

ОПТИМИЗАЦИЯ

Цифровая система управления приборным производством



Текст: Дмитрий Ублинский

Многочисленные решения по комплексной автоматизации производств, представленные на рынке, ориентированы, в основном, на механически обрабатывающие и механосборочные производства. Так сложилось исторически — эти отрасли существуют уже многие десятки (а точнее — более сотни!) лет.

Может показаться, что все производства построены по похожим принципам, оперируют одинаковыми понятиями, и задачи по их автоматизации могут решаться едиными методами. И, значит, для приборного производства можно применить проверенные, уже хорошо зарекомендовавшие себя решения, используемые многие годы в машиностроении. Однако это не так!

Приборное производство обладает особенностями, которые принципиально отличают его от механического машиностроения. Любой специалист в области автоматизации, который сталкивался с внедрением систем на предприятиях электронной и радиоэлектронной промышленности, может подтвердить правоту этих слов.

Важнейшее различие этих двух отраслей производства — структура стоимости конечного продукта. Если в машиностроении стоимость во многом определяется трудозатратами по обработке исходных материалов (относительно недорогое сырьё), то в современном электронном приборостроении превалирует стоимость

исходных компонентов, комплектующих и материалов. Это приводит к смещению акцентов в оптимизации (в первом случае — оптимизация труда, во втором — оптимизация учета материальных запасов). И это только один пример.

Попробуем разобраться, какой круг задач должна решать цифровая система управления современным приборным производством (далее ЦСУ). А также, зачем и кому это нужно.

Зачем нужна ЦСУ

Сегодняшнее время — время информационных технологий, и объем информации, который нас окружает, стремительно растет с каждым днем. Производство — это сфера, в которой информационные технологии традиционно опережали «бытовые» и по сложности структуры, и по использованию технических решений. Почему? Объем и скорость изменения информации в производственном процессе настолько велики, что их невозможно эффективно и своевременно обрабатывать «вручную». А обрабатывать и сохранять эту информацию крайне важно, любое управленческое решение основывается на информации о ходе процесса, которым управляют.

Основные задачи:

- увеличение объемов производства;
- расширение номенклатуры;
- обеспечение конкурентоспособности продукции;
- выход на новые рынки сбыта;
- обеспечение высоких темпов развития;
- получение выгодных государственных контрактов и др.

**ЦЕЛЬ**

1

Взаимосвязанные производственные и коммерческие задачи для достижения конечной цели

Главное назначение ЦСУ — обеспечение достижения основной цели производства. Слово «цифровая» появилось в названии системы для того, чтобы подчеркнуть использование во всех процессах управления электронных вычислительных средств, которые сегодня в подавляющем большинстве основаны на цифровых технологиях.

Конечной целью любого производителя является получение максимальной прибыли. Взаимосвязанные производственные и коммерческие задачи для достижения этой цели представлены на рис 1 — без их комплексного решения достижение основной цели невозможно. На современных отечественных производствах управление всем этим комплексом осуществляется механизмами (и средствами), заложенными еще во времена СССР. И если внедряется автоматизация, то она затрагивает «старые» механизмы, а для эффективного решения современных задач необходимо изменение самих этих механизмов.

При решении поставленных задач приходится сталкиваться с целым рядом негативных факторов, приведенных на рис 2. Обычно все они сопутствуют старым механизмам управления. Попробуем проанализировать их причины и наметить способы борьбы с ними, которые можно разложить по следующим направлениям.

Факторы, тормозящие развитие современного производства:

- минимальный уровень автоматизации документооборота;
- наличие разрозненных автоматизированных систем, не имеющих связи друг с другом;
- долгое прохождение управленческих документов по инстанциям для согласования и утверждения;
- длительные сроки освоения новой продукции;
- медленная оборачиваемость средств из-за неэффективного управления ресурсами;
- проблемы с поставками из-за отсутствия обратной связи по качеству;
- затоваривание промежуточных складов из-за неэффективного управления запасами;
- низкий контроль технологической дисциплины;
- несовершенная система контроля исполнителей;
- отсутствие подробной и объективной информации об истории изготовления каждого изделия и происхождении его составных частей;
- невозможность гарантировать потребителю качественные показатели выпускаемой продукции.

