

# Цифровая система управления приборным производством

**Многочисленные решения по комплексной автоматизации производств, представленные на рынке, ориентированы в основном на механообрабатывающие и механосборочные отрасли, которые существуют уже многие десятки (а точнее — более сотни!) лет. Может показаться, будто все производства построены по похожим принципам, оперируют одинаковыми понятиями и задачи по их автоматизации решаются едиными методами. И значит, для приборного производства можно применять проверенные, уже хорошо зарекомендовавшие себя решения, многие годы используемые в машиностроении. Однако это не так.**

**Дмитрий Ублинский**

okp1@ostec-group.ru

У приборного производства есть особенности, принципиально отличающие 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 сырье), то в современном электронном приборостроении превалирует стоимость исходных компонентов, ком-

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

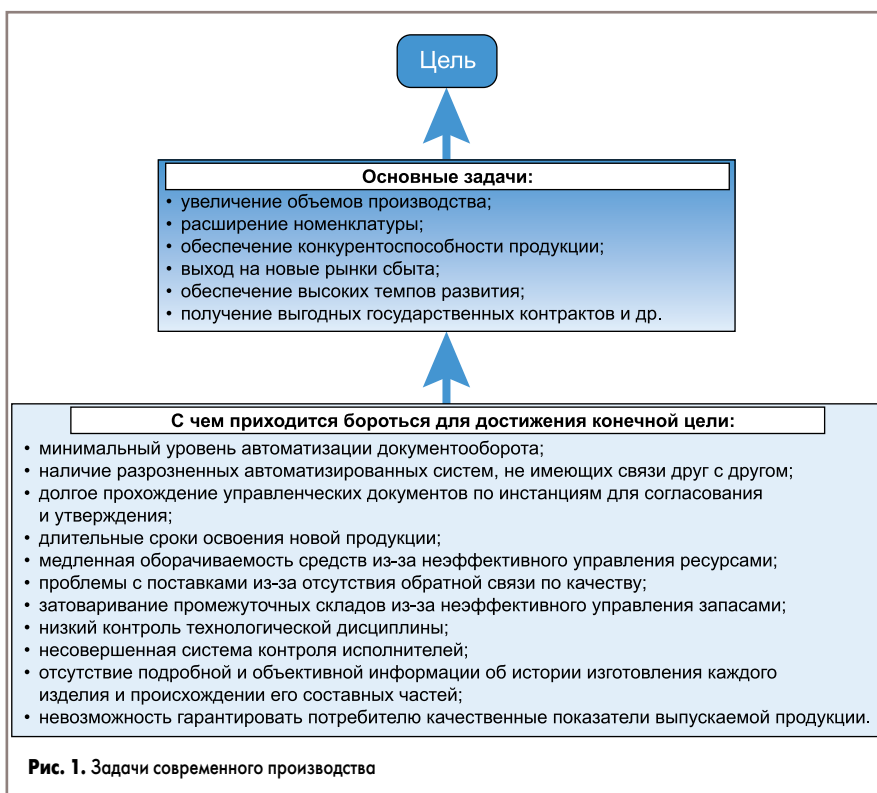
Попробуем разобраться, какой круг задач должна решать система управления современным приборным производством (далее — ЦСУ), а также зачем и кому это нужно.

## Зачем нужна ЦСУ

Сегодняшнее время — время информационных технологий, и объем информации, нас окружающей, 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 делать это чрезвычайно важно, ведь любое управленческое решение основано на информации о ходе процесса, которым управляют.

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

Конечная цель любого производителя — получение максимальной прибыли. И она достигается путем реализации целого круга взаимосвязанных производственных и чисто коммерческих задач (рис. 1). Но без их комплексного решения достичь основную цель невозможно. На современных отечественных производствах управление всем этим комплексом осуществляется механизмами (и средствами), заложенными еще во времена СССР. И если внедряется автоматизация, она затрагивает «старые» механизмы, а для эффективной деятельности сегодня требуется изменение самих этих механизмов.



