

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ НА ИЗДЕЛИЯ 3D MID С РАЗДЕЛЕНИЕМ ГРУБЫХ И ТОЧНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А.Е. Курносенко (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Рассматривается операция пространственной установки компонентов на изделия, выполненные по технологии 3D MID. Предлагается концепция построения сборочного оборудования, предусматривающая разделение грубых и точных перемещений исполнительных механизмов при позиционировании собираемого изделия. В качестве устройства грубого перемещения предлагается использовать многоколенный робот с шестью степенями свободы, устройство точного перемещения – параллельный манипулятор типа «гексапод», установленный на фланце указанного робота. Предложенная концепция нацелена на обеспечение требуемой точности и повторяемости операции установки компонентов с одновременным снижением требований к характеристикам исполнительных механизмов позиционирования. Представлена схема построения сборочного оборудования и алгоритм его работы при установке группы компонентов в локальной области собираемого изделия 3D MID.

Ключевые слова: технология 3D MID, установка компонентов, робот-манипулятор, гексапод.

Введение

Электронные модули, выполненные по технологии 3D MID (3D molded interconnect devices — литых трехмерных монтажно-коммутиционных оснований), в настоящее время активно используются в устройствах различного назначения, которые отличаются повышенными требованиями к геометрической форме и размерам модуля, его миниатюризации с одновременной интеграцией в рамках модуля таких элементов, как электромагнитный экран, антенна, элементы питания, индикации, управления и пр. Такой модуль в общем случае представляет собой выполненное из термопластичных материалов основание сложной формы с нанесенным трехмерным проводящим рисунком и электронными компонентами, смонтированными на контактных площадках модуля. С типовыми методами получения основания, проводящего рисунка, а также с применимыми техпроцессами установки и монтажа компонентов можно ознакомиться в [1]. 3D-модель характерного изделия 3D MID представлена на рис. 1.

Одна из основных трудностей, отличающая техпроцесс сборки изделий данного класса от традиционных техпроцессов 2D-сборки электронных модулей I уровня на печатных платах, заключается в необходимости установки компонентов на произвольно расположенные в пространстве поверхности, в том числе неплоские. Основные концепции построения сборочных автоматов для технологии 3D MID, решающие указанную задачу, рассмотрены в работах [1, 2], задача оптимизации последовательности установки компонентов и необходимые промежуточные перемещения исполнительных механизмов оборудо-



Рис. 1. 3D-модель изделия, выполненного по технологии 3D MID – переключатель для встраивания в руль мотоцикла. Источник: XENON Automatisierungstechnik GmbH

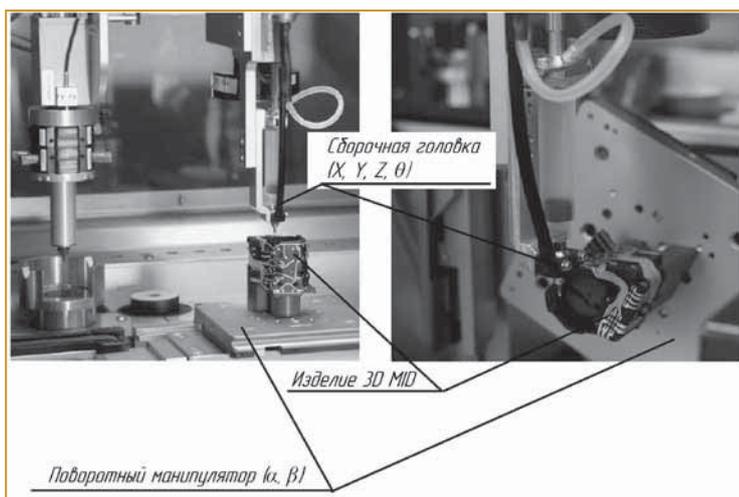
вания — в работе [3]. Далее будем рассматривать концепции сборочного оборудования с наиболее сложными размерностями установки — $n \times 2D$ и $3D$, так как именно такое оборудование полностью реализует возможности по производству изделий 3D-MID [2]. На основании данных работ, а также анализа современного состояния сборки изделий 3D MID выделим две получившие наибольшее распространение кинематические схемы оборудования. У обеих схем для привода плоского перемещения сборочной головки по осям XU применяется работающая в декартовой системе координат порталная рама,

при этом вертикальное перемещение захваченного электронного компонента вдоль оси Z и его поворот вокруг этой оси (θ) реализуется самой головкой или индивидуальными штоками блока головок. Эта схема полностью аналогична применяемой для традиционного монтажа электронных компонентов на плоские печатные платы. Отличия возникают при реализации перемещения собираемого модуля.

