

# Цифровая трансформация сборочно-монтажного производства, или как достичь KPI по цифровизации

Д. Чернов<sup>1</sup>

УДК 658.5:621.3 | ВАК 05.13.06

Современный этап развития промышленности в России ознаменован новыми вызовами для производственных предприятий. Освоение новой высокотехнологичной продукции, рост сложности изделий и их серийности, повышение доли гражданской продукции в последние годы дополнились санкционным давлением, импортозамещением и увеличением доли отечественной продукции в закупках государственных заказчиков.

**Н**еобходимость соответствовать указанным вызовам заставляет предприятия осваивать передовые производственные технологии. В свою очередь федеральные власти рассматривают эту проблематику как приоритетное направление развития российской промышленности. Среди инструментов государственной поддержки передовых производственных технологий стоит выделить Национальную технологическую инициативу, Стратегию научно-технологического развития Российской Федерации и национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации». Эти программы реализуются в соответствии с принципами четвертой промышленной революции, являясь российскими аналогами таких национальных инициатив, как североамериканская Advanced Manufacturing Partnership, китайская Made in China 2025, японская Society 5.0 и немецкая Industrie 4.0.

Вектор развития, задаваемый Правительством России, направлен на повышение доли российской промышленной продукции на мировом рынке. В этих условиях даже самые современные станки и оборудование не могут обеспечить конкурентоспособный уровень эффективности производства. Предприятиям нужен комплексный подход, включающий развитие по таким направлениям, как производственная логистика и управление товарно-материальными ценностями, повышение квалификации персонала, повышение эффективности работы оборудования, повышение производительности ручного труда и управление качеством.

В ответ на указанные вызовы и ограничения, а также запросы предприятий отрасли командой «Остек-СМТ» разработана концепция цифрового сборочно-монтажного производства, учитывающая как новые

технологические требования и тенденции конструирования передовой техники, так и базовые принципы четвертой промышленной революции, позволяющие повысить эффективность производства, оптимизировать качество выпускаемой высокотехнологичной продукции и снизить ее себестоимость.

Цифровой подход к организации сборочно-монтажного производства охватывает все этапы производства продукции. Как театр начинается с вешалки, производство начинается со склада, автоматизация которого дает резкий прирост производительности и существенное сокращение площадей складского хранения. Склад неразрывно связан с оборудованием технологических линий, что обеспечивает прослеживаемость от готовой платы к поставщику комплектующих. Непрерывный автоматический мониторинг оборудования дает возможность в режиме реального времени отслеживать все технические и технологические параметры процесса производства, тем самым положительно влияя на эффективность использования оборудования и качество выпускаемой продукции.

Подавляющее большинство радиоэлектронных изделий, собираемых на российских предприятиях, имеет в своей технологической карте несколько ручных операций: монтаж, сборку, настройку, упаковку. Автоматизировать все операции порой экономически нецелесообразно. При этом знать, на каком этапе производства находится то или иное изделие, когда будет готов конкретный заказ, успевает ли производство в согласованный договором срок, в современных конкурентных условиях становится жизненно необходимо. Принцип ручного управления давно признан мало эффективным и в таких ситуациях с объемом информации не справляется.

То же самое относится и к системе контроля качества продукции. Положение дел в этой области выглядит

<sup>1</sup> ООО «Остек-СМТ», заместитель генерального директора, Chernov.D@ostec-group.ru.

перспективнее, на производствах активно стали использовать автоматические оптические инспекции. При этом степень автономности таких систем достаточно высока, что ограничивает производство в скорости принятия решений, а также повышает риски, связанные с человеческим фактором. Люди требуют особого внимания руководителя. Понятие высокотехнологичной продукции неразрывно связано с квалификацией персонала, а она в свою очередь требует постоянного повышения. В этом контексте особый приоритет имеет система управления знаниями персонала. Зачастую потенциал имеющегося на предприятии оборудования существенно выше уровня используемого функционала. Поэтому выстроенная система обучения персонала гарантирует максимально эффективное использование имеющегося оборудования и высокое качество продукции.

