

АВТОМАТИЗАЦИЯ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Н.И. Аристова, В.М. Чадеев (ИПУ РАН)

Показано, что автомобилестроение – высокотехнологичная отрасль, которая одна из первых внедряет наукоемкие технологии. Рассмотрены возможности применения традиционных современных средств автоматизации на автомобилестроительных предприятиях – робототехники, датчиков, измерительных систем, систем машинного зрения, средств промышленной идентификации и безопасности, контроллеров, коммуникационных средств. Показаны специализированные решения, созданные для автомобильной промышленности и отражающие ее специфику. Проанализированы инновационные направления развития автомобилестроения (электромобили, подключенные и беспилотные автомобили) и средства автоматизации и математические алгоритмы, позволяющие их реализовать.

Ключевые слова: автомобилестроение, средства автоматизации, электромобили, подключенные и беспилотные автомобили, Industry 4.0.

Введение

Автомобилестроение — активно развивающаяся отрасль народного хозяйства. Без автомобилей, мотоциклов, транспортных средств сегодня немыслимо существование ни одного государства. При этом автомобильная промышленность — это значительное число рабочих мест. Человек выполняет на автомобильном предприятии самые разнообразные технологические операции от самых простых, до требующих высокой квалификации и физической силы. В связи с этим именно в автомобилестроении в начале XX века получила широкое распространение конвейерная система сборки Форда, позволившая резко повысить производительность за счет интенсификации труда рабочих. В последующие годы именно на предприятиях автомобилестроения внедрялись все самые передовые методы производства. В середине века фирма Toyota (Япония) применила на своем заводе основанную на Кайдзен¹ систему гибкой организации производства и повышения качества, известную как «метод Тойоты». Позднее появились логистические системы, позволившие повысить производительность труда, внедрить систему поставок комплектующих «точно вовремя (канбан)», а также расширить варианты индивидуальной комплектации автомобилей. В этот же временной период на предприятия пришли робототехнические системы, позволившие человеку сосредоточиться на выполнении более ответственных и интеллектуальных задач.

Бурное развитие электронной промышленности и встраиваемых решений в конце XX века позволило автомобилестроителям значительно продвинуться в усовершенствовании функций, помогающих на этапах эксплуатации и техобслуживания автомобилей. Речь идет о системах управления двигателями, коробками передач и трансмиссией, системах пассивной

и активной безопасности, активных светотехнических системах, датчиках давления воздуха в шинах, гарнитурах мобильной связи «хэнд-фри», бортовых компьютерах, диагностических и навигационных системах и т. д. (<https://ru.wikipedia.org>).

С каждым годом автомобили становятся все сложнее, и к ним предъявляются все более жесткие требования в областях управляемости и комфорта использования. Ужесточаются экологические нормативы, направленные на сокращение доли выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобилей в атмосферу.

Современные реалии требуют от сборочных производств умения в сжатые сроки перестраиваться на выпуск новой продукции; партии готовой продукции уменьшаются, потребители стремятся получить продукцию, приближенную к единичной.

Таким образом, автомобильная промышленность вынуждена соответствовать все возрастающим требованиям потребителей и надзорных органов, а также участвовать в конкурентной рыночной борьбе. Достичь успеха в таких жестких условиях автомобилестроителям помогают современные средства и системы автоматизации. Автомобилестроение уже более века оперативно внедряло на своих производствах все передовые технологии, и сегодня оно остается на переднем рубеже инноваций. Ни одна другая отрасль не движется так активно в направлении перехода в эпоху Industry 4.0, как это делает автомобильная промышленность.

Рассмотрим далее современные средства автоматизации, предлагаемые разработчиками для нужд автомобильной промышленности, проанализируем направления научных исследований в этой предметной области.

Большинство компаний, присутствующих на рынке промышленной автоматизации, в той или иной мере представлены и в отрасли автомобилестроения. Авто-

¹ Философия, подразумевающая непрерывное совершенствование процессов производства, разработки, вспомогательных бизнес-процессов и управления, а также всех аспектов жизни.

ры не ставили целью рекламировать конкретных производителей. Для обзора выбраны наиболее наглядные примеры, отражающие специфику данной отрасли. Кроме того, немаловажным фактором является доступность информации.

Робототехника

Успех современного автомобильного производства немислим без использования специализированной, высокотехнологичной робототехники. При производстве автомобилей роботы выполняют ряд типовых задач: дуговая и точечная сварка; плазменная резка; лазерная резка и сварка; полировка, зачистка, снятие заусенцев, шлифовка; обработка пластиковых деталей и стекла; фрезерование и сверление; сборка; окраска; маркировка, нанесение этикеток и отметок и др. Возможности современных роботов позволяют разработчикам реализовывать гибкие нестандартные решения под нужды заказчиков. Приведем несколько примеров.

Нанесение лакокрасочного покрытия на приводной вал заднего моста автомобиля при ручном исполнении является сложным и затратным мероприятием. Инновационное решение с использованием робота, помещенного в окрасочную кабину и совершающего четкие и стабильные движения даже под воздействием внешних сил, позволило специалистам полностью автоматизировать данный процесс. Основными преимуществами такого внедрения стали расширенные возможности по грузоподъемности и радиусу действия, а также гибкость переналадки, доступность и высокий класс взрывозащиты (<https://vektor-grupp.ru>).

Традиционно автомобильные сиденья тестировались с использованием пневматического тестера, однако это примитивное приспособление было способно моделировать нагрузку на сиденья исключительно по горизонтали или по вертикали. Более гибкую установку, отражающую все многообразие движений водителя или пассажира с учетом всех возможных климатических условий, удалось создать за счет использования робота. Благодаря датчикам силовых моментов робот в полной мере воспроизводит все движения человека и,



Рис. 1. Компания *Kässbohrer Geländefahrzeug AG* автоматизирует процесс покраски с помощью роботов *EcoRP L033* концерна *Dürr*

кроме того, отличается высокой стабильностью повторяемости (<https://vektor-grupp.ru>).