При выполнении поставленных задач приходится сталкиваться с целым рядом негативных процессов, приведенных на рис. 1. Обычно все они сопутствуют старым механизмам управления. Попробуем проанализировать их причины и наметить способы борьбы с ними, систематизировав их по следующим направлениям.

### **Сокращение материальных затрат**

Значительные материальные затраты — это не результат высокого потребления ресурсов, а зачастую итог неэффективной оценки потребностей. Если не иметь достоверных и актуальных сведений 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 вероятного брака при поставке тем или иным поставщиком. Здесь же может скрываться 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. Поскольку эти задачи тесно связаны между собой, процесс их эффективного взаимодействия требует привлечения больших ресурсов. В случае «ручного» управления это человеческие ресурсы, применение которых само по себе приведет к росту затрат. Единственно возможное эффективное решение — автоматизация планирования. И здесь появляется одно маленькое «но»: для автоматического расчета планов должны быть использованы алгоритмы и методы, правильно отражающие реальную специфику данного производства и его номенклатуры. Это требует специальных решений по адаптивному программному обеспечению.

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

### **Соблюдение плановых сроков**

Своевременный выпуск продукции 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 поддерживать взаимодействие всех служб, участвующих в обеспечении производственного процесса. Это поставки (своевременные и полные по номенклатуре), их ра-

циональное 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 технических 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, которое 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 вышеназванные принципы подробно изложены в стандартах ISO (ГОСТ Р ИСО) и, безусловно, отражены в функционале ЦСУ.

### **Обеспечение ответственности перед потребителем**

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

- обеспечение уровня качества, определенно-го 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 — обеспечение решения основных производственных задач путем их разделения на более простые и логически самостоятельные компоненты.

### **Структура и особенности ЦСУ**

Как уже говорилось, главная особенность данной системы — учет специфики производств в электронной, радиоэлектронной и полупроводниковой промышленности. Эта специфика включает множество как принципиальных, так и на первый взгляд незаметных решений. Среди них: специальные механизмы планирования для электронных сборочных производств, планирование закупок, учитывающее характер и назначение закупаемых компонентов и материалов. Система складского учета, позволяющая работать с любыми ТМЦ, тем не менее адаптирована к особенностям приборного производства. Объекты складского учета имеют 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, предназначенным для приборного производства (системы хранения, установщики, автоматы для нанесения специальных материалов, тестовое оборудование и т. п.).

Основные решаемые производственные задачи:

- 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.