В последние годы многие машиностроительные и радиоэлектронные предприятия активно оснащались и перевооружались, этому способствовали пресловутые санкции, государственная политика, как следствие, рост числа заказов и прибыли самих предприятий. Свою лепту внесло и продолжает вносить импортозамещение – доля некоторых закупаемых отечественных продуктов в ближайшее время вырастет до 90%. Казалось бы, всё есть для нормальной работы: заводы оснащены, знаниями управляем, оборудование работает эффективно. Но остановившаяся из-за поломки печь оплавления поставит под угрозу выполнение всего заказа. А если сервисные инженеры у поставщика расписаны на месяц вперед, то риски возрастают многократно. То же самое относится и к расходным материалам, которые не заказаны вовремя. Все это можно и нужно отдавать под контроль цифровой системе управления. Она не умеет забывать. Посчитав фактические часы работы оборудования, она заранее оповестит руководителя о необходимости технического обслуживания, сообщит об этом поставщику, который в свою очередь заранее подготовит необходимые расходные материалы и запланирует выезд сервисного инженера.

Цифровая трансформация производств на сегодняшний день перестала быть модным трендом. Теперь это острая необходимость, предъявляющая жесткие требования к процессам сбора, хранения и использования информации. Одним из таких требований является наличие машиночитаемой маркировки на каждом элементе цифрового сборочно-монтажного производства. Маркировке подлежат комплектующие, печатные платы, оснастка, инструмент, сами станки. Любой элемент, подлежащий учету и контролю, должен иметь собственный уникальный штрихкод или RFID-метку. Оцифровывать необходимо даже персонал, их идентификация в системе должна быть однозначной и быстрой, чтобы не осложнять производственную деятельность.

Лидерами в маркировке на нынешних производствах, безусловно, являются входящие комплектующие. Их производители много лет снабжают автомобильную отрасль, которая является передовой в цифровизации и прослеживаемости. В случае выявления брака какого-либо элемента автомобиля его производитель всегда точно знает, в каких еще автомобилях установлен такой же элемент, что позволяет адресно отозвать с рынка эти машины. Такая практика не менее актуальна и для радиоэлектронных предприятий. Предиктивный отзыв некачественных изделий до их выхода из строя в процессе эксплуатации уменьшает не только финансовые, но и репутационные риски предприятия.

Такая прослеживаемость на предприятии всегда начинается с приемки комплектующих. Когда мы говорим о средне- и крупносерийных производствах, то к требованию по прослеживаемости добавляется еще и скорость работы склада. Чем меньше производство ждет оприходования, тем раньше оно выпустит изделие. Главным помощником складского персонала в этом случае выступает автоматизированная станция регистрации компонентов Storage Solution ISM Material Incoming Station (рис. 1). Станция обеспечивает скоростное оприходование компонентов за счет машинного распознавания заводской маркировки на катушке с компонентами. Как правило, вся заводская маркировка, включая наименование производителя и компонента, номер партии, количество компонентов в катушке, содержится на таре



**Рис. 1.** Автоматизированная станция регистрации компонентов Storage Solution ISM Material Incoming Station

в виде штрихкодов. ISM Material Incoming Station с помощью камеры и встроенного ПО распознает эту маркировку и за доли секунды заносит ее в базу. После этого катушке присваивается внутренний штрихкод, по которому далее и осуществляется весь внутренний учет на производстве. Если одновременно приходится несколько одинаковых катушек, то сканировать каждую нет необходимости, достаточно в ПО станции ввести количество одинаковых катушек и наклеить на каждую распечатанный штрихкод. В среднем оприходование одной катушки с полным сканированием занимает 25 с, за минуту можно детально внести в систему 8 одинаковых катушек, за две – 20 и т. д.