2

Факторы, тормозящие развитие современного производства

СОКРАЩЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Высокие материальные затраты — это не результат высокого потребления ресурсов, а, зачастую, результат неэффективной оценки их потребностей. Если не иметь достоверной и актуальной информации о складских запасах, придется закупать гораздо больше ТМЦ, чтобы не допустить остановки производства. Если постоянно не фиксировать данные о качестве закупаемых товаров, трудно сравнить процент возможного брака при поставке тем или иным поставщиком. Здесь же может лежать и причина поставки контрафакта. При отсутствии быстрого получения данных о конструкторских изменениях, нельзя своевременно обеспечить изменение номенклатуры поставок. И так далее... Все перечисленное — повод задуматься об эффективности применяемого складского учета и снабжения.

Снижению материальных затрат способствует оптимизация планирования выпуска продукции и, как логичное продолжение, планирование закупок и сбыта. Так как эти задачи имеют многочисленные связи друг с другом, процесс их эффективного взаимодействия требует привлечения больших ресурсов. В случае «ручного» управления это будут человеческие ресурсы, применение которых само по себе приведет к росту за-

трат. Единственно возможное эффективное решение — автоматизация планирования. И здесь появляется одно маленькое «но»: для автоматического расчета планов должны быть применены алгоритмы и методы, правильно отражающие реальную специфику данного производства и его номенклатуры. Это требует специальных решений по адаптивному программному обеспечению.

Еще один важный элемент — снижение затрат непосредственно в производстве. В него входят: снижение операционной трудоемкости (оптимизация технологических процессов, эффективное применение современного оборудования и др.), снижение потерь от операционного брака (как можно более раннее выявление и устранение несоответствий), борьба с незавершенным производством, повышение надежности конечных изделий (что снижает затраты на гарантийный ремонт).

СОБЛЮДЕНИЕ ПЛАНОВЫХ СРОКОВ

Выпуск продукции вовремя не только позволяет корректно выполнить договорные обязательства перед потребителями, но и обеспечивает запланированные загрузки производства и потребление ресурсов (что может оказаться даже важнее!). Для соблюдения плановых сроков важно обеспечить взаимодействие всех служб, участвующих в обеспечении производственного процесса. Это поставки (своевременные и полные по номенклатуре), их рациональное распределение во времени, полная и своевременная технологическая подготовка производства (она также является объектом планирования), учет графиков планово-предупредительных ремонтов на оборудовании, строгая регламентация процедур утверждения и согласования документов.

Немаловажное значение имеет и правильная оценка временных затрат при разработке планов.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Качество продукции начинается с качества конструкторской и технологической документации на нее. Это: технологичность и тестопригодность изделий, применение автоматизированных систем проектирования (с электронной документацией на выходе), а также решение вопросов унификации и постоянной верификации номенклатуры и электронных библиотек компонентов.

Второе слагаемое — качество исходных комплектующих, компонентов и материалов. Это обеспечивается квалификацией поставщиков, составлением ограничительных перечней, входным контролем и соблюдением условий и сроков хранения. Последние факторы накладывают специфические требования на автоматизацию складского учета.

Третье слагаемое — обеспечение качества в производстве. Здесь необходимо провести разделение на технологические и организационные меры. Первые включают меры по снижению влияния человеческого фактора (автоматизация хранения ТМЦ, подготовка производства и комплектации, уменьшение доли ручного труда при выполнении технологических операций, объективный контроль соответствия продукции). Вторые — контроль соответствия технологическим требованиям, увеличение ответственности персонала и повышение его квалификации.