1. В первой схеме модуль установлен на манипуляторе, который осуществляет поворот вокруг двух взаимно перпендикулярных осей α и β . Возможно дополнительное перемещение вдоль вертикальной оси Z [4].

2. Во второй схеме роль манипулятора выполняет многоколенный робот с шестью степенями свободы (шесть осей вращения), на захватном устройстве которого размещен собираемый модуль.

Расположение осей линейного перемещения и поворота применительно к указанным выше схемам приведено в работе [2], соответствующие исполнительные механизмы оборудования дополнительно показаны на рис. 2. И на поворотном манипуляторе,



а)



б)

Рис. 2. Исполнительные механизмы оборудования для установки компонентов на изделия 3D MID: а) схема 1 с поворотным манипулятором (источник: XENON Automatisierungstechnik GmbH), б) схема 2 с многоколенным роботом (источник: Essetec AG)

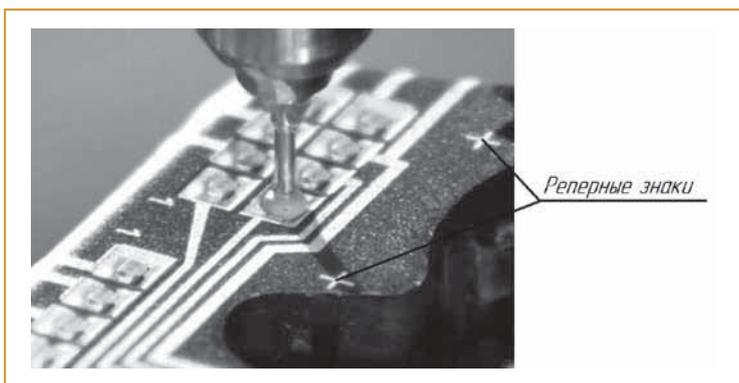


Рис. 3. Дозирование паяльной пасты на контактные площадки изделия 3D MID. Реперные знаки рабочей области выполнены в виде креста. Источник: XENON Automatisierungstechnik GmbH

и в захватном устройстве робота собираемый модуль может фиксироваться с помощью спутника.

Следует отметить, что процесс точной установки компонента на поверхность модуля предусматривает компенсацию суммарной погрешности, которая складывается, в частности, из погрешностей выпол-

нения проводящего рисунка, позиционирования модуля и захвата компонента сборочной головкой. Данная погрешность вычисляется на основе данных, полученных от системы технического зрения (СТЗ). В качестве эталонных объектов используются выполненные в слое проводящего рисунка реперные знаки, образы которых считываются камерами и распознаются с последующим вычислением координат центров. Пример исполнения реперных знаков в виде крестов представлено в 3D-модели (рис. 1) и на фото операции дозирования (рис. 3) [4]. Погрешность рассчитывается путем сравнения вычисленных координат с эталонными значениями, взятыми из конструкторской документации на изделие.

По результатам рассчитанной погрешности в координатную систему сборочного оборудования вносится коррекция, компенсирующая указанную погрешность. Компенсация в общем случае выражается в дополнительном смещении модуля в пространстве на некоторые расстояния по осям Δx , Δy , Δz и повороте на углы вокруг осей $\Delta \alpha$, $\Delta \beta$ (в терминах первой схемы, во второй схеме может задействоваться поворот вокруг нескольких осей из возможных шести).

Очевидно, что в обеих схемах указанные смещения и повороты должны выполняться основным исполнительным органом (манипулятором и роботом соответственно), что предъявляет дополнительные требования к точности/повторяемости их позиционирования, особенно при отработке сверхмалых линейных и угловых перемещений, с учетом того, что указанная погрешность составляет, как правило, единицы/доли миллиметров и градусов. Реализация таких требований приводит к усложнению и соответствующему удорожанию как исполнительных механизмов, так и устройств управления ими, а также к ограничению функциональных возможностей оборудования в части отработки координат.