Автоматизированная станция регистрации компонентов работает в едином информационном контуре с интеллектуальными системами хранения Storage Solution ISM (рис. 2) и ERP-системой предприятия, например 1С. Это означает, что как только катушка оприходована на ISM Material Incoming Station, она сразу попадает в учет ERP-системы и может быть выписана в производство. Преимущества работы с ISM Material Incoming Station очевидны. Однако экономическая эффективность такой работы существенно снижается в случае мелкосерийного и опытного производства. В этом случае складской персонал может использовать аналогичный функционал роботизированных складов Storage Solution ISM. Оприходование производится аналогичным образом, но процесс чуть менее удобен и идет несколько дольше, что вполне допустимо при небольших объемах производства.

Дополнительно стоит отметить возможности интеллектуальных складов автоматически организовывать внутреннее хранение. Система управления

самостоятельно определяет наилучшее место того или иного поддона. Персонал загружает и выгружает единицы хранения через соответствующее окно. Все внутренние перемещения происходят без участия человека. Интересной особенностью системы управления является возможность управлять дополнительными складскими площадями, например шкафами ячеистого хранения ISM. В общем и целом это ожидаемо. Но система управления дополнительно может управлять площадями существующих стеллажей. Они делятся на ячейки, маркируются, заносятся в систему управления складом и образуют единую площадь хранения с роботизированными и ячеистыми складами.

Организованное таким образом автоматизированное хранение компонентов позволяет производству оперативно получать информацию о текущих остатках компонентов, хранить их в соответствии с условиями, рекомендуемыми производителем, в том числе соблюдать требования к режимам температуры и влажности, отслеживать достаточность комплектации для выполнения заказов, а также при необходимости автоматически формировать ведомости для закупки или доставки комплектующих с центрального склада.

Весь учет комплектующих в автоматизированных системах хранения интегрирован с ERP-системой предприятия. Также интеллектуальные склады связаны с автоматами установки компонентов. Эта связь выполняет три основные функции. Во-первых, в режиме реального времени происходит учет расхода компонентов в каждой катушке на установщике. Если частично использованная катушка возвращается на хранение, то склад уже имеет информацию об остатке в этой катушке. Во-вторых, когда в катушке заканчиваются компоненты, установщик может заблаговременно подать складу команду на выгрузку новой катушки.

В этом случае оператор заранее заряжает питатель, полностью исключая простой установщиков из-за доставки компонентов к установщику и зарядки питателей. В-третьих, интеграция интеллектуальных систем хранения и установщиков формирует привязку установленных компонентов к плате, обеспечивая их прослеживаемость. Это решение в концепции цифрового сборочно-монтажного производства получило название «Склад 4.0».

Аналогичным образом в решении «Склад 4.0» организован процесс хранения и учета материалов, используемых на производстве. Для этого применяется система хранения



Рис. 2. Интеллектуальные системы хранения Storage Solution ISM



**Рис. 3.** Система хранения материалов EKRA S10 select

материалов EKRA S10 select (рис. 3), обеспечивающая необходимую температуру и влажность хранения, учетную выдачу материалов авторизованным пользователям, соблюдение принципа FIFO (First Input First Output) при выдаче материалов. Интеграция с принтерами трафаретной печати позволяет исключить простои станков из-за отсутствия паяльной пасты или ее несвоевременной загрузки в принтеры.

Современное технологическое оборудование обеспечивает широкие возможности межмашинного (Machine-to-Machine, M2M) взаимодействия, что позволяет минимизировать простои линий из-за возникающих дефектов и человеческого фактора. Так, обратная связь между системой контроля нанесения паяльной пасты и трафаретным принтером обеспечивает корректировку процесса печати без участия человека. При превышении заданного порога отклонения SPI направляет команду трафаретному принтеру, который автоматически производит соответствующую корректировку. Процедура может повторяться многократно, тем самым исключая возможный брак при последующей установке компонентов и оплавлении. В процессе такого взаимодействия оборудования оператор может получать информационные сообщения о происходящих корректировках на свой смартфон или умные часы. Аналогичным образом на мобильное устройство приходят тревоги, информация о дефектах, о превышении заданного порога на техотход и т. д.