Все вышеизложенные принципы подробно изложены в стандартах ISO (ГОСТ Р ИСО) и, безусловно, имеют отражение в функционале ЦСУ.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ПЕРЕД ПОТРЕБИТЕЛЕМ

Этому аспекту на фоне остальных производственных проблем зачастую уделяется внимание по остаточному принципу, что оказывается серьезным упущением в обеспечении конечной цели. Почему? Вспомним один из основных принципов системы менеджмента качества — удовлетворение потребностей потребителя, и тогда будет очень легко определить основные составляющие данного направления:

- обеспечение уровня качества, определенного контрактом;
- своевременный отзыв продукции при обнаружении массового дефекта;
- предоставление документальных подтверждений применения требуемых технологий и материалов;
- возможность найти виновника несоответствия при производственной кооперации;
- индивидуальная паспортизация изделий;
- обеспечение сохранности данных о производстве в течение всего периода эксплуатации.

Выполнение этих требований под силу только при наличии автоматизированной системы, широко интегрированной по всему производственному процессу.

Основное назначение описываемой в данной статье ЦСУ — это обеспечение решения основных производственных задач путем их разделения на более простые и логически самостоятельные компоненты.

Структура и особенности ЦСУ

Как уже говорилось выше, главная особенность данной системы — учет специфики производств в электронной, радиоэлектронной и полупроводниковой промышленности. Эта специфика включает в себя множество как принципиальных, так и, на первый взгляд, незаметных решений. Среди них: специальные механизмы планирования для электронных сборочных производств,

Основные производственные задачи, решаемые ЦСУ:

- хранение электронных конструкторских и технологических документов;
- ведение номенклатуры ТМЦ и поставщиков комплектующих и материалов;
- ведение складского учета и учета в производстве;
- маркировка и идентификация объектов учета (ТМЦ);
- входной контроль;
- проведение подготовки выпуска партий изделий;
- пооперационное прослеживание выпуска изделия с фиксацией технологических параметров;
- контроль качества в производстве;
- выдача информации о состоянии и местонахождении объекта в любой момент времени;
- формирование электронного технологического паспорта изделия;
- идентификация пользователей и разделение их прав доступа;
- мониторинг автоматизируемых процессов с выдачей предупреждающих сообщений в реальном времени.

планирование закупок, учитывающее характер и назначение закупаемых компонентов и материалов. Система складского учета, позволяя работать с любыми ТМЦ, тем не менее адаптирована к особенностям приборного производства. Имеется гибкий механизм атрибутов, которые можно добавлять к стандартным свойствам объектов учета и определять их дальнейшее использование в производстве. Обеспечивается механизм идентификации и прослеживаемости по всей цепочке перемещения ТМЦ и при выполнении технологических операций. Программное обеспечение ЦСУ имеет возможность информационного взаимодействия с автоматизированным технологическим оборудованием, которое предназначено для использования в приборном производстве (системы хранения, установщики, автоматы для нанесения специальных материалов, тестовое оборудование и т.п.)

ЦСУ состоит из двух взаимосвязанных функциональных элементов. Первый — это универсальная корпоративная информационная система (в зарубежной терминологии — ERP). Она обеспечивает электронный документооборот, планирование, ведение и хранение технических данных по изделиям, складской учет, подготовку к выпуску партий, а также присваивает объектам учета уникальные номера. Все электронные документы в ней представлены в виде бизнес-объектов — записей в базе данных, отражающих свойства и характеристики реальных документов, участвующих в производстве. Бизнес-объекты характеризуются тем, что правила их создания, движения, изменения, удаления, а также права доступа к ним могут быть легко и быстро настроены в соответствии с правилами, принятыми на каждом конкретном производстве. Любые действия над бизнес-объектами могут совершаться только уполномоченными на это пользователями.

Второй элемент системы — автоматизированная система управления производственной деятельностью (также известная как MES). В ее функции входит обеспечение информационной связи с рабочими

местами и технологическим оборудованием, идентификация и фиксация местоположения объектов производства и технологических параметров. На основании этих собранных данных формируется развернутая система отчетов для обеспечения непрерывного контроля над производственным процессом и его результатами.

