

## КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В РАМКАХ ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУДУЩЕГО

Д.Е. Кремнев, М.В. Сонных (ООО «Бош Рексрот»)

*Показана актуальность использования коллаборативных роботов (коботов) в качестве ассистентов при выполнении различных технологических операций на промышленных предприятиях. Возможности современных коллаборативных роботов проиллюстрированы на примере решения APAS от компании Bosch.*

*Ключевые слова: коллаборативные роботы, кобот, безопасность, силомоментные осевые датчики, сенсорная кожа.*

Для практической реализации концепции Industry 4.0 будут востребованы многие инновационные решения, касающиеся как изменения процесса организации производственной деятельности на всех уровнях, так и технического переоснащению самих производств. Если с точки зрения мышления управляющего и рабочего персонала должна произойти некая революция, то с точки зрения технических решений все концепции во многом будут являться эволюционным продолжением существующих решений.

Во многих современных визионерских моделях производства будущего [1] создается картина полностью автоматизированного безлюдного производства, что, с одной стороны, ведет к минимизации человеческого фактора, а с другой — грозит глобальным сокращением рабочих мест и оставляет вопросы о достаточности, гибкости и реконфигурируемости такого производства. Однако существует и другое мнение о модели гибкого производства будущего, в рамках которого люди должны оставаться ключевыми фигурами на всех уровнях производственного процесса, при этом их функциональность и сфера ответственности существенным образом модифицируется.

Одним из решений, которое позволит наиболее выгодно сочетать ручные и механизированные операции, видится использование коллаборативных роботов (коботов) в качестве ассистентов на различных операциях. Такие роботы концептуально спроектированы с присущими им функциями безопасности, позволяющими им осуществлять работу, находясь в совместном пространстве с человеком-оператором. Использование таких машин позволяет реализовать автоматизацию сложных и/или часто реконфигурируемых производственных участков с операциями, требующими частичного сохранения присутствия человека.

История коллаборативных роботов началась в мае 1995 г., когда Северо-Западный университет США и корпорация General Motors объявили о работе над «Intelligent Assist Devices» (IADs) — «интеллектуальные устройства-ассистенты». Необходимость такого устройства была вызвана тем, что на этапе конечной сборки автомобиля было много

трудоемких процедур: выявление дефектных деталей, сборка узлов из различающихся деталей и другое. Автоматизировать их было невозможно, но коллаборативное устройство могло облегчить труд людей. Первые разработки не были автономными и приводились в движение мускульной силой рабочих [2]. В 1999 г. Эд Колгейт и Майкл Пэшкин, инженеры Северо-Западного университета, изобрели первого кобота, что послужило стартом к появлению нового типа машин [3].

Начиная с середины 2000-х годов, многие производители представили на рынке робототехнические системы коллаборативного типа, способные действовать в одной среде с человеком. Нынешнюю популярность коботы получили благодаря появлению в 2005 г. компании Universal Robots (Дания). Сделав несколько прототипов, в 2008 г. компания выпустила первый серийный образец робота UR5 и получила инвестиции от датского правительства.

По проведенным исследованиям агентства BIS Research, рынок коллаборативных роботов в ближайшие годы будет активно развиваться в странах как с развитой, так и с развивающейся экономикой. Ожидаемые средние темпы роста (рис. 1) в ближайшие 5 лет составят более 63% как в стоимостном, так и в количественном выражении, при этом драйверами роста будут выступать автомобильная, электронная, фармацевтическая и пищевая промышленность [4].

Столь высокие показатели роста рынка делают направление коллаборативных роботов привлекательным для традиционных игроков рынка робототехники и промышленной автоматизации и для стартапов.

Для определения требований в части безопасности коллаборативных роботов в 2002 г. был создан, а в 2016 г. значительно дополнен стандарт-спецификация ISO/TS 15066:2016 (<https://www.iso.org/standard/62996.html>), описывающий понятие коллаборативных роботов, допустимые варианты контакта и восстановления работы после него. Документ разрабатывался комитетом (куда входили эксперты из 24 стран и ведущих компаний-производителей) ISO с 2010 г. Он предназначен для дополнения требований и рекомендаций по совместной работе промышленного робота, описанных в стандартах ISO 10218-1 и ISO 10218-2 («Требования безопасности для промышленных роботов»).