Комплекс технологического оборудования и программного обеспечения, в реальном времени осуществляющего мониторинг состояния линий, учет выпущенной продукции и анализ качества изделий, получил название «Умная линия». Функционал комплекса дает возможность оценить эффективность использования технологического оборудования и рассчитать показатель общей эффективности оборудования OEE (Overall Equipment Effectiveness). Этот показатель определяет процент продуктивного времени производства. OEE 100% означает, что производство выпускает 100% качественной продукции без остановок и на максимальной скорости. Очевидно, что идеальной ситуации достичь не удастся, всегда будут необходимы остановки на техническое обслуживание, замену питателей, анализ выявленных дефектов, даже если они окажутся ложными. Лучшие мировые практики достигают значения OEE 85%, многие предприятия в Европе и Азии работают на уровне OEE 60%. Эффективность российских предприятий редко превышает 25%. Перечень возможных потерь достаточно емкий, и без их автоматической фиксации обойтись затруднительно. В этом случае на помощь приходит функционал программного обеспечения «Умная линия», созданного командой разработки Остек-СМТ. Система фиксирует простои оборудования, ведет учет изделий на каждом станке и на выходе с линии, контролирует и анализирует качество выпускаемой продукции. Вся информация, включая показатели доступности, производительности и качества, а также OEE, выводится на диспетчерские экраны, которые могут быть установлены как на около линий для оперативного реагирования персонала, так и в производственном ситуационном центре (рис. 4).

Все диспетчерские экраны отражают информацию в режиме реального времени. Исторические данные



**Рис. 4.** Производственный ситуационный центр



выгружаются в отчеты о количестве выпущенной продукции, производственной эффективности, качестве. Как правило, отчеты настраиваются под нужды и по форме конкретного производства, поэтому вариативность отчетов достаточно большая.

Одним из самых интересных и важных отчетов в «Умной линии» является цифровой паспорт произведенного изделия. Он формируется автоматически по ходу движения платы через технологическое оборудование. Таким образом, на выходе мы имеем полную историю производства каждой платы, операции в паспорте имеют дату и время начала и окончания, наименование станка, на котором операция выполнена. При необходимости в истории производства можно хранить технические и технологические параметры операции, информацию о дефектах и т. д. Как упоминалось ранее, связка «Умной линии» с решением «Склад 4.0» обеспечивает прослеживаемость компонентов, установленных на конкретной плате.

Действительность российской радиоэлектронной промышленности такова, что технологичность производимых изделий далека от совершенства. А это означает, что не все платы могут быть полностью собраны с помощью автоматического оборудования. Ручные операции по-прежнему занимают большую часть технологической карты изделия. Вопрос управления и контроля участков ручного монтажа заслуживает отдельного разговора. Но задача открывать этот информационный черный ящик становится все более и более актуальной для