Среди зарубежных производителей роботов на российском рынке присутствуют *Fanuc*, *Kuka*, *Kawasaki*, *Yaskawa*, *ABB*, *Panasonic*, *OTC*, *igm*, *Comau*. Около 90% рынка занимают два крупных игрока — *Kuka* и *Fanuc*, имеющие широкую сеть партнеров-интеграторов. Серьезных отечественных компаний, производящих промышленных роботов, в России на данный момент нет. В конце 2015 г. закрылся последний в стране завод по производству промышленных роботов — Волжский машиностроительный завод. Сегодня ведутся лишь отдельные разработки: линейные промышленные роботы *Аркомим*, роботы с параллельной кинематикой *Гексапод* [1].

Специализированные робототехнические решения для автомобилестроения

Помимо универсальных робототехнических комплексов, применяемых в различных отраслях промышленности, на рынке промышленной автоматизации присутствуют специализированные решения, ориентированные на выполнение определенных технологических процессов в автомобилестроении.

Так, концерн *Dürr* обладает обширными разработками в области автоматизации и цифровых технологий в соответствии с концепцией *Industry 4.0*, из которых 60% предназначены для решения задач автопроизводителей. В первую очередь это роботизированные системы для цеха окраски (рис. 1). Компания имеет опыт поставки под ключ оборудования окрасочного цеха полного цикла, включая ультраманевренных семиосевых окрасочных роботов, устройства открывания дверей, шестиосевые модели роботов, предназначенные для открытия капотов, роботов для нанесения герметика, установки регенеративного термического окисления, систем рекуперативной термической очистки и т.д. Все робототехническое оборудование оснащено датчиками, позволяющими определять рабочую температуру, данные с регуляторов давления, дозирующих насосов и клапанов краски; вращательные моменты; время работы и степень износа компонентов. С помощью контроллера *EcoRCMP2* вся собранная информация передается в системы техобслуживания и управления верхнего уровня.

Отметим, что *Dürr* не только создает собственные робототехнические комплексы, но также сотрудничает с разработчиками универсальных роботов, в частности, с *Kuka*. Так в портфолио компании имеется проект, в котором манипулятор робота *Kuka* дооснащен специалистами *Dürr* автоматизированными приспособлениями для проведения окрасочных работ.

Информация, собираемая с технологической линии *Dürr*, передается в программу *EcoScreen Equipment Analytics*, где выполняются мониторинг окрасочного процесса и анализ функционирования роботизированных устройств, позволяющие быстро выявить и устранить неполадки. Визуализация собранных данных осуществляется с помощью модуля *Visual Analytics*. Например, данные от дозирующего насоса, датчиков рас-

хода/давления в регуляторах, а также игольчатых клапанов распылителей синхронно отображаются на экране управляющего компьютера, что позволяет оператору видеть отклонение параметров процесса от предустановленных. Помимо данных о производственных процессах программа отображает все траектории движения роботов и положения кузовов в трехмерном виде.

Дополнительный модуль Streaming Analytics анализирует данные в режиме реального времени. Специальные алгоритмы обработки данных позволяют автоматически выявить даже минимальные аномалии в качестве окраски и ходе процесса (например, пузырьки воздуха). Поэтому персонал может своевременно определить причину отклонения и выполнить нужные действия по обслуживанию еще до того, как кузов покинет окрасочную камеру. Компания Dügg также разрабатывает аналитические модули на основе искусственных нейронных сетей, которые в автоматическом режиме учатся определять оптимальные условия выполнения процессов и регистрировать каждое отклонение.

Программа EcoScreen Equipment Analytics использует возможности IIoT (Industrial Internet of Things) платформы ADAMOS для функции интерактивного анализа. Компания Dügg участвует в развитии этой платформы совместно с Software AG, Zeiss, DMG Mori и ASM. Остановимся подробнее на предпосылках, целях и задачах создания платформы ADAMOS.

IIoT платформы ADAMOS

В 2017 г. компания Software AG объявила о запуске расширенной технологии Cumulocity IIoT для поддержки облачного предоставления услуг на базе IIoT платформы. В платформу по умолчанию включены такие компоненты, как мониторинг состояния, прогнозное техобслуживание, система учета передвижений, а также управление устройствами и датчиками — функции, объединяющие информационные и промышленные технологии. Cumulocity IIoT предлагает пользователям готовую IIoT-платформу, которая позволяет организациям создавать собственные приложения и решения для работы с IIoT или адаптировать стандартные приложения. Платформа Cumulocity IIoT способна работать на периферии, в облаке или локально, благодаря чему компании-клиенты могут свободно проектировать, разрабатывать, развертывать и обновлять внутреннюю IIoT-платформу по своему выбору (<https://www.softwareag.com>).

Компанию Software AG поддержали лидеры станкостроения и сферы ИТ. Был создан первый немецкий альянс известных промышленных и ИТ-компаний ADAMOS (открытые адаптивные решения для производства). Цель альянса — определение международных стандартов для промышленного сектора в сфере IIoT, основанных на платформе Cumulocity IIoT. ADAMOS предлагает каталог цифровых приложений, ориентированных на машиностроение и учитывающих географическую и отраслевую специфику. Сервис доступен по всему миру. Его можно быстро развернуть и использовать как в виде облачного решения, так и на локальных стационарных серверах. Платформа построена

Автомобиль стал частью одежды, без которой мы чувствуем себя неуверенными, неприкрытыми и незащищенными.

Маршалл Маклюэн

на стандартных решениях и интерфейсах, что обеспечивает надежность в эксплуатации. Новые приложения для IIoT будут создаваться и развиваться непрерывно участниками альянса и пользователями.