Цель данной работы — предложить концептуальную схему построения автоматизированного оборудования для установки компонентов на изделия 3D MID, обеспечивающую снижение требований к исполнительным механизмам в части точности и повторяемости позиционирования.

Актуальность работы определяется требованием постоянного повышения точности и повторяемости оборудования для сборки электроники, что вызвано расширяющимся применением таких прецизионных компонентов и операций, как установка чип-компонентов типоразмеров 0201 и менее, монтаж компонентов CSP и flip-chip, бескорпусных кристаллов с последующей разваркой

проволочных выводов и пр. Вместе с тем, так как изделия 3D-MID часто выпускаются в виде опытных образцов или малыми сериями, необходимо поддерживать стоимость сборочного процесса на уровне, доступном для организаций, занимающихся НИОКР, а также малых предприятий, при этом поддерживая функциональную гибкость в части номенклатуры устанавливаемых компонентов и геометрии собираемых изделий.

Новизна работы заключается в предложении концептуального решения, улучшающего характеристики и расширяющего функциональные возможности существующего оборудования для установки компонентов на устройства 3D MID.

Результаты работы могут быть использованы при создании нового лабораторного и промышленного оборудования для пространственной установки компонентов либо при модернизации существующего оборудования для 2D-установки в целях расширения его функциональности до работы с модулями 3D MID.

Описание предлагаемой концепции

Предлагается следующий способ снизить требования к точности и повторяемости исполнительных механизмов сборочного оборудования для 3D MID — разделить точные и грубые перемещения исполнительного механизма, отвечающего за перемещение



Рис. 4. Внешний вид механизм параллельного манипулятора типа «гексапод», модель H-811.12. Источник: Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

собираемого изделия 3D MID. При этом работу по его предварительному линейному и угловому позиционированию предлагается возложить на высокоскоростной (порядка сотен мм/с и гр/с) исполнительный механизм с невысокой абсолютной точностью позиционирования (на уровне долей/единиц мм и гр). Второй более точный (на уровне десятков мкм и десятых долей гр), но менее производительный исполнительный механизм следует жестко разместить на рабочем органе первого механизма и применять в целях коррекции положения собираемого изделия 3D MID по данным СТЗ, а также перехода к новому положению изделия, если оно несущественно (в пределах нескольких мм и гр) отличается от текущего.

Рассмотрим данный подход применительно ко второй схеме (с участием многоколенного робота).

Здесь исполнительный механизм грубого перемещения — недорогой многоколенный робот с шестью степенями свободы, обеспечивающий позиционирование изделия 3D MID, достаточное для работы СТЗ и определения требуемой коррекции положения.

Приведем примеры моделей роботов, осуществляющих предварительное грубое позиционирование: Automata Eva (разработчик — Automata), M-430iA/2PH (разработчик — FANUC), ST Robotics R17 HPL (разработчик — ST Robotics International).

Коррекцию положения изделия 3D MID (точное позиционирование), отрабатываемую по данным СТЗ после соответствующей их обработки, предлагается осуществлять с помощью устройства точного многокоординатного позиционирования. В качестве такого устройства выбран механизм параллельного манипулятора типа «гексапод» с октаэдральной компоновкой стоек (платформа Гью — Стюарта), реализующий шесть степеней свободы. Стойки имеют шарнирные соединения; за счет изменения длины стоек изменяется положение верхней подвижной платформы (рис. 4). В качестве приводов для каждой стойки, как правило, применяются бесколлекторные электродвигатели постоянного тока.

Нижнее основание данного механизма предполагается закрепить на фланце шестой оси многоколенного робота, при этом на верхнюю, подвижную платформу гексапода будет устанавливаться собираемое изделие 3D MID (непосредственно либо с применением спутника).