Рис. 5. Умное рабочее место

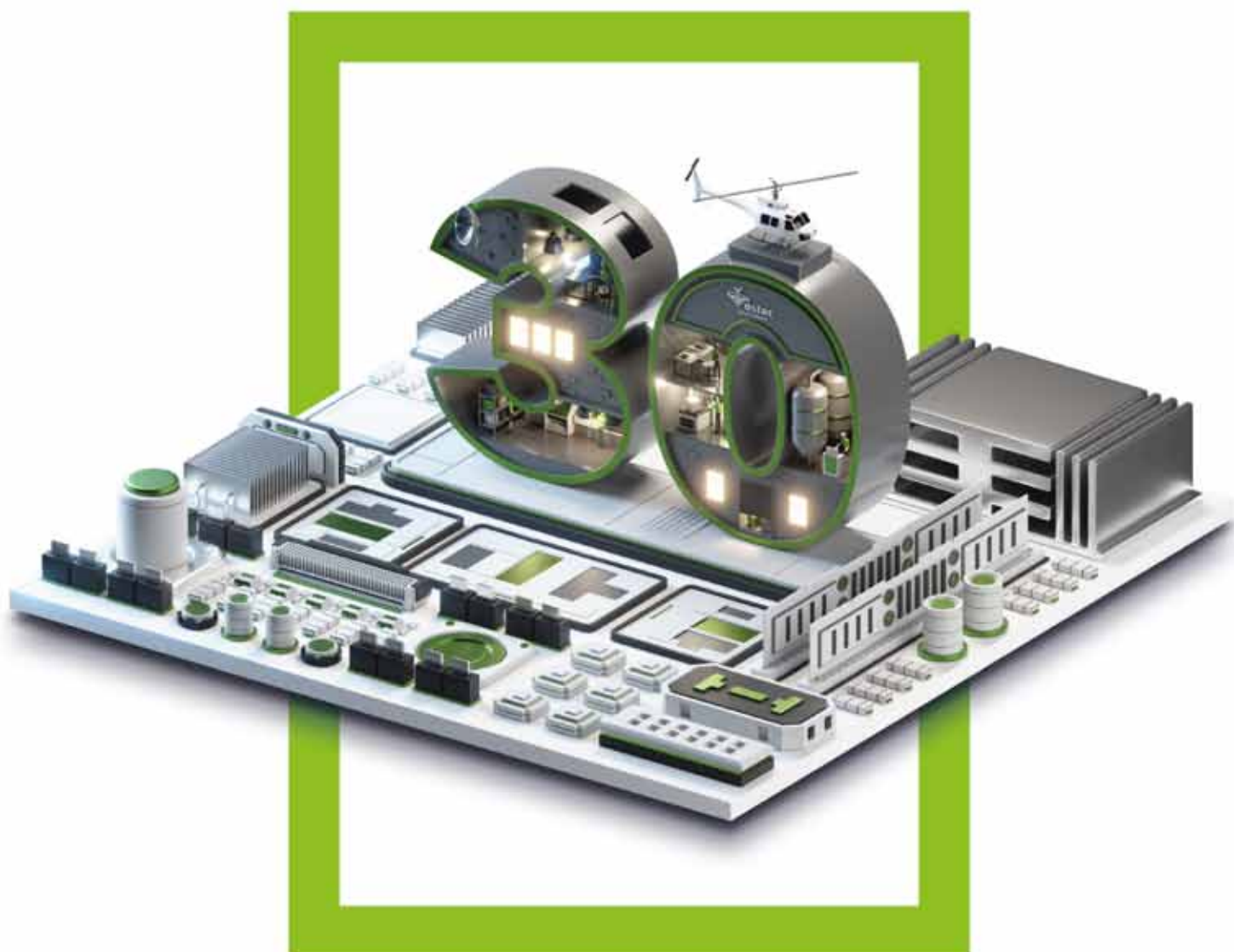
российских предприятий. В концепции цифрового сборочно-монтажного производства на этом уровне работает «Умное рабочее место®» – уникальное решение, разработанное командой Остек-СМТ с целью существенного повышения производительности ручного труда, организации учета и прослеживаемости изделий (рис. 5). Результат достигается путем автоматизации и цифровизации рабочего процесса в рамках реализации концепции четвертой промышленной революции.

Таким образом, формирование Цифрового паспорта изделия может быть логично продолжено и на рабочих местах. То же касается и учета выпущенных изделий, он ведется автоматически и в режиме реального времени, а значит начальнику цеха нет необходимости собирать совещания, чтобы понять статус выполнения плана, вся информация постоянно присутствует и автоматически обновляется у него на мониторе.