Важнейшей функцией этого элемента системы является обеспечение маркировки, идентификации и прослеживаемости объектов в производстве. Прослеживаемость в производстве — это способ организации производственного процесса, при котором можно проследить предысторию, использование или местонахождение каждой единицы продукции и действий, связанных с ее изготовлением (хранением, ремонтом и т.п.) При этом каждый объект и субъект производства должны нести в себе некоторые индивидуальные метки, которые могут быть считаны и переданы в автоматизированную систему обработки данных. Например, полуфабрикаты и изделия могут быть отмечены штрих-кодами, работники — индивидуальными картами доступа, приборы и оборудование — заводскими номерами.

Хотя, как говорилось выше, ЦСУ состоит из двух частей, функционально и информационно эти части неразделимы в общем процессе. Это тоже является индивидуальной особенностью данной системы. Ее функционал можно условно представить в виде трех подсистем.

Первая из них обеспечивает подготовку электронных данных, необходимых для самого производственного процесса (номенклатура, состав изделий, иерархия этого состава и технологические процессы). Эти данные определяют что, из чего и как должно быть произведено.

Вторая — осуществляет контроль за всеми ТМЦ, участвующими в производстве, а также за выполнением технологических процессов. Ее работа основана на данных, которые были определены в первой подсистеме (эти данные определяют набор правил, по которым функционирует вторая подсистема).

Третья — обеспечивает организационную подготовку производства, а также средства планирования и диспетчирования производства. Основные факты, которыми оперирует эта подсистема — готовность к началу производства, укомплектованность, очередность заказов, прохождение стадий изготовления, загрузка производственных мощностей.

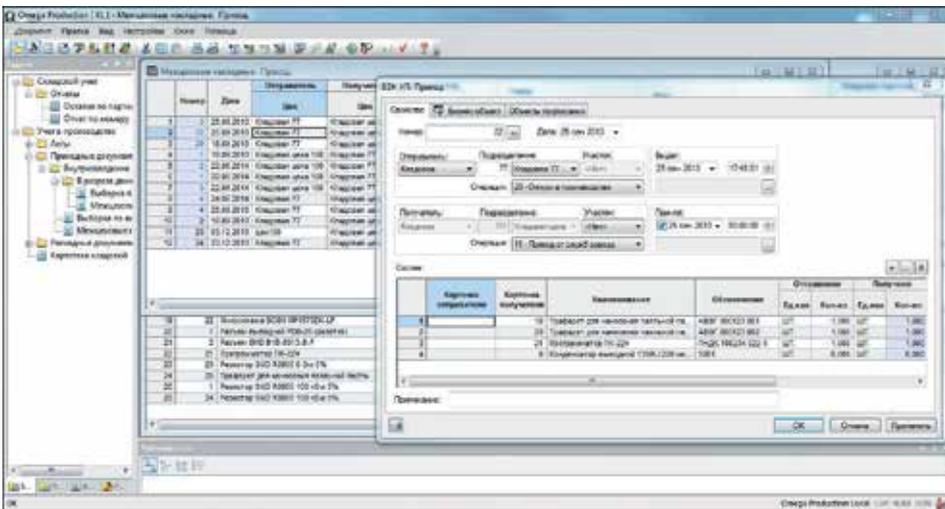
Все три подсистемы совместно обеспечивают единый последовательный информационный процесс, сопровождающий выпуск изделия: от получения документации до его поступления на склад готовой продукции. Еще раз подчеркнем, что такое деление единой системы условно, но при наличии механизма разделения прав и задач у пользователей позволяет четко распределить функции между персоналом, решающим технические, производственные и управленческие задачи.