Преимущества от использования платформы получают все участники производственной цепочки. Производители станков, их поставщики и заказчики могут автономно обрабатывать свои данные, а также использовать аналитические приложения ADAMOS. Предприятия, использующие платформу ADAMOS, выходят из под зависимости от внешних разработчиков ПО. Покупатели промышленного оборудования получают доступ к платформе вместе с программными решениями и IIoT-технологиями из единого источника. Средний бизнес получает преимущества от возможности применения открытой, незапатентованной IIoT-платформы (<http://www.businesspuls.ru>).

Современные средства и системы автоматизации для автомобильной промышленности

Современные средства и системы автоматизации большинства зарубежных производителей характеризуются широким спектром применения. В области автомобилестроения применяются различные датчики, измерительные системы, системы машинного зрения, средства промышленной идентификации и безопасности, контроллеры, коммуникационные средства и системы.

Датчики и измерительные системы

Среди последних инноваций компании Renishaw отметим универсальную систему цифровых шаблонов Equator, предназначенную для контроля процессов обработки. Вне зависимости от того, установлена ли система Equator в производственную линию или используется в качестве автономной системы контроля процесса обработки, скорость ее работы позволяет операторам перейти от выборочного контроля образцов к 100%-му контролю продукции, что значительно повышает производственные показатели. Функция мониторинга процесса обработки Process Monitor системы Equator позволяет операторам выводить на экран гистограммы и графики с данными измерений в реальном времени, что дает возможность корректировать технологический процесс до появления брака. Система устойчива к колебаниям температуры и позволяет проводить измерения детали непосредственно в условиях цеха. Система может быть перепрограммирована при необходимости измерения модифицированных или новых деталей. Комплект EZ-IO для системы Equator позволяет интегрировать измерительную систему с различным оборудованием в автоматизированных рабочих модулях. Загрузка детали в систему Equator обычно выполняется роботом или загрузочно-разгрузочным устройством (<https://www.renishaw.ru>).

Компания Turck разработала уникальный датчик приварной гайки, который индуктивным способом обнаруживает гайку и одновременно фиксирует ее. В автомобилестроении гайки часто привариваются на металлические детали для постоянного крепления компонентов. В технологии с оптоэлектронными датчиками для обнаружения гаек часто возникают ошибки из-за отражения света или масляной пленки на линзах. В соответствии с технологией компании Turck приварная гайка располагается на штыре датчика и приваривается к обратной стороне металлического листа с помощью сварочной головки (<https://www.turck.ru>).

Примеры в этом разделе можно приводить бесконечно. Однако перейдем к следующей категории продукции, тем более что в системах идентификации и прослеживаемости также присутствуют датчики и измерительные решения.

Системы идентификации и прослеживаемости

Процесс производства автотранспортных средств, автокомпонентов и систем на всех этапах от сборки до окончательной проверки происходит сегодня с применением RFID-технологий, машинного зрения и технологий считывания штрих-кодов. Применение технологий идентификации радикально меняет способ организации производственных процессов, они помогают производителям автокомпонентов и автосборочным заводам в достижении высокого качества и безопасности производства. На предприятиях применяются видеодатчики, двух- и трехмерные системы машинного зрения, лазерные профилировщики, стационарные и ручные промышленные считыватели 1-D, 2-D и DPM кодов, мобильные терминалы сбора данных.

В качестве примера отметим опыт компании Rodata Switzerland AG (Швейцария), имеющей внедрения RFID-систем на таких предприятиях, как Ford Motor Company и Citroën. Применение RFID-технологий на заводах этих компаний позволило на 80% снизить уровень хищений, а также значительно улучшить основные показатели логистических систем: уменьшить на 23% время оборачиваемости товаров и на 33% сократить складские запасы (<http://www.arg-technology.ru>).

Приведем несколько технических примеров применения систем идентификации и прослеживаемости для автомобилестроения от разных производителей.

Компания Turck предлагает решение для автоматизации технологического процесса штамповки металла, базирующееся на использовании системы идентификации RFID BL ident и индуктивных бесконтактных переключателей. Система идентификации RFID BL ident обеспечивает соблюдение требуемых рабочих расстояний и высокую степень производственной защиты. Индуктивные бесконтактные переключатели компании проверяют правильное позиционирование металлических листов в прессе. Сочетание этих технологий обеспечивает непрерывность производственного процесса и снижает вероятность возникновения дорогостоящих простоев. Головки чтения-записи и бесконтактные переключатели могут быть интегрированы одновременно

в одни и те же модули ввода/вывода компании Turck (<https://www.turck.ru>).

Компания Cognex среди прочего имеет в портфолио интеллектуальные системы машинного зрения In-Sight и инновационное решение на их основе для производства (обработки и тестирования) автомобильных дисковых тормозов, освобождающее сотрудников от физически тяжелой работы. Для автоматизации процесса система машинного зрения In-Sight была установлена непосредственно на захватной головке робота Yaskawa Motoman MH50–35. С помощью автофокуса, быстрого захвата изображения и встроенного освещения интегрированная интеллектуальная камера распознает местоположение дисковых тормозов на конвейерной ленте. Камера устанавливается в направлении внутреннего диаметра, а затем данные изображения передаются на роботизированный пункт управления за доли секунды, что позволяет высокопроизводительным магнитам быстро захватывать диски. После захвата дискового тормоза выполняется считывание буквенно-цифровых символов. Для этого робот помещает дисковый тормоз на вращающийся диск. Вторая система In-Sight считывает буквенно-цифровые символы с помощью встроенных светодиодных ламп, помещающих символы в фокус. Высокоскоростное устройство формирования изображений для линейного сканирования 1K In-Sight захватывает мозаичные штампованные символы, пока дисковый тормоз делает два оборота. После считывания буквенно-цифровых символов проводится обработка и проверка, включающая балансировку и звуковое тестирование. В конце робот создает комплект из шести дисков в ящике из нержавеющей стали, закрывающимся деревянной крышкой (<https://www.cognex.com>).