«Умное рабочее место» занимает свою нишу в производственных информационных системах предприятия, обеспечивая сбор данных с участков ручного труда, их обработку, анализ и предоставление информации наверх. Интеграция «Умного рабочего места» с MES, PDM и PLM системами обеспечивает повышение производительности работы смежных служб и отделов, исключая дублирующий ввод данных в различные информационные системы. Так, технолог может работать в своей привычной программе, а актуальный чертеж или операционная карта будут попадать на экран монтажника автоматически в момент начала выполнения операции. При этом реализуется принцип безбумажного производства, монтажные столы свободны от бумаги, а любое изменение в документации сразу отражается на экране у исполнителя. Нет печати и копирования чертежей, нет раздачи на места новых и сбора старых документов, нет брака из-за проблемы наличия на местах актуальной документации. Сменные задания попадают из MES в «Умное рабочее место» ежедневно, в обратную сторону направляется информация о выполненном факте. Очевидно, что обеспечивается полная персонализация и прослеживаемость процесса производства продукции. Также реализованы элементы контроля технологической дисциплины – все операции выполняются последовательно, а на ручных операциях пайки ведется контроль температуры на жале паяльника, что позволяет исключить брак от перегрева плат.

Цифровая трансформация сборочно-монтажных производств во многом нацелена на повышение производительности участков автоматического и ручного монтажа, ведение автоматизированного учета выпущенной продукции, организацию прослеживаемости и паспортизации процесса производства. При этом вся выпускаемая продукция должна иметь стабильно высокое качество, в противном случае она заказчику просто не нужна. Поэтому выстраивание системы управления качеством – это особенная

# Тридцать лет содействуем развитию ● ● ●



Отлаживая производство новых технологий, запуская оборудование заказчиков, разрабатывая новые программные продукты - мы содействуем развитию. Развитию своих сотрудников, бизнеса клиентов, электроники и других отраслей. Победы Остека за прошедшие 30 лет - это результат совместных усилий большого числа людей. Мы благодарны всем энтузиастам своего дела, увлеченным профессионалам, кто помогал и поддерживал. Мы вместе создаем будущее, которым можно гордиться!



**Рис. 6.** Система автоматической 3D-рентгенографии и оптической инспекции Viscom X7056-II

задача как для новых, так и для существующих производств. Контроль на современном производстве подлежат все стадии производства: склад, поверхностный и выводной монтаж, ручные операции. На текущий момент на рынке представлено достаточно много различных систем автоматического и автоматизированного контроля, которые закрывают весь спектр задач радиоэлектронных производств. Уникальным решением в этой области являются комбинированная система Viscom X7056-II (рис. 6), сочетающая в себе автоматическую оптическую 3D-инспекцию с высоким разрешением и автоматическую рентгенографию с опцией Planar CT – косоугольная компьютерная томография, которая позволяет получать послойные срезы и проводить объемный анализ. Такая система закрывает задачи инспекции паяных соединений, выводов, скрытых от оптической инспекции, например штыревых компонентов, BGA, QFN, FlipChip, PoP, SiP и т. д.

Открытым в системе управления качеством остается вопрос полноценного использования полученного массива данных для принятия эффективных управленческих решений. Концепция цифрового сборочно-монтажного производства подразумевает создание единого информационного контура системы управления качеством, в котором данные обо всех контрольных операциях каждого изделия доступны в одном месте в привязке к истории производства. В этом случае любой обнаруженный дефект может быть отслежен, начиная с условий и сроков хранения компонентов в интеллектуальных системах хранения и далее по всей производственной цепочке – инспекция паяльной пасты, контроль после оплавления, оценка результатов выводного монтажа, ручные операции.

Доступность информации повышает скорость реакции и снижает влияние человеческого фактора на качество

готовой продукции. Однако квалификация производственного персонала по-прежнему оказывает существенное воздействие на результат производства. Несмотря на все существующие возможности автоматизации производства, управляет им всегда человек. Развитие техники, усовершенствование технологий, новое управляющее программное обеспечение требуют постоянного обновления знаний персонала. Важно отметить именно постоянность этого процесса, знания устаревают и обновляются, выпадение из процесса чревато потерей конкурентоспособности предприятия, а следовательно, и прибыли. Система управления знаниями занимает особое место в контуре цифрового сборочно-монтажного производства. За год пандемии COVID-19 этот элемент претерпел существенные преобразования. Очный формат обучения, который традиционно практиковался в Остек-СМТ, в один момент стал невозможен по причине полного локдауна в первой половине 2020 года. В это время активный толчок в развитии получили системы онлайн-коммуникаций: Skype, Team, Zoom, а в Остек-СМТ начала свою работу онлайн-академия. Обучающий портал организован в видеоформате. В процессе прохождения каждого онлайн-курса сотрудники предприятий просматривают обучающие видеоролики по теме курса, а затем проходят тест, результат которого доступен соответствующему руководителю подразделения предприятия. Разработка и запись новых курсов ведется технологами и сервисными инженерами Остек-СМТ, которые в свою очередь постоянно проходят обучение и стажировки на производственных площадках предприятий – изготовителей технологического оборудования.