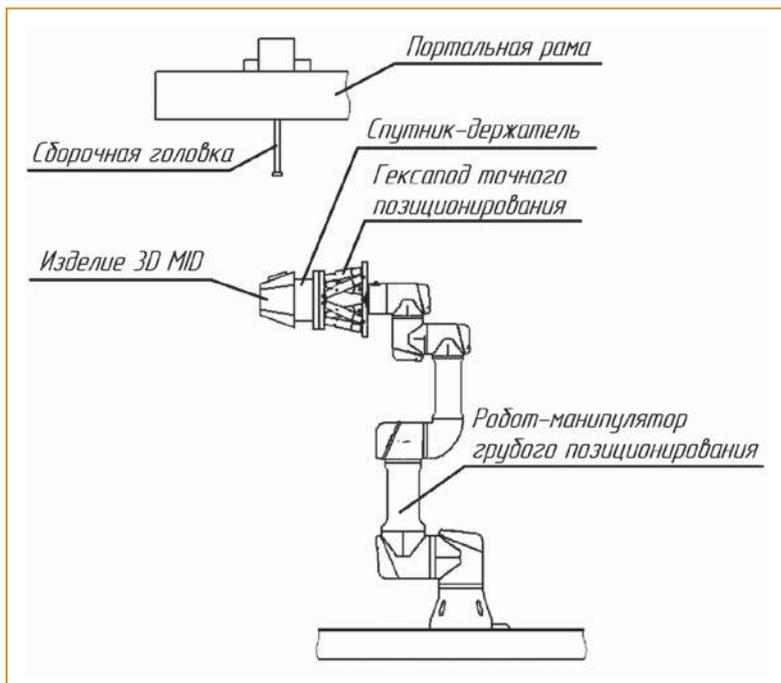


Рис. 5. Схема сборочного оборудования для пространственной установки компонентов с разделением точного и грубого перемещения собираемого изделия 3D MID

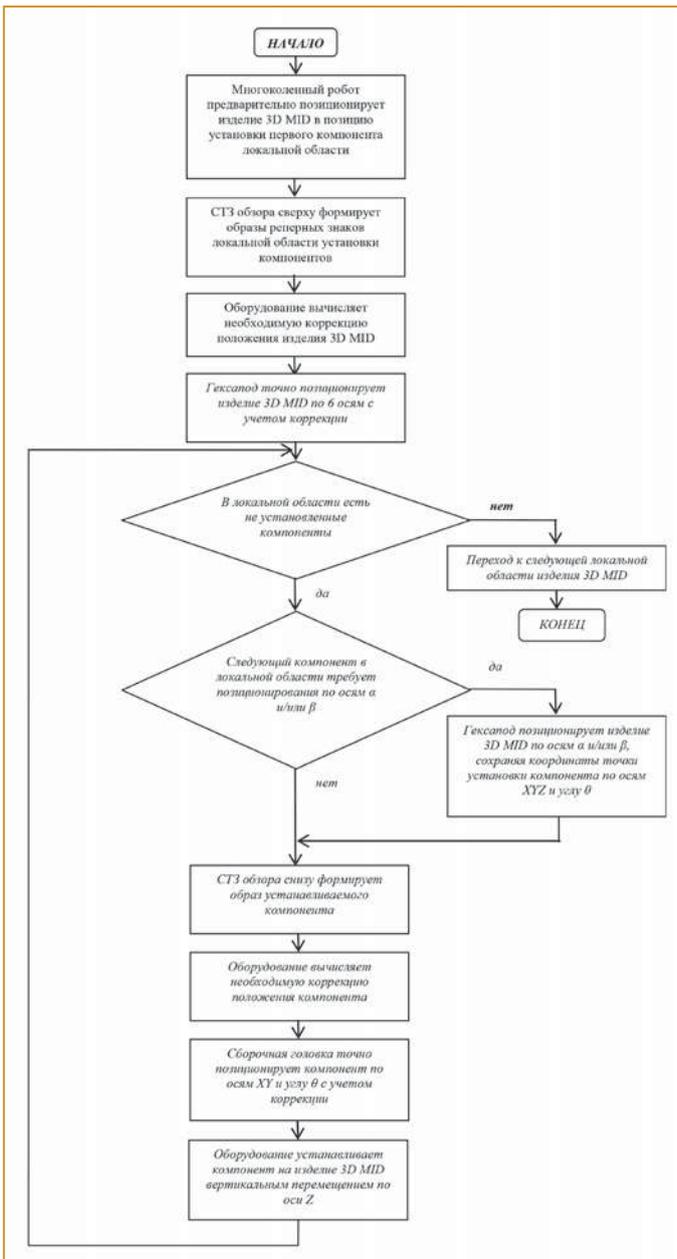


Рис. 6. Алгоритм пространственной установки группы компонентов в локальной области изделия 3D MID с применением раздельного грубого и точного позиционирования с помощью многоколенного робота и гексапода соответственно

