддержки принятия решений, базирующихся на блокчейне. Пользователем уровня управления выступает менеджер предприятия, получающий возможность принимать решения более высокого качества. Целью разработки является создание структуры, характеризующейся высокими показателями в области без-

опасности, совместимости, конфиденциальности, надежности, доступности данных, а также беспрепятственное использование открытых стандартов и программного обеспечения с открытым исходным кодом.

Актуальность указанной работы подтверждается планами крупных компаний, таких как Accenture, SAP и IBM, объявивших о разработках аналитических платформ, базирующихся на принципах блокчейн. Такие разработки являются своевременными, так как препятствием к использованию облачных сервисов стали уязвимости, которые допускают взлом информационных систем и неавторизованный доступ к данным. В настоящее время команда IBM уже создала принципиально новые облачные сервисы для устойчивых к взлому доверенных сетей на базе технологии блокчейна. Стало возможным и подключение к блокчейну данных IoT. Так, используя Watson IoT Platform, IBM позволяет задействовать такие виды информации, как координаты позиционирования устройств с использованием радиомодулей, считываемые штрих-коды или данные, полученные с различных устройств. Например, местоположение посылки при использовании такой технологии будут автоматически записываться в блокчейн. Одновременно все стороны, имеющие отношение к посылке, смогут получать обновление ее статуса (<https://habr.com>).

Эргономика рабочих мест

Информация, собираемая и обрабатываемая в условиях Assembly 4.0, может использоваться для обеспечения эргономических характеристик рабочих мест. Поскольку во время смены могут собираться различные изделия, конструкция рабочего места и конфигурация рабочей станции должны изменяться соответственно, например, высота рабочей станции должна соответствовать высоте собираемого изделия, то есть подвижные части рабочих мест должны оптимизировать свои размеры и расположение в соответствии с действиями, выполняемыми на рабочей станции.

Кроме того, полезно учитывать эргономическую регулировку рабочего места для минимизации физической нагрузки или минимизации скручивания тела человека. Для этого требуются алгоритмы искусственного интеллекта, которые своевременно примут решение не только о необходимости корректировки (или конфигурации), но и о сроках корректировки (когда инициировать корректировку) с учетом влияния корректировки на поток операций [14].

Продолжая тему эргономичности рабочих мест оператора отметим, что эпоха Assembly 4.0 поддерживает развитие аппаратных новшеств, таких как экзоскелет и коллаборативные роботы (коботы) [1].

Экзоскелет — это носимое (надеваемое на человека) механическое устройство или программно-мехатронный комплекс с элементами антропоморфных структур, конструктивно предназначенный для преумножения физических возможностей человека путем синхронного дублирования и поддержки

двигательной активности последнего (<https://habr.com>). Экзоскелет позволяет человеку работать с тяжелыми грузами и инструментами, не нанося вреда здоровью.

Коботы — это роботы, которые могут безопасно функционировать в одном рабочем пространстве с оператором, обязательно снабженные всеми необходимыми для безопасности оператора датчиками и системами ограничения усилия и автоблокировки. Для обеспечения взаимодействия человека и машины в реальном времени используются визуальные, жестовые и голосовые интерфейсы вместе с системами обратной связи. Ожидается, что сотрудничество людей и коботов повысит скорость и эффективность работы сборочной станции, что приведет к увеличению пропускной способности.

Роль человека в Assembly 4.0

Применение рассмотренных инноваций в сборочных системах позволяет переложить ряд функций человека-оператора технологического процесса на автоматизацию и программное обеспечение. Например, в условиях Assembly 4.0 на предприятии более не требуются высококвалифицированные специалисты по обслуживанию оборудования. Все необходимые рекомендации в этой области могут быть получены из облачного аналитического центра на основании собранной на предприятии информации. Сокращается штат специалистов, которые ранее выходили в поле для осмотра и диагностики приборного парка. Теперь вся информация с удаленных приборов доступна в диспетчерском пункте, и отдельные операции по настройке и ремонту приборов также возможно проводить дистанционно.

При этом для обслуживания систем класса Assembly 4.0 потребуются высококвалифицированные специалисты нового поколения. Таким образом, ожидаемое сокращение рабочих компенсируется увеличением числа новых техников, обслуживающих работников, экспертов. При этом производительность и рентабельность каждого человека возрастут.

В литературе все чаще встречается понятие мультискиллинг или совмещение навыков как ответ на проблему нехватки специалистов высокого уровня. Мультискиллинг — это способность сотрудников выполнять задачи в дополнение к своим навыкам, с которыми они были приняты на работу. Мультискиллинг актуален для производств с современными сборочными линиями. Специалисты, обслуживающие системы класса Assembly 4.0, будут динамически перераспределяться между различными участками сборки, исходя из соответствующих навыков и опыта, а также с учетом информации, собираемой и обрабатываемой в процессе выполнения текущего производственного задания. Такое динамическое согласование рабочих с технологическими операциями должно обеспечить своевременное выполнение всех необходимых задач сборки с требуемым качеством [1].