Компания Omron разработала комплексную автоматизированную систему идентификации и прослеживаемости. Возможности этой системы в автомобилестроении подробно рассмотрены в [2]. Автоматизированная система позволяет вести мониторинг достоверных данных в режиме реального времени, накапливать историю и формировать базы знаний для анализа и последующего выполнения корректирующих и предупреждающих мероприятий, помогает на этапах планирования и логистики, а также повышает ответственность персонала за свою работу.

Системы производственной безопасности

На промышленных сборочных предприятиях работают люди, и роботы. Системы безопасности таких производственных линий традиционно включают защитные сканеры, реле и кнопки безопасности. Коммуникационные цепи безопасности характеризуются сложной проводкой, значительной длиной проводника от защитного устройства до шкафа управления. Реле выполняют только ограниченную диагностику неисправностей, им требуется жесткое подключение, в результате чего систему сложно адаптировать при необходимости внесения изменений в приложения. В таких проектах, если человек вошел в ячейку или если одно устройство вышло из строя во время производства,

вся линия останавливается. Для обнаружения проблемы требуется проверить устройства каждой области. Сложно определить сбой, выяснить, какая кнопка безопасности была нажата. Вся линия стоит, пока неисправность не будет выявлена и устранена.

Для решения данной проблемы компания Rockwell Automation разработала контроллеры безопасности Allen-Bradley GuardLogix 5580 и Compact GuardLogix 5380, которые можно адаптировать к системам безопасности различных уровней от SIL 2/PLd до SIL 3/PLe. Такая гибкость конфигурации позволяет инженерам масштабировать системы безопасности и уменьшать их стоимость, в то же время выполняя все актуальные требования к безопасности оборудования. Встроенный в контроллеры GuardLogix 5580 и Compact GuardLogix 5380 гигабитный порт Ethernet позволяет увеличить скорость обмена данными и поддерживать большее число «интеллектуальных» устройств. Это дает возможность инженерам без дополнительного оборудования реализовать интенсивный обмен данными. Если в будущем пользователю потребуются собирать и передавать еще больший объем данных, новые контроллеры будут к этому готовы.

При использовании контроллеров в сочетании с интегрированной средой разработки Studio 5000 и сервоприводами Kinetix 5700 доступны новые типы безопасного останова и функции контроля безопасной скорости, безопасного положения и др. Эти новые функции обеспечивают большую гибкость работы систем безопасности, например, замедляя скорость машины при приближении человека вместо ее останова. У инженеров появилась возможность создавать системы с функциями коллаборации человека с роботом. Если человек подходит к роботу слишком близко, система замечает это и замедляет либо останавливает движение робота.

Высокая производительность новых контроллеров позволяет сократить их число в сложных машинах. Применение одного контроллера для стандартной АСУТП позволит повысить производительность оборудования и снизить стоимость системы, ее сложность и размеры.

Данное решение уже оправдало себя на заводе Kia, сократив на 70% время технического обслуживания, а также позволило повысить бизнес-показатели заводу Jaguar Land Rover. На этих предприятиях производственная линия в новом дизайне была разделена на зоны. В каждой зоне размещается шкаф с точками ввода/вывода Safety Point с проводкой длиной 2...3 м. Каждый вход/выход Safety Point подключается к порту EtherNet Allen-Bradley GuardLogix. Каждый сканер имеет функцию обхода с возможностью световой сигнализации и переключения.

Теперь в случае неисправности останавливается только соответствующая зона, сигнализирующая о местоположении сбоя. Отказ можно быстро идентифицировать и устранить, пока другие зоны остаются в рабочем состоянии (<https://www.rockwellautomation.com>).

Автомобиль XXI века

Современные средства и системы автоматизации, робототехнические комплексы и системы применя-



Рис. 2. Автоматизированное решение для электроразрядки

ются в различных отраслях промышленности. Они уже прочно вошли в инженерное сознание производственных компаний. Удивление могут вызывать лишь отдельные их функции, применение инновационных технологий, конструкторские решения. Автомобилестроение — высокотехнологичная отрасль, которая одна из первых внедряет наукоемкие технологии. И на сегодняшний день автомобильная промышленность удивляет пользователей совершенно необычными функциональностью и сервисными возможностями, пришедшими к нам со страниц фантастических романов. Благодаря быстрому прогрессу технологий стало возможным реализовать электромобили, беспилотные транспортные средства, автомобили с интегрированными сетевыми возможностями («подключенные» автомобили), которые сегодня кажутся как минимум непривычными. Ожидается, что к 2020 г. 90% автомобилей будут обладать сетевыми возможностями, а к 2030 г. 30% автомобилей будут оснащены электрическими двигателями.

Электромобиль

В подтверждение этому тезису расскажем об электрическом «беспилотнике» microSNAP компании Rinspeed (Швейцария), премьера которого ожидается в марте 2019 г. Машина относится к категории шаттлов, то есть транспорта, обслуживающего определенный маршрут. «Исюминка» microSNAP — выполненные отдельными модулями шасси и кузов. Такое решение позволяет заменять кузов в зависимости от текущих задач. Маленькие транспортные модули (габариты: 262x1335x1708 мм, колесная база 1686 мм и вес 730 кг) имеют платформу-шасси, которая является полностью автоматизированной и роботизированной. В ней предусмотрены резервные системы рулевого управления и торможения. Концепция предполагает, что шасси будут существовать два-три года, а потом меняться из-за появления новых технологий и износа. Представленная модель оснащена трехфазным асинхронным электродвигателем мощностью 13 кВт и крутящим моментом 57 Нм. Его питает литий-ионная батарея емкостью 6,1 кВт*ч, которая обеспечивает запас хода 95 км. Rinspeed microSNAP развивает скорость до 75 км/ч.