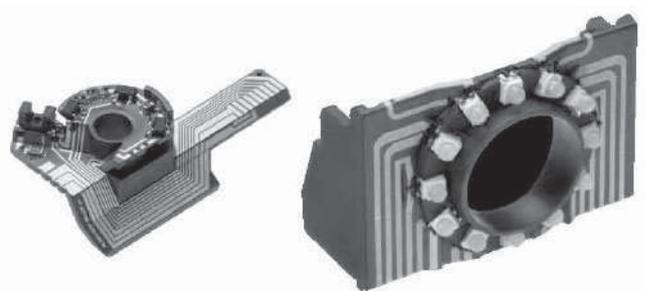
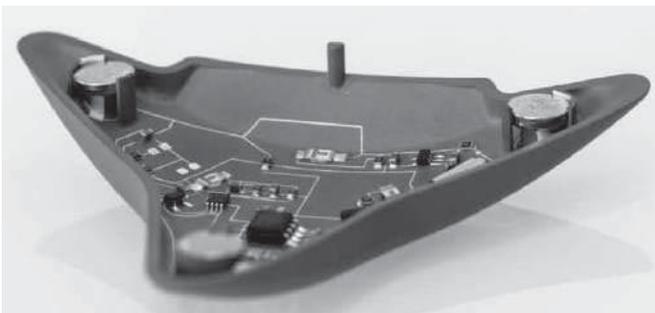


Рис. 7. Примеры конструкций изделий 3D MID, пригодных для установки группы компонентов в локальной области при помощи исключительно точного позиционирования без участия многоколенного робота. Источники: Esseti Circuiti Stampati srl и HARTING Mitronics

Выделим следующие основные преимущества данных платформ:

- позиционирование по шести независимым осям (три оси линейного перемещения, три оси вращения) с малым временем стабилизации;
- высокая точность и повторяемость позиционирования, отсутствие накопления ошибок отдельных осей;
- компактность;
- центр вращения задается в произвольной точке (не обязательно связан с центром платформы) и перемещается вместе с платформой.

Анализ характеристик некоторых моделей гексаподов, применимых для решения задачи точного позиционирования изделия 3D MID (Puna, разработчик — Symetrie; H-811.I2, разработчик — Physik Instrumente GmbH & Co. KG; HEX300-230HL, разработчик — Aerotech Inc.), позволяет сделать вывод о том, что характеристики гексаподов перекрывают необходимый для точного позиционирования изделия 3D MID диапазон нагрузок, линейных и угловых перемещений, данные манипуляторы реализуют требуемую точность/повторяемость, а также обладают габаритами, позволяющими установить их на фланец многоколенного робота в качестве спутника изделия 3D MID. При этом номенклатура выпускаемых моделей гексаподов достаточно широка.

Результирующая схема сборочного оборудования представлен на рис. 5, алгоритм его работы — на рис. 6. Отметим, что в предлагаемой концепции гексапод осуществляет не только коррекцию положения изделия 3D MID по данным СТЗ, но и осуществляет пространственное позиционирование при переходе к следующему компоненту в локальной области, если это позиционирование требует относительно небольших угловых/линейных перемещений гексапода, не выходящих за предельные значения его характеристик. Это улучшает производительность и точность сборки, позволяя обойтись только точной составляющей перемещений изделия 3D MID. Такой переход от одного компонента к другому возможен, если в данной локальной области компоненты установлены на плоской поверхности либо на поверхности с большим ра-

диусом кривизны. Примеры подобных устройств приведены на рис. 7 [5]. Дополнительного увеличения производительности можно достигнуть путем полного либо частичного совмещения циклов грубого/точного позиционирования изделия 3D MID и захвата/формирования образа СТЗ/перемещения/коррекции положения/установки компонента.