И здесь мы подходим еще к одной индивидуальной особенности ЦСУ. Она касается организации взаимодействия человека с информационной системой (пользовательский интерфейс). Работа любого пользователя построена на основе индивидуального интерфейса решаемой задачи. Это означает, что каждый пользователь видит перед собой только те задачи, которые

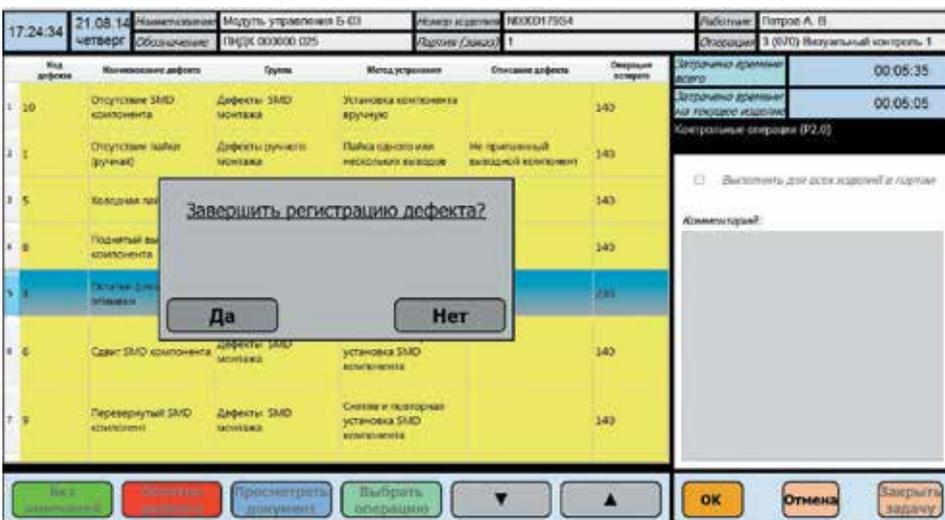
определены его ролью в общем процессе. Такой подход к организации интерфейса рабочих мест позволяет решить сразу три задачи: ограничение доступа, уменьшение возможных ошибок и минимизация требований к подготовке пользователя.

По оснащению техническими средствами рабочие места разделяются на две группы: со стандартными компьютерами офисного класса и с упрощенным интерфейсом ввода данных через сенсорные мониторы. Вторые применяются для отметки выполнения технологических операций в производственном процессе. Их программное обеспечение максимально специализировано под выполняемые функции и не требует никаких специальных знаний для работы (только короткий вводный инструктаж). В силу нерациональности оснащения каждого рабочего места ручных операций отдельным компьютером рабочие места второго типа могут выполняться в виде коллективных точек ввода информации — терминалов, позволяющих его поочередное использование несколькими работниками, допущенными к проведению работ данного типа.

Примеры пользовательских интерфейсов рабочих мест первого и второго типов приведены на РИС 3 и РИС 4.



3 Интерфейс рабочего места кладовщика (пример)



4 Интерфейс рабочего места контролёра (пример)



5
Архитектура ЦСУ

Оборудование ЦСУ имеет «классическую» клиент-серверную архитектуру рис 5 и работает в локальной вычислительной сети предприятия.

Подготовка и управление производством, как правило, осуществляется на обычных компьютерах офисного класса без каких-либо специальных требований. Может потребоваться ввод документов с бумажных носителей с помощью планшетных сканеров. Для складского учета дополнительно нужны устройства для нанесения и считывания маркировки.

Для обеспечения прослеживания ручных технологических операций могут использоваться специальные информационные терминалы с сенсорными экранами, которые дополнительно оборудованы считывателями маркировочных кодов и карт идентификации работников. Для рабочих мест, на которых выполняются сложные операции (ремонтные, контрольные или регулировочные), могут устанавливаться отдельные компьютеры со считывателями маркировочных кодов. Программное обеспечение этих рабочих мест также позволяет выдачу технологической и конструкторской документации напрямую на экран монитора.