В разработке microSNAP принимало участие несколько десятков компаний, известных во всем мире своими готовыми решениями в той или иной области: Osram поставляет всю технологию внутреннего и внешнего освещения, светодиодные фары взяты у Prettl Lighting & Interior, электромоторы — у Mahle, связь уровня 5G обеспечивает Harman Ignite Cloud, программное обеспечение «автопилота» пятого уровня совместно разработали компании Luxoft, MHP, SAP, IoT, EY Advisory и Bamboo Apps, сканирование радужной оболочки для идентификации пассажиров, систему контроля салона и автоматическое затемнение стекол создала Gentex, систему смены кузовов — Kuka (<https://news.drom.ru>).

Компании HARTING и Kuka разработали для microSNAP автоматизированное решение для электрозарядки (рис. 2). Уровень развития электромобилей напрямую зависит от продолжительности зарядки и удобства соответствующей инфраструктуры для пользователей. Продолжительное время зарядки и применение габаритных и тяжелых соединителей являются вескими причинами отказа пользователей переходить с традиционных транспортных средств на электрические.

В решении, предложенном HARTING и Kuka, средство поддержки зарядки осуществляет эффективное управление работой соединителя combo 2 постоянного тока в гнезде для зарядки на транспортном средстве. После зарядки робот извлекает соединитель и кабель, и транспортное средство почти сразу готово к поездке. Мощный источник электропитания постоянного тока оптимально адаптирован к средству поддержки зарядки. Дополнительно HARTING обеспечивает передачу данных, сигналов и электропитания для средства поддержки зарядки.

Подключенный автомобиль

Подключенный автомобиль является транспортным средством, которое оснащено «интеллектуальными» системами, а также имеет возможности для выхода в Internet и подключения к облачным сервисам. Для реализации идеи требуется единый стандарт, который сможет объединить всех производителей в единую сеть. Этот стандарт сравнивают с USB технологией, которая произвела революцию в компьютерном мире.

В Европейском союзе, России и Бразилии уже принят ряд законов, согласно которым, начиная с 2015 г., все новые автомобили должны иметь встроенную SIM-карту и беспроводной модем. Данная инициатива Евросоюза названа eCall и предназначена для подачи сигнала от машины, которая попала в аварию или была подвержена угону. В России подобная разработка получила название «ЭРА-ГЛОНАСС», основу которой составляет европейский стандарт eCall/E112 (<https://ccsummit.ru>).

Подчеркнем, что подключенные автомобили работают благодаря «облачным» технологиям. Именно в «облаке» происходит управление всеми данными, включая их анализ. Сеть Internet не предоставляет «интеллектуальные» услуги. Этим занимаются «облачные» технологии, генерирующие ту или иную ценность для своих пользователей. Другими словами, «облако» —

это «интеллектуальный» эпицентр подключенных устройств, а также связанных сервисов. Подключенные автомобили все сильнее и сильнее полагаются на высоко скоординированную и тесно интегрированную систему «облаков» (<https://iot.ru>).

В настоящее время на рынке уже появились первые экземпляры подключенных автомобилей. Выше упоминался шаттл microSNAP компании Rinspeed (Швейцария). Инновации не обошли стороной и автомобиль экстра-класса, например, Jaguar F-PACE, создан на основе технологий Rockwell Automation и Cisco Technology. В автомобиле реализована масштабируемая, защищенная сетевая архитектура, позволяющая подключаться к мобильным устройствам пользователя. Компании Rockwell Automation и Cisco уже не первый год сотрудничают в области коммуникаций. Они подготовили руководство по проектированию сетей, призванное помочь компаниям интегрировать мобильные устройства, внедрять комплексные облачные коммуникации и одновременно достигать высочайшего уровня безопасности. В руководстве приводятся примеры проверенных на практике проводных и беспроводных сетевых архитектур, используемых при развертывании на производстве облачных и мобильных решений на основе IIoT (<https://www.rockwellautomation.com>).

Автономное вождение (беспилотный автомобиль)

По прогнозу PwC, полностью автономные транспортные системы в крупнейших городах планеты появятся к 2040 г., а первые беспилотные автомобили должны появиться на дорогах уже в 2021 г. Согласно классификации SAE International, существует шесть уровней автоматизации транспорта: от 0 (в определенных ситуациях система может делать предупреждения и вмешиваться в процесс управления, но не имеет постоянного контроля над автомобилем) до 5 (управление автомобилем без какого-либо участия водителя). Над созданием беспилотных автомобилей разной степени автономности работают несколько компаний по всему миру.

Примеры зарубежных разработок

В октябре 2017 г. компания Mitsubishi Electric объявила о начале полевых испытаний на автомагистралях технологии автономного вождения. Технология основана на использовании сигналов дифференциальной коррекции сантиметрового уровня точности (CLAS), передаваемых квазизенитной спутниковой системой. Дорожные испытания проводятся с целью проверки возможности автономного движения при использовании сигналов CLAS и высокоточных 3D-карт в сочетании с разработками Mitsubishi Electric в области систем интеллектуального вождения, такими как сенсорные технологии на основе радара и камеры миллиметрового диапазона.

Мобильная дорожная 3D картографическая система MMS-G220 — это комплексная, монтируемая на крышу автомобиля съемная установка, которая во время вождения осуществляет сбор данных с помощью автомобильных GPS-антенн, лазерных сканеров и камер. MMS-G220 собирает трехмерные изображения дорожного покрытия и придорожных объектов с точ-

ностью до 10 см. Последующий анализ информации осуществляется посредством алгоритмов искусственного интеллекта. Для оперативной актуализации карт Mitsubishi Electric разработала технологию, которая позволяет во время вождения сравнивать данные, получаемые с помощью системы MMS-G220, с данными карт, разработанных ранее. Система способна оперативно оценивать уже исследованную местность и обновлять только изменившиеся параметры. Это гораздо быстрее, чем обновлять всю карту целиком, что в будущем позволит автомобилям с системой автономного вождения оперативно реагировать на изменение ситуации на дорогах и повысит безопасность.