Онлайн-формат обучения не отменяет очных практических занятий, которые происходят непосредственно на производстве в момент запуска оборудования. Как правило, сервисные инженеры Остек-СМТ ведут отладку технологии на новом оборудовании совместно с персоналом предприятия, который затем будет работать на этом оборудовании. По окончании запуска и отладки технологии производственный персонал имеет возможность в постоянном режиме общаться с сервисными инженерами, которые продолжают оказывать гарантийную и сервисную поддержку производства.

Оборудование является дорогостоящей инвестицией, поэтому процесс повышения его производительности и эффективности использования всегда связан с контролем и минимизацией простоев. В фокусе внимания здесь оказываются как плановые, так и неплановые простои. Ошибки, аварии, затраты времени на техническое обслуживание могут быть минимизированы при использовании цифровых методов контроля. Так, например, «Умная линия» может вести подсчет часов работы оборудования и помочь производству заранее спланировать техническое обслуживание в перерыве между запусками. Материалы будут заказаны заранее, а выполненное вовремя





**Рис. 7.** Идентификатор оборудования для приложения Ostec Service

техническое обслуживание минимизирует риски простоев оборудования из-за неполадок и продлит срок службы оборудования.

Цифровой формат также охватывает взаимодействие заказчиков с сервисной службой Остек-СМТ. Заявки в нее направляются, а затем отслеживаются через мобильное приложение Ostec Service (рис. 7), доступное в App Store

и Google Play. Приложение устанавливается на мобильное устройство пользователя и подключается к личному кабинету заказчика. Каждый авторизованный сотрудник производства имеет возможность контролировать ход размещенной заявки на обслуживание или заказ расходных материалов. Поскольку Остек-СМТ является единственным официальным дистрибьютором и авторизованным сервисным центром таких производителей, как Hanwha, Fuji, Ersa, Essemtec, Viscom, Ekra, PBT и т. д., в приложении Ostec Service могут размещаться заявки и на гарантийное обслуживание оборудования.

Современный рынок диктует жесткие условия конкурентоспособности, которым вынуждены соответствовать российские радиоэлектронные и машиностроительные предприятия. Эффективность производства является одним из таких требований, в первую очередь влияющих на себестоимость выпускаемой высокотехнологичной продукции. В настоящее время многие руководители имеют в перечне своих KPI задачи по цифровизации производств. В таких условиях максимальный результат даст только комплексный цифровой подход к организации сборочно-монтажного производства. Уникальный комплекс решений Остек-СМТ полностью адаптирован под отечественные условия и позволяет обеспечить эффективность мирового уровня.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 636 руб.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО БУДУЩЕГО. НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

Под ред. Малинецкого Г. Г., Иванова В. В., Верника П. А.

*Издание осуществлено при поддержке АНО «Институт стратегий развития»*

С междисциплинарных позиций рассматриваются вопросы формирования цифрового будущего в различных сферах – от философии, культуры, образования и конкретных технических проектов, возможность воплощения которых дают компьютерные технологии, до новых математических моделей и прогнозов.

Выделен ряд ключевых направлений, развитие которых может существенно повысить социально-экономическую эффективность программы цифровой экономики.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2020. – 356 с.,  
ISBN 978-5-94836-575-6



ИНСТИТУТ  
СТРАТЕГИЙ  
РАЗВИТИЯ

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; ✉ [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)