Как это работает

Внедрение на предприятии ЦСУ позволяет организовать производственный процесс с использованием только электронных документов. Уже только этот факт позволяет уменьшить трудозатраты и сроки выполнения

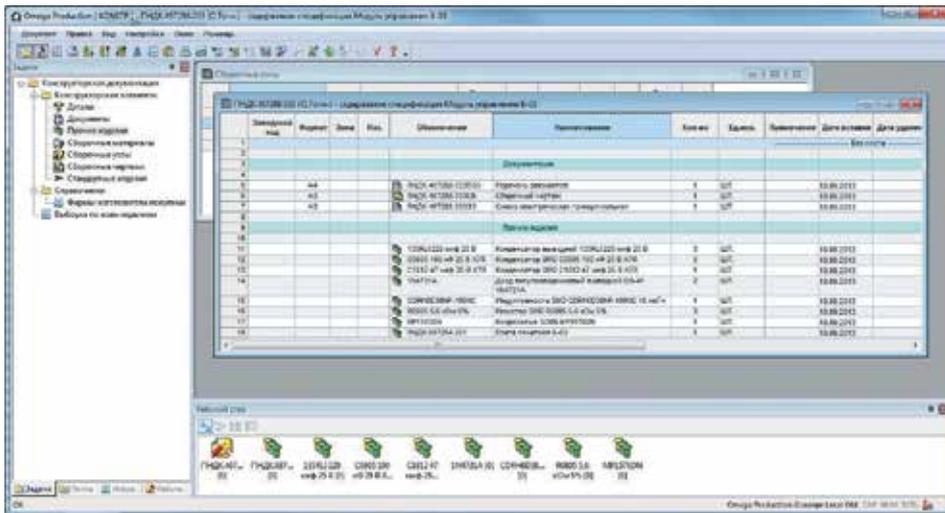
работ, а также сокращает количество ошибок в составлении документов. Конечно, при необходимости можно сделать бумажную копию любого документа. Каждому документу присваивается уникальный номер в системе, поэтому по распечатанному документу можно легко найти в системе его электронный образ.

Пользователи системы могут обмениваться друг с другом сообщениями по внутренней почте, кроме того возможна автоматическая отправка сообщений по событиям. Этот механизм оказывается очень полезен, если не у всех работников есть индивидуальный телефон или работник периодически отсутствует на рабочем месте.

ЦСУ обладает высокой степенью гибкости настроек, большинство из которых может быть сделано самими пользователями (конечно, не рядовыми, а с правами администратора) в процессе рабочей эксплуатации. Примерами таких настроек могут служить: структура подразделений, права и группы пользователей, видимость только необходимых пользователям задач, параметры ведения учета, правила и последовательность утверждения документов и другие. Основные настройки производятся при инсталляции системы и являются частью адаптации системы к условиям конкретного предприятия.

Для производства какого-либо изделия под управлением ЦСУ необходимо прохождение нескольких этапов, которые включают подготовительные действия и само производство. Рассмотрим эти этапы более подробно.

Создание номенклатурных справочников комплектующих, материалов и изделий. Это необходимо для задания



6 Работа с конструкторскими объектами

всех объектов складского учета и описания состава изделий. К обязательным параметрам для каждого элемента могут быть дополнительно заданы поставщик/производитель, неснижаемый уровень складского остатка, аналоги для замен, запас на технологические нужды и др. Справочники создаются один раз и в дальнейшем только дополняются новыми элементами.

Занесение конструкторских документов (КД) в электронном виде. ЦСУ не является системой для разработки КД, она лишь позволяет осуществлять хранение (в любом формате файла) и использование КД в работе. Текстовые документы можно создать непосредственно в системе в процессе добавления КД. Поддерживается ведение ревизий отдельных документов и их комплектов. КД определяет состав изделий, а также является основой для создания технологических процессов. Здесь определяется потребность в материалах и устанавливается связь с другими сборочными единицами. Кроме того, при наличии КД в электронном виде к ним можно организовать доступ с компьютеров рабочих мест в производстве. КД можно также вывести на печать в стандартной форме. Пример пользовательского интерфейса для работы с конструкторскими объектами (документами и элементами спецификаций) показан на рис 6.