Технология CLAS повышает точность позиционирования по сравнению с глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС) за счет использования данных дифференциальной коррекции, которые поступают от сети постоянно действующих референционных станций (имеют определенные координаты и ведут наблюдение за параметрами спутников ГНСС), находящихся в управлении Государственной палаты по геопространственной информации Японии. Через квази-зенитную спутниковую систему эти данные передаются на установленные на автомобилях высокоточные навигационные приемники, которые могут определить местоположение с точностью до нескольких сантиметров (<https://www.mitsubishielectric.ru>).

Мы уже говорили об электромобилях и их слабых местах, тормозящих их распространение у пользователей. Многие покупатели автомобилей опасаются, что электромобиль может застрять во время дорожного движения. Для решения этой проблемы компания Bosch разработала программный компонент System! e. Поскольку электрический привод автомобиля по умолчанию подключен к облаку, система может проводить «расширенный прогноз». Она анализирует такие данные о транспортных средствах, как текущий заряд батареи, расход энергии на отопление или кондиционирование воздуха, стиль вождения и даже учитывает информацию о пространстве вокруг автомобиля. Например, система анализирует актуальную ситуацию дорожного движения и топографические данные для выстраиваемого маршрута. Основываясь на этой информации, она может достоверно рассчитать точное местоположение автомобиля. Для длительных поездок в электромобиле расширенный прогноз дополняется специальным «помощником», который осуществляет поиск мест для подзарядки. Система заранее планирует необходимые остановки для подзарядки и управляет процессом платежей. Благодаря дополнительной информации о ресторанах, кафе и магазинах водители могут максимально комфортно использовать время зарядки автомобиля и отдохнуть. Дополнительно решение управляет процессом зарядки электромобилей в умных домах и помогает оптимизировать использование энергии, интегрируя автомобиль в электрическую сеть умного дома. Таким образом, ак-

кумулятор автомобиля дополняет стационарное устройство фотоэлектрической системы. В течение дня автомобиль поглощает избыток солнечной энергии и отдает его ночью по мере необходимости (<http://www.bosch.ru>).

Кроме представленного решения, Bosch разрабатывает компоненты, операционную систему и мобильные услуги для мобильности шаттла будущего. Но технической информации об этом получить не удалось.

Достижения российских ученых

В России разработки в области автономного вождения ведут «Яндекс», а также Cognitive Technologies вместе с КамАЗом (www.gbc.ru).

Беспилотник Яндекса

В 2017 г. компания Яндекс провела испытания своего беспилотника. Машина оснащена камерами, которые смотрят в разных направлениях. По картинке с камер программное обеспечение может установить местонахождение других машин, людей и объектов, выявить границы проезжей части, распознать знаки и разметку. Стереокамеры позволяют определить расстояние до объектов. На крыше автомобиля установлен лидар² кругового обзора. Он с помощью лазерного излучателя сканирует окружающее пространство. На основе информации об отражениях лучей составляется трехмерная карта — с ее помощью вычисляются точные расстояния до тех или иных объектов вокруг машины. Помимо данных с камер и лидара используются показания радара — он определяет расстояние до объектов с помощью радиоволн. У радара более узкий, чем у лидара, угол обзора, но зато он способен «видеть» на большее расстояние — это особенно важно на высоких скоростях.

Машина также оборудована датчиками, которые определяют ее местоположение, скорость и направление движения. Это приемники GPS/ГЛОНАСС, блок инерциальных измерителей и сенсоры, которые измеряют одометрические данные машины, например, скорость вращения отдельных колес.

С помощью информации, собранной датчиками, сложный алгоритм строит виртуальную модель окружающего мира. На основе модели принимается решения о том, как должна двигаться машина. Система использует различные технологии Яндекса, в первую очередь — компьютерное зрение. Поскольку собранных данных очень много, они поступают постоянно, а реагировать на любые изменения необходимо немедленно, системе требуются мощные вычислительные ресурсы (<https://yandex.ru>).

4D-радар для беспилотных автомобилей

Тестовый образец беспилотного КамАЗа был выпущен летом 2015 г. Результаты испытаний показали, что оснащение машины только видекамерами не обеспечивает требуемой точности и надежности. В результате были начаты работы в области создания специального автомобильного радара.

Осенью 2018 г. компания Cognitive Technologies (Россия) сообщила о завершении разработки новой 4-мерной бортовой радиолокационной станции и подготовке к ее

² Лидар — технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах.



Рис. 3. 4D-радар

серийному производству. В проекте принимали участие несколько коллективов разработчиков в России, среди которых ученые Томского университета систем управления и радиоэлектроники.

На мировом рынке беспилотных автомобилей до настоящего времени еще не было готового к серийному выпуску радара, который был бы способен в любую погоду не только определять координаты и скорость объектов дорожной сцены, но и их форму, как это делает видекамера. Фактически, это третий глаз для беспилотника. Новый радар благодаря уникальной технологии Cognitive super human level имеет наилучшее разрешение на рынке, работает на любых скоростях. Точность детекции объектов на основе полученной от радара информации составляет до 97,7% и в комплексе с видекамерой гарантирует безопасность на дороге. Устройство имеет доступную стоимость и компактные размеры, что позволяет начать его серийное производство (<http://www.robogeek.ru>).

Радиолокационная станция получила название Cognitive Imagine Radar (рис. 3). Ее главное отличие от всех известных аналогичных разработок в мире в том, что это первый готовый к производству 4D-радар для автомобилей, который определяет не только пространственные координаты и скорость объектов, но также и их форму. Серийный выпуск новых радаров планируется начать уже в 2019 г.