В соответствии с ISO/TS 15066 напрямую выделяется четыре формы совместной работы: контролируемая остановка, ручное ведение, контроль скорости и разделения, ограничение мощности и усилия.

Эти формы взаимодействия могут быть также интерпретированы и разделены следующим образом.

1. Виртуальная ограда (D1). В случае срабатывания сигнала на остановку перезапуск или возобновление



Рис. 1. Прогноз по динамике развития рынка коллаборативных роботов в мире [4]

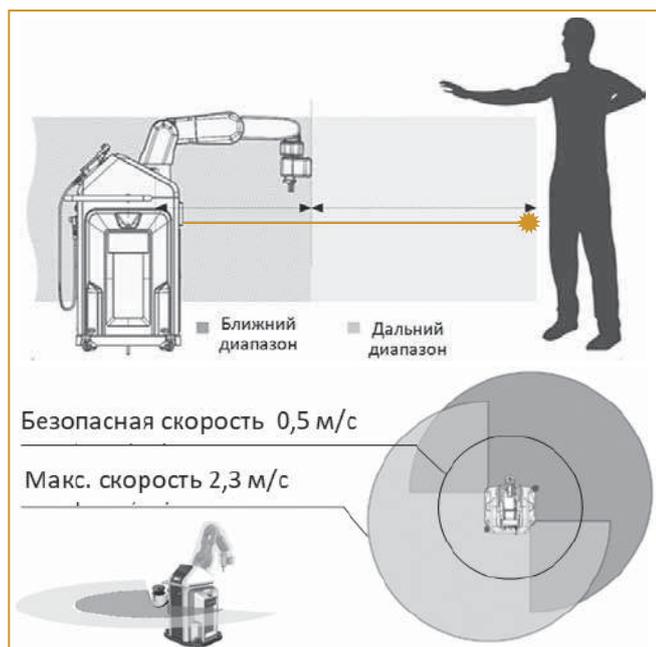


Рис. 2. Коллаборативный робот APAS с возможностью автоматического переключения между коллаборативным и неколлаборативным режимами

программы в ручном режиме. Не подразумевает общей рабочей зоны

2. Отслеживание рабочей зоны (D2). Подразумевает возможность автоматического продолжения работы робота в случае выхода оператора из совместной рабочей зоны. Периодическое пересечение рабочей зоны робота и оператора.

3. Общее рабочее пространство (D3). Подразумевает возможность автоматического продолжения работы робота в случае выхода оператора из совместной рабочей зоны. Постоянное пересечение зоны робота и оператора.

4. Полная коллаборация (D4). Робот и человек работают в постоянном тесном контакте. Передача усилий при контакте от человека к роботу.

Реализация первых трех указанных режимов работы теоретически возможна и на базе промышленных роботов-манипуляторов при их дооснащении дополнительными сенсорными устройствами и контроллерами безопасности, четвертая же форма взаимодействия предполагает необходимость интеграции дополнительных датчиков осязания, позволяющих вести безопасную работу в непосредственной близости, а иногда и в контакте с человеком.

Именно для этого режима работы техническая спецификация ISO/TS 15066 включает таблицу, разработанную по результатам исследования болевого порога Университетом Майнца (исследовался болевой порог 100 людей в 29 болевых точках), в которой представлен список уровней силы и давления, допустимых к воздействию на человека-оператора со стороны робота в случае их физического контакта.



Рис. 3. Сенсорная «кожа» робота APAS

Коллаборативные роботы-манипуляторы и законченные робототехнические системы, соответствующие рыночному спросу и указанным отраслевым стандартам на сегодняшний момент, представили и развивают как традиционные робототехнические и промышленные компании, такие как ABB, Kuka, Fanuc, Bosch, так и сравнительно молодые компании, среди которых лидирующее место безусловно занимает Universal Robots.