Занесение технологических документов в электронном виде. Здесь все аналогично конструкторским документам. Технологические документы вносятся в систему и при необходимости подключаются к технологическому процессу. Поддерживаются единичные, групповые и типовые технологические процессы. Имеется простой механизм создания единичного технологического процесса по типовому, что является частой задачей в производстве электронной аппаратуры. На этом этапе также определяется потребность в приборах, приспособлениях, технологической оснастке. В технологическую документацию могут быть добавлены интерактивные

инструкции, которые потом «воспроизводятся» на рабочих местах в качестве руководства для выполнения операций. На рабочие места можно также передавать для просмотра и другие технологические документы (аналогично конструкторским).

При наличии в базе данных системы полного комплекта электронных документов можно автоматически определить потребность для выпуска некоторого установленного количества изделий, причем, если изделие является сложным (включает в себя другие сборочные единицы), будет вычислена общая потребность для выпуска всех необходимых сборочных единиц. Этот список может служить основой для выдачи заявки в службу материального снабжения. Далее, нужно будет только контролировать приход ТМЦ на склад комплектации. *Складской учет.* Полученные компоненты, комплекту-



7 Пример маркировки компонентов

ющие и материалы поступают на склад комплектации. На этапе принятия накладной каждой партии (упаковке) присваиваются индивидуальные номера, которые затем распечатываются в виде штрих-кодовых наклеек и носятся на объекты учета рис 7. В приходной накладной также делаются ссылки на поставщика и документы поставки. Все это позволит в дальнейшем идентифицировать происхождение каждой материальной ценности. Если ТМЦ является давальческой, устанавливается соответствующий атрибут, который позволяет вести дальнейший учет особым образом. Другие правила складского учета ничем не отличаются от общепринятых.

Каждая заготовка нового изделия (например, печатная плата) также снабжается индивидуальным кодом рис 8. Это позволяет проследить ее движение в производстве с помощью считывания меток автоматическими рис 9 или ручными сканерами. Кроме того, идентификация заготовки (полуфабриката) позволяет однозначно поставить соответствие между производимым изделием

и технологическим процессом, помогая исключить многие технологические ошибки.

Электронная ведомость комплектования партии может заполняться по мере поступления ТМЦ на склад. Её 100% заполнение служит сигналом к началу производства. Диспетчер производства (или другой уполномоченный работник) в своей задаче видит список заказов со сроками и состоянием укомплектованности и принимает решение о начале работы по тому или иному заказу. Кладовщик по ведомости формирует набор необходимых ТМЦ и выдает их в цех.

На рабочих местах производится идентификация заготовок и отмечается прохождение каждой технологической операции в соответствии с заданным ранее техпроцессом. Если это ручные операции, то проводится сканирование кодов ручным сканером и ручная фиксация момента начала и завершения операции. Исполнитель операции определяется либо как пользователь программы (на индивидуальном месте), либо через регистрацию на своем рабочем месте (для операторов оборудования), либо прикладыванием карты идентификации (при работе с коллективным терминалом). На конвейерных операциях код сканируется автоматическим сканером и поступает в программу-сборщик данных. Программа-сборщик также следит за всеми несоответствиями между поступающей информацией и требуемыми параметрами технологического процесса и выдает предупреждения на специальной панели управления системы.