Конструкция представленных на рынке обычных радаров предусматривает возможность работы лишь в одной, горизонтальной плоскости, что серьезно ограничивает возможности авторобота в «видении» дорожной ситуации. Обычные радары позволяют определять расстояние до объектов дорожной сцены, траекторию их движения и скорость. Различать форму и тип объектов такой радар не умеет. Например, он практически не способен отличить автомобиль от пешехода или приближающийся мост от

фуры. Он также не справляется с распознаванием наложенных друг на друга изображений, таких как человека, стоящего у забора или автомобиля. Поэтому многие автопроизводители для получения необходимой информации о дорожной сцене в качестве одного из основных сенсоров, помимо видекамер, вынуждены использовать лидары — сканирующие излучатели на базе лазеров, позволяющие определять помимо расстояния до объекта, его форму. Однако их физические характеристики существенно деградируют в условиях дождя, снега или пылевых облаков. Приборы сильно подвержены загрязнению и быстро выходят из строя (<https://www.qrz.ru>).

В 4D-радар эти недостатки устранены. Cognitive Imagine Radar способен детектировать объекты на расстоянии до 180...200 м в диапазоне углов азимута $> 90...100$ гр. и угла места до 15...20 гр. (достижение больших размеров угла не целесообразно для практических задач при поездках по автодорогам). Его рабочая частота находится в диапазоне 76...81 ГГц.

В основу 4D радиолокационной станции заложена технология Cognitive super human level, заключающаяся в создании фазированной антенной решетки, перемещающей луч без механических приспособлений. Радар имеет режим синтезированной апертуры — он создает объемную карту местности с объектами на ней. При работе радара в режиме синтезированной апертуры он записывает принимаемое с заданного направления отраженное излучение. Запись ведется на протяжении некоторого времени и одновременно сопоставляется с данными навигационного оборудования. После обработки записанных данных подсистемы радара выдают информацию обо всех наблюдаемых объектах с высокой разрешающей способностью, необходимой для оценки габаритных характеристик объекта. Кроме того, в отличие от обычных подходов к созданию 4D-радаров подход Cognitive Technologies позволяет формировать четырехмерную карту дорожной сцены: пространственные координаты — скорость за один цикл приема — передача сигнала. Это дает возможность повысить частоту обновления данных и, как следствие, определять параметры динамичных объектов и эффективно использовать энергетику радара, а также гарантирует низкую итоговую стоимость готового прибора (<http://www.robogeek.ru>).

Кроме того, в 4D-радаре реализована технология SAR (Synthetic-aperture radar — используется для воссоздания окружающей обстановки), позволяющая с помощью радара и бортового компьютера автомобиля строить карту окружающей обстановки. Такая карта необходима автопилоту для понимания общей картины того, где находится автомобиль, какие возможны сценарии выбора траекторий. Технология позволяет видеть в высоком качестве объекты, находящиеся на близком расстоянии к автороботу — обочину, выбоины на дороге, бордюры и т.п., видеть и детектировать даже домашних животных, выделять потенциально опасные объекты на дороге и учитывать их при управлении беспилотником.

Разработчики заявляют, что использование 4D радара в совокупности с видекамерами и технологией Cognitive

low level data fusion обработки данных, поступающих с сенсоров на нижнем уровне, позволили не только достичь лучших показателей компьютерного зрения в мире, но и превзойти возможности человека по восприятию дорожной сцены.

Процесс разработки инновационных сенсоров в мире в последние годы шел по двум направлениям — создание дешевого и компактного лидара высокого разрешения, но пока это осталось только перспективой, и 4D-радар. Путь создания 4D-радар, благодаря Cognitive Technologies, оказался более коротким и удачным (<http://www.robogeek.ru>).

Испытательные полигоны для оценки свойств беспилотных автомобилей

Появление беспилотных транспортных средств порождает необходимость создания полигонов для их тестирования и испытания.

Первый в России полигон для испытания беспилотных автомобилей официально заработает в Дмитровском городском округе Московской области весной 2019 г. Полигон принадлежит Центральному научно-исследовательскому автомобильному и автомобильному институту «НАМИ». Полигон оснащен цифровой инфраструктурой, имитирующей движение в городе: установлено специальное оборудование, датчики, проложена V2X-связь, которая позволяет автомобилям взаимодействовать между собой, окружающей средой и инфраструктурой. Готовится к пуску вторая часть полигона, имитирующая движение автомобилей за городом: разгонная трасса, внешнее и внутреннее кольца. Там, в частности, установят видеокамеры и другое оборудование, обеспечивающее связь автомобилей с инфраструктурой. В планах разработчиков запуск тестовой лаборатории с возможностью создания цифрового двойника беспилотного автомобиля. Разработчики высокоавтоматизированных транспортных средств будут иметь возможность использовать собственное программное обеспечение, чтобы моделировать любые транспортные ситуации.

Ожидается, что, результатом испытаний на Дмитровском полигоне станут методики тестирования беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования в Москве и других городах, где проводится эксперимент. На их основе также будут разработаны стандарты безопасности для допуска автономного транспорта на дороги, а МВД по итогам всех опытных испытаний должно внедрить процедуру регистрации беспилотников (<https://trans.ru>).

За рубежом также ведутся работы не только по созданию беспилотных транспортных средств, но и по их безопасному тестированию на испытательных полигонах. Один из таких полигонов будет открыт в Венгрии в ближайшие пять лет. Особенностью полигона является то, что помимо традиционных участков (скоростного овала, шумовой дороги, набора дорог для испытаний тормозных систем, дорог с разным углом наклона и т. п.) на полигоне будет построен мини-город Smart City Zone, позволяющий испытывать современные системы помощи водителю и беспилотники. Будет создана инфраструктура для испытаний IT-систем и телематики, в том числе 5G Telematics:

Vehicle to Everything Communications. На полигоне будут также смитированы условия скоростных магистралей с тоннелями для отладки работы систем помощи водителю в реальных дорожных ситуациях (в том числе системы «конвой» с одновременным движением четырех-пяти автопоездов). Бюджет проекта составляет 140 млн. евро, первые строения и дороги построены уже в 2018 г.