Коллаборативность достигается за счет комплексного применения как дополнительных оптических и лазерных датчиков присутствия человека в рабочей зоне, так и осевых силомоментных датчиков или емкостных датчиков для определения приближения манипулятора робота к препятствиям, в том числе и оператору (реализовано в решении от Bosch). При этом применение силомоментных осевых датчиков позволяет обеспечить осязание звеньев робота вплоть до возможности выполнения сборочных операций с прямым контролем усилия, но в случае контакта с человеком оператор предполагает останов только после непосредственного физического соприкосновения человека и машины. Применение же емкостных датчиков позволяет реализовать бесконтактный останов до момента физического контакта человека и машины, что значительно увеличивает уровень безопасности системы.

Актуальным вопросом в части повышения эффективности практического использования коллаборативных роботов является увеличение их рабочих скоростей. Лимитирующими факторами здесь являются ограничения кинематики манипулятора и быстродействие систем безопасности для обеспечения безопасного взаимодействия робота и человека согласно ISO/TS 15066. Разрешение ограничений, создаваемых первым фактором, достигается путем использования более скоростных и надежных решений в части конструкции манипулятора, апробированных в рамках конструктива традиционных промышленных роботов, второй фактор при этом остается менее тривиальным. Одним из интересных решений здесь является использование одновременно нескольких систем обнаружения человека в рабочей зоне. Это позволяет сохранить динамику работы промышленного робота при отсутствии человека в ближнем диапазоне робота и осуществить переключение в коллаборативный режим ближнего диапазона при приближении человека. В случае коллаборативных роботов APAS от Bosch такое решение благодаря применению промышленных манипуляторов в основе позволяет достичь линейной скорости движения 0,5 м/с в коллаборативном и 2,3 м/с в неколлаборативном режиме (рис. 2).

В системе APAS используется и отслеживание безопасной остановки робота посредством лазерного датчика, сканирующего пространство рядом с роботом и при его срабатывании система управления переключается в коллаборативный режим посредством ограничения скорости до оптимально

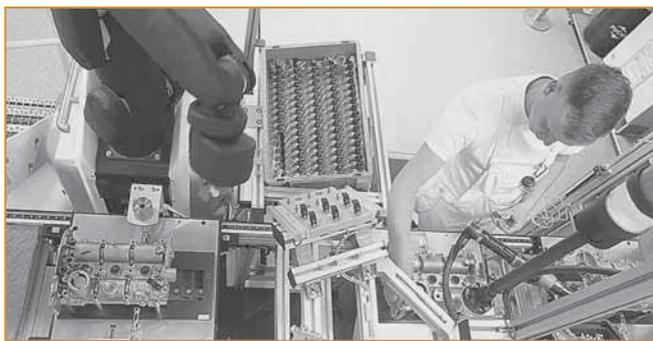


Рис. 4. Робот APAS в составе сборочного производства двигателей на заводе VW в г. Кемниц

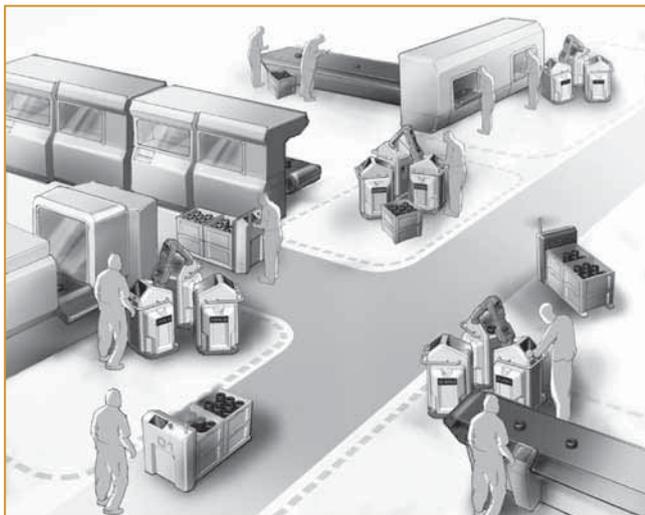


Рис. 5. APAS Assistant Mobile в рамках концепции быстро реконфигурируемого производства

безопасной. В коллаборативном режиме используются емкостные датчики, образующие чувствительную сенсорную «кожу» робота (рис. 3), реагирующую на приближение частей тела человека. Получая сигнал заранее, система остановит свое движение гарантированно до контакта с человеком.