Предлагаемая схема требует разработки дополнительного управляющего программного обеспечения, получающего данные от СТЗ сборочного оборудования, обеспечивающего двунаправленный обмен данными с устройствами управления робота, гексапода и сборочной головки, и на основании полученных данных вычисляющего потребные линейные/угловые перемещения для перечисленных исполнительных механизмов.

Заключение и выводы

Предложена концепция построения сборочного оборудования, предназначенного для пространственной установки компонентов на изделия 3D MID с разделением грубых и точных перемещений при позиционировании собираемого изделия. В качестве устройства грубого перемещения использован многоколенный робот с шестью степенями свободы, устройства точного перемещения — гексапод. Данная концепция позволит обеспечить требуемую точность

и повторяемость операции установки компонентов, одновременно снижая требования к характеристикам исполнительных механизмов позиционирования, что даст возможность применять на этапе грубого позиционирования менее дорогостоящее оборудование. Положения данной концепции требуют экспериментальной проработки на опытных образцах, что является планируемым продолжением работы.

Список литературы

1. Франке Й. 3D MID. Материалы, технологии, свойства: пер. с англ. яз. Под ред. И.А. Волкова. — СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. 336 с.: цв. ил.
2. Камышина Э.Н., Курносенко А.Е., Иванов Ю.В. Системный анализ 3D-MID технологий // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 11 (23). с. 15. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1047.html>
3. Kurnosenko A.E., Arabov D.I. Optimization of Electronic Components Mounting Sequence for 3D MID Assembly Process // KnE Engineering. Conference “Breakthrough directions of scientific research at MEPHI: Development prospects within the Strategic Academic Units” proceedings, MEFHI. 2017. pp. 311-321. URL: <https://knepublishing.com>
4. Bandowski A. XENON Automatisierungstechnik GmbH. Fully automated precision in the 3rd dimension // MID-Forum, SMT Hybrid Packaging 2014. URL: <https://3d-mid.de>
5. Goth C., Schatz G. HARTING Mitronics. Assembly technologies and connection methods for 3D-MID. <http://www.harting-mitronics.ch>

Курносенко Алексей Евгеньевич — доцент кафедры ИУ-4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (Национальный технический университет). Контактный телефон 8(499)263-65-53 E-Mail: akurn@bmstu.ru

Поступила в редакцию 15.05.2019

Принята к публикации 3.06.2019

«Феникс Контакт РУС» и «Сколково» заключили партнерское соглашение в области энергоэффективности



<http://www.phoenixcontact.ru>

«Феникс Контакт РУС» и «Сколково» объединили усилия для совместной научно-исследовательской и инновационной деятельности. В рамках партнерского соглашения в Инновационном центре «Сколково» будет построено офисно-административное здание и складской комплекс компании «Феникс Контакт» в России, а также Региональный центр разработок и отраслевых компетенций для всего Евразийского региона.

ООО «Феникс Контакт РУС» является одним из ключевых партнеров Фонда «Сколково» в области энергоэффективности. С 2018 г. «Феникс Контакт» совместно с университетом «Сколтех», созданным при участии Массачусетского технологического института, успешно запустили в «Сколково» обучающие курсы по наиболее востребованным продуктам и тематикам. Также предприятие принимает активное участие в международных выставках и конференциях, которые проходят в крупнейшем в Европе Технопарке «Сколково».

Елена Семёнова, генеральный директор ООО «Феникс Контакт РУС»: «Инновационный центр «Сколково» — это уникальная платформа для обмена инновациями — совмещение науки, исследований, бизнеса, — которая открывает для нас новые возможности для совместной разработки и коммерциализации новых продуктов и их выхода на рынки. Партнерство с Фондом «Сколково» послужит фундаментом для роста и развития нашего высокотехнологичного бизнеса и в будущем станет основой для новых перспектив экономической эффективности».

Алексей Беляков, Вице-президент, исполнительный директор Кластера передовых производственных технологий Фонда «Сколково»: «Мы приветствуем нового партнера кластера. «Феникс Контакт» является одним из мировых лидеров в сфере промышленной автоматизации. Размещение в «Сколково» офиса крупной немецкой компании позволит нашим резидентам успешно внедрять и испытывать свои решения, используя инфраструктуру и решения «Феникс Контакт», а также получить доступ к передовым практикам».