Таким образом, автомобилестроение не только высокотехнологичная и наукоемкая отрасль, но и весьма привлекательная сфера для инвестиций [3].

Информационная безопасность беспилотного автомобиля

Выход приложений в сеть Internet сопровождается возможностями кибер-атак на облачные сервисы. В связи с этим на первый план выходят решения для информационной безопасности. В ответ на этот жизненный вызов «Лаборатория Касперского» и производитель автомобильных элементов НПП «Итэлма» создали компанию, которая займется разработкой интеллектуальных автомобильных систем. НПП «Итэлма» занимается производством электронного и электрического оборудования для автотранспортных средств, в частности, систем управления двигателем и бортовой электроники. Среди партнеров компании — автопроизводители АвтоВАЗ, УАЗ, ГАЗ, КамАЗ и др. Ожидаемый фокус новой компании направлен на создание образцов промышленного оборудования, интеллектуальных элементов автомобильной электронной системы и построение вертикальной системы управления жизненным циклом изделия с применением технологий цифрового двойника (виртуальный аналог физического устройства, который моделирует его внутренние процессы и поведение в окружающей среде, искусственный интеллект и др.) (<https://www.rbc.ru>).

В начале февраля 2019 г. Сингапур выпустил национальные стандарты для беспилотных автомобилей, предназначенные для контроля производства и информационной безопасности такого транспорта. Документ разрабатывался в течение 2018 г. представителями сектора беспилотного транспорта, исследовательских и государственных учреждений. Национальный стандарт призван обеспечить совместимость данных и кибербезопасность, необходимые для развертывания беспилотных транспортных средств в городской среде. Испытательный центр по разработке стандартов и обеспечения безопасного производства беспилотных транспортных средств в Сингапуре был открыт еще в ноябре 2017 г. Центр, занимающий 2 га в инновационном районе Джуронг, был совместно разработан Управлением наземного транспорта Сингапура, Технологическим университетом Сингапура Наньян и Объединенным техническим комитетом. На испытательном участке воспроизведены различные элементы местной дорожной инфраструктуры, которые необходимы для тестирования средств навигации беспилотников. Объект также включает симулятор дождя и зону затопления для проверки навигационных способностей транспортных средств при различных погодных условиях (<http://www.tadviser.ru>).

Заключение

На автомобилестроительных предприятиях средства и системы автоматизации применяются в двух направлениях. С одной стороны, это автоматизация производственного процесса, где на конвейерах устанавливаются традиционные и специализированные для данной отрасли решения. С другой — автомобиль сам по себе является носителем средств и систем автоматизации, коммуникации, специализированных алгоритмических решений. На передовых предприятиях уже используются стандарты Industry 4.0, то есть процесс производства автомобилей характеризуется высокой степенью цифровизации. Автомобиль, сошедший с цифрового конвейера, сам является цифровым объектом. Он оснащен различными коммуникационными средствами, сервисными функциями (климат контроль, помощник при парковке, антиблокировочная система, система курсовой устойчивости и т. д.), имеет доступ к облачным средам. Представляется, что кульминационным достижением в области автомобилестроения станет появление на наших дорогах беспилотных транспортных средств. Работы в этом направлении ведутся активно, над алгоритмическим обеспечением беспилотников сегодня трудятся коллективы серьезных разработчиков по всему миру. И уже созданы первые образцы и проведены испытания. Хочется верить, что беспилотные транспортные средства будут не только комфортны в использовании, но и безопасны как для их владельца, так и для окружающих.

Поэтому в заключение остановимся на безопасности беспилотных автомобилей. Разработчики систем управления беспилотными автомобилями не раскрывают своих алгоритмов, поэтому мы не имеем возможности проанализировать достоинства подхода той или иной компании, оценить, какие функции по пилотированию выполняются в облачной среде, какие непосредственно на компьютере транспортного средства и как осуществляется их коммуникация.

Беспилотный автомобиль выполняет свою задачу в условиях случайной окружающей среды. Безопасность выполнения задачи зависит как от правильной прокладки маршрута, так и от правильного реагирования на опасности окружающей среды. Обе эти области одинаково важны.

Прокладка маршрута зависит от точности системы навигации (например, системы ГЛОНАСС). При ее сбое машина неправильно определяет свое положение и может въехать в дом, столб, овраг и т. п. Существуют автономные системы навигации, например, программные (для управления движением карьерных грузовиков) или инерциальные. Беспилотный автомобиль в дополнение к любой системе навигации должен иметь свою автономную систему определения своего положения среди окружающих предметов. По мнению авторов, автономная система ни в коем случае не может быть связана с «облаком».

Движение по земле. Другой важный элемент безопасности: управление перемещением по земле — изменением скорости и направления движения. Система управления движением тоже должна быть автономной и жестко зависимой от окружающей обстановки. Параметры движения, лежащие в «облаке», могут иметь только рекомендательный характер.

Список литературы

1. *Хисамутдинов Р.М.* Роботизация в автомобилестроении по принципам Индустрии 4.0 https://www.rbc.ru/technology_and_media/14/06/2018/5b2275fa9a79475f9a8af3ad.
2. *Чекавинская Я.С., Шаверин А.В.* Управление качеством 4.0. Автоматизация системы идентификации и отслеживаемости для предприятий автомобильной промышленности // Автоматизация в промышленности. 2018. №8.
3. *Грошев А.М., Тумасов А.В.* Интеллектуальные системы помощи водителю. Итоги 102-й международной конференции Ассоциации автомобильных инженеров//Журнал автомобильных инженеров. 2018. № 2.

Аристова Наталья Игоревна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
Чадеев Валентин Маркович — д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник
Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.
Контактный телефон (495) 334-91-30.

*Все началось с того, что я
огляделся по сторонам и, не
увидев автомобиля своей мечты,
решил сконструировать его сам.*

Фердинанд Порше