Если вернуться на несколько сотен лет назад, все, что мы сегодня считаем обычными вещами, покажется магией – разговоры на расстоянии, передача изображений, полеты, пророчества, основанные на обработке огромных объемов информации. Несколько сот лет назад это выглядело бы как волшебство.

Элон Маск

Преимущества систем уровня Assembly 4.0

Собранные производственные цифровые данные открывают огромные возможности для разработки систем сборки нового поколения. Эти сборочные системы позволяют сделать промышленное производство более гибким, ориентированным на потребности каждого клиента. Парадигма Assembly 4.0 преодолевает хорошо известную концепцию массового производства, в которой конечные пользователи участвуют в производственном процессе только на этапе проектирования будущего изделия. Сегодня клиенты могут при необходимости вносить изменения в изделие и на более поздних стадиях. Инновационные технологии Industry 4.0, применяемые на сборочной линии, позволят своевременно внести изменение в технологический процесс, подстроить оборудование и произвести недостающие детали в нужное время. Системы Assembly 4.0 будут гибкими к различным моделям производства и требованиям клиентов.

При этом средства дополненной реальности окажут помощь при консультировании и обучении рабочих. Целый ряд инновационных технологий реализует мониторинг процесса сборки, состояния оборудования и трудоспособности работников. Все это в комплексе позволит повысить эффективность и качество выпуска изделий.

Отметим некоторые сложности, с которыми предстоит столкнуться разработчикам систем Assembly 4.0. В первую очередь — это важность вопросов кибербезопасности и конфиденциальности информации в сборочных системах, также характерные для всех приложений Industry 4.0.

Отличительной чертой систем Assembly 4.0 является получение дополнительных знаний за счет сбора и обработки значительного объема данных. Однако добавление многочисленных датчиков и цифровых компонентов повышает вероятность отказа одного или нескольких из них. Важно контролировать, что

информация, полученная из различных источников, верна и не вносит неопределенность в систему [1].

Список литературы

1. Yuval Cohen, Hussein Nasereldin, Atanu Chaudhuri, Francesco Pilati. Assembly systems in Industry 4.0 era: a road map to understand Assembly 4.0 // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. 105:4037-4054.
2. Мартинова Л.И., Козак Н.В., Ковалев И.А., Любимов А.Б. Создание инструментария мониторинга здоровья станка для цифрового производства // Автоматизация в промышленности. 2020. №5.
3. James Manyika et al. Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute. June. 2011.
4. Sanders D. and Gegov A. AI tools for use in assembly automation and some examples of recent applications // Assembly Automation. 2013. Vol. 33 No. 2, pp. 184-194.
5. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Обзор инновационных платформ IoT // Автоматизация в промышленности. 2018. №7. С. 8-13.
6. Кораблев А.В. Ключевые функциональность и преимущества цифровых двойников // Цифровая экономика. 2019. 2(6).
7. Ján Vachálek, Lukáš Bartalský, Oliver Rovný, Dana Šišmišová, Martin Morháč, Milan Lokšik. The Digital Twin of an Industrial Production Line Within the Industry 4.0 Concept // 21st International Conference on Process Control (PC). 2017. Strbske Pleso, Slovakia.
8. Симонов И.В. Приложение удаленного ассистента для промышленных предприятий // Автоматизация в промышленности. 2018. №11.
9. Cook A., Jones R., Raghavan A., Sai I. Digital reality – the focus shifts from technology to opportunity. Tech Trends 2018: The symphonic enterprise. Deloitte Publication. 2018.
10. Григорьев С.Н., Смуров И.Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом // Инновации. 2013. Т. 10. № 180. С. 76-82.
11. Rossit, D.A., Tohmé, F., Frutos, M. An Industry 4.0 approach to assembly line resequencing // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. 105:3619-3630.
12. Понадюк С.С. Опыт СИБУР по внедрению на производстве аддитивных технологий // Автоматизация в промышленности. 2019. №7.
13. Jay Lee, Moslem Azamfar, Jaskaran Singh. A blockchain enabled Cyber-Physical System architecture for Industry 4.0 manufacturing systems // Manufacturing Letters. 2019. 20. P. 3-39.
14. Nguyen TD, Bloch C, Krüger J. The working posture controller: automated adaptation of the work piece pose to enable a natural working posture // Advances in Applied Digital Human Modeling and Simulation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Digital Human Modeling and Simulation. 2016. Florida. USA. pp.93-105.

*Аристова Наталья Игоревна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник
ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН.
Контактный телефон (495) 334-91-30.*