8 Пример маркировки печатной платы



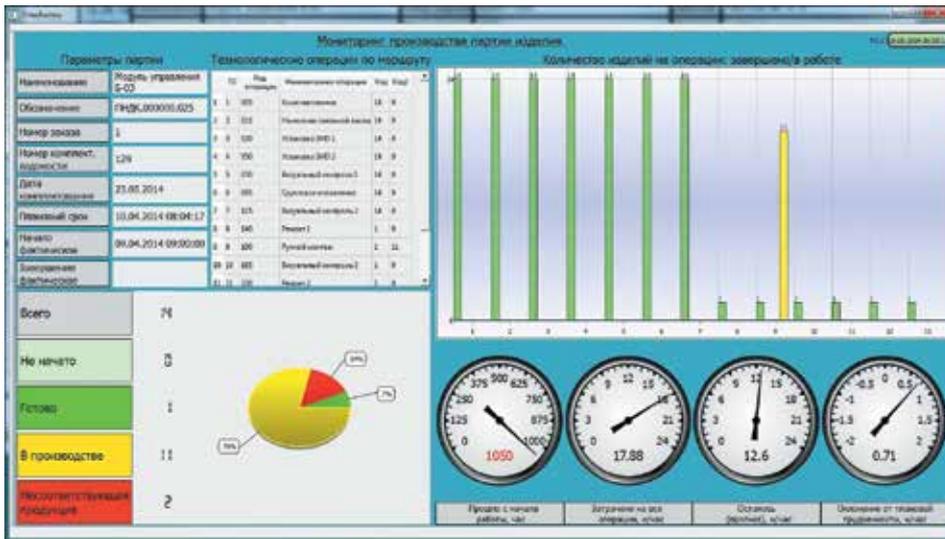
9 Считывание маркировочной метки с печатной платы на конвейере

А что на выходе?

Основная задача ЦСУ — обеспечить сбор, хранение, систематизацию данных обо всех участниках производственного процесса. А результатом всей этой деятельности являются наглядно сформированные отчеты, характер и диапазон охвата которых определяется рабочим местом их владельца. Для руководителей разных уровней и служб доступны свои формы отчетных данных.

Например, руководителям верхнего звена необходима актуальная информация по выполнению планов каждой из служб, а также отклонения реальных показателей от плановых. Здесь речь идет о планах на относительно продолжительный промежуток времени: год, квартал рис 10.

Руководителям уровня начальников цехов (участков) нужны данные по более коротким временным отрезкам. Желательно, чтобы на этих же графиках можно было с помощью простых манипуляций отобразить основные сведения о причинах отклонений рис 11. Можно контролировать ход производства в разрезе различных факторов, например, пооперационный контроль, мониторинг оборудования, загрузка рабочих мест, статистика брака,



12
Пример динамического отчета

казчика и на основании этого разрабатывается техническое задание. После его подписания исполнитель прорабатывает техническое решение, результатом которого является точный состав аппаратуры и программного обеспечения предполагаемого решения. Начинается работа по поставке необходимого оборудования и, параллельно, подготовка программ, которые адаптируются под поставленную задачу путем соответствующих настроек, внесения изменений и дополнений, а также включением в состав необходимого набора готовых модулей.

Аппаратное обеспечение состоит из стандартного оборудования, которое уже может быть у заказчика (например, сервер, элементы локальной вычислительной сети, компьютеры рабочих мест), и специализированного: терминалы технологических операций, сканеры, оборудование для маркировки. Стандартное оборудова-

ние может быть также приобретено заказчиком самостоятельно.

После полной готовности компонентов аппаратно-программного комплекса производятся монтажные и пусконаладочные работы, проходит обучение персонала. Результатом этого этапа является готовность к опытной эксплуатации системы. В процессе опытной эксплуатации выявляются скрытые несоответствия требованиям технического задания, которые на данном этапе устраняются; одновременно под руководством специалистов исполнителя совершенствуется квалификация производственного персонала; корректируется эксплуатационная документация. Как правило, результатом должна быть способность информационной системы под управлением штатного персонала самостоятельно решать все поставленные производственные задачи. Это означает переход к рабочей эксплуатации.

С началом периода рабочей эксплуатации системы заказчик становится ее полноправным хозяином. Но это не означает, что теперь все производственные проблемы решатся сами собой. Нужно отчетливо понимать, что ни одна автоматизированная система не будет ничего делать самостоятельно, ее ключевым звеном всегда останется человек и его целенаправленные действия. □