При гарантированной остановке до физического контакта на безопасной скорости согласно действующим производственным стандартам не возникает необходимости квитирования ситуация останова с проведением оценки возможности для продолжения работы. При прекращении фиксации близости или непосредственного контакта с человеком со стороны емкостных датчиков робот продолжает работу в автоматическом режиме без привлечения оператора для команды.

При такой конфигурации достигается гарантированная зона безопасного останова робота при нахождении человека или иного постороннего объекта в 50 мм от поверхности манипулятора.

Описанный выше концепт был успешно реализован и интегрируется на различных производственных площадках концерна Bosch и сторонних заказчиков с 2015 г. Робот,

работающий бок о бок с человеком, в частности, на автомобильных производствах на этапах ручной сборки, занимается комплектацией требуемых для сборки материалов, передаваемых сборщику (рис. 4). В данном случае робот выполняет рутинную монотонную работу с контролем заготовок и результатов работы при помощи интегрированной стереокамеры технического зрения без возможности ошибиться, так как это может сделать человек-оператор.

Другим существенным ограничением для распространения как роботов, так и роботов является сложность их интеграции и реинтеграции в производственный процесс. Использование коллаборативных роботов позволяет уйти от защитных барьеров и ограждений, существенно оптимизировать габариты робототехнической ячейки, при этом большим вызовом для эксплуатантов является программирование робота, обычно требующее освоение проприетарных языков программирования и делающее фактически невозможным быструю переналадку робота для решения новых задач.

Одним из решений, предлагаемых Bosch в рамках робототехнической системы APAS Assistant Mobile, является надстройка верхнего уровня для программирования типовых задач в режиме параметрирования без необходимости освоения каких-либо языков для программирования движения робота и работы с системой технического зрения. Такой подход вкупе с мобильным исполнением робота делает возможным быструю переброску робота внутри производства на участок, требующий локального увеличения производительности, с быстрым вводом в эксплуатацию силами производственного персонала без специальных знаний в области программирования (рис. 5).

Использование роботов в составе решений во внутренней логистике и при комплектации сборочных постов позволяет минимизировать возможности ошибки, при этом занимая намного меньше места по сравнению со стандартным роботом. Дальнейшим развитием данной концепции можно считать комбинацию в использовании совместно с автономными производственными мобильными роботами для перемещения паллет с продукцией между рабочими местами и системами хранения материалов и готовой продукции. Такое решение сделает производственную линию более гибкой, чем, например, посты вдоль одного конвейера, с сохранением высокой производительности, соответствующей всем веяниям новой концепции Industry 4.0 — производство уникальной продукции по цене серийного.

#### Список литературы

1. *Matthew DeBord*. Tesla's future is completely inhuman — and we shouldn't be surprised. 2017. Business Insider. <https://www.businessinsider.de>
2. *Kagan Pittma*. A History of Collaborative Robots: From Intelligent Lift Assists to Cobots. 2016. [engineering.com](http://engineering.com)
3. *Jon Van*. Mechanical Advantage. Chicago Tribune. 1996.
4. Global Collaborative Robot Market Analysis and Forecast 2018–2023. 2018. BIS Research. <https://bisresearch.com/industry-report/global-collaborative-robot-market.html>

*Кремнев Дмитрий Евгеньевич, Сонных Максим Владимирович* — специалисты отдела промышленной автоматизации ООО «Бош Рексрот». Контактный телефон (495) 560-96-30. E-mail: [fa@boschrexroth.ru](mailto:fa@boschrexroth.ru) [Http://www.boschrexroth.ru](http://www.boschrexroth.ru)