ЦСУ состоит из двух взаимосвязанных функциональных элементов. Первый — это уни-

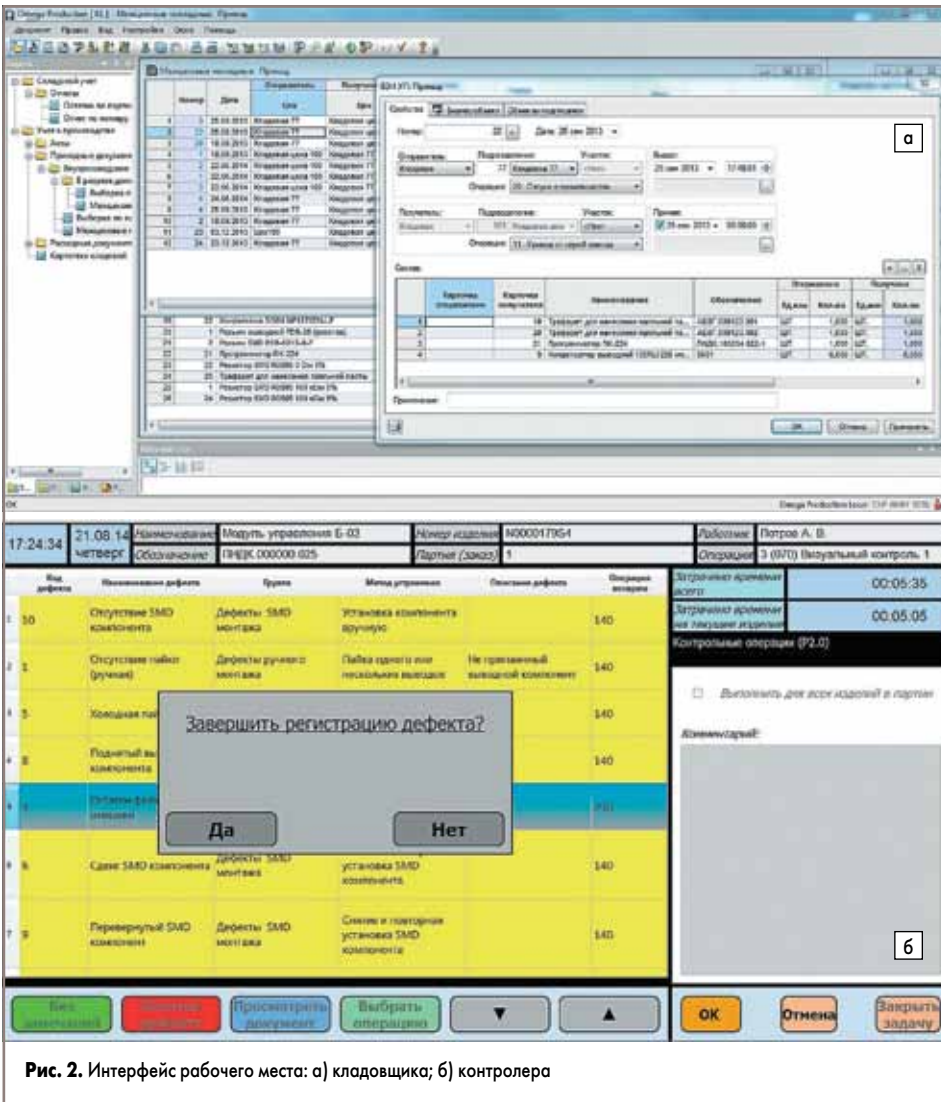


Рис. 2. Интерфейс рабочего места: а) кладовщика; б) контролера

версальная 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 — 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 функций этого элемента системы является обеспечение маркировки, идентификации и прослеживаемости объектов в производстве. Прослеживаемость в производстве — способ организации производственного процесса, при котором можно проверить 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 иметь индивидуальные метки, которые могут быть считаны и переданы в автоматизированную систему обработки данных. Например, полуфабрикаты и изделия отмечают штрихкодами, работники получают индивидуальные карты доступа, а приборы и оборудование — заводские номера.

Хотя, как уже говорилось, ЦСУ состоит из двух частей, функционально и информационно обе части неразделимы в общем процессе. Это тоже особенность 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). Такие 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, указанных в первой подсистеме (эти сведения определяют набор правил, в соответствии с которыми функционирует вторая подсистема).

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

Все три подсистемы совместно поддерживают 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 ЦСУ 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 сотрудника.

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 процедур данного типа.

Примеры пользовательских интерфейсов рабочих мест первого и второго типов приведены на рис. 2.

Оборудование ЦСУ имеет классическую клиент-серверную архитектуру (рис. 3) и работает в локальной вычислительной сети предприятия.

Подготовка и управление производством, как правило, осуществляется на обычных компьютерах офисного класса без каких-либо спе-





Рис. 3. Архитектура ЦСУ

циальных требований. Может понадобиться 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 применяться специальные информационные терминалы с сенсорными экранами, дополнительно оснащенные 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 помощью лишь электронных документов. Уже только этот факт способен уменьшить трудозатраты и сроки выполнения работ, а также сократить количество ошибок в составлении до-

кументов. Конечно, при необходимости можно сделать бумажную копию любого документа. Каждому документу присваивается уникальный номер в системе, поэтому по распечатке можно легко найти в системе его электронный образ.

Пользователи системы имеют возможность обмениваться друг с другом сообщениями по внутренней почте, кроме того, предусмотрена автоматическая отправка сообщений по событиям. Этот механизм оказывается очень полезным, если индивидуальный телефон есть не у каждого сотрудника или он 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 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 выполняются при инсталляции и являются частью адаптации системы к условиям конкретного предприятия.

Для изготовления 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 требуется для задания всех объектов складского учета и описания состава изделий. К обязательным параметрам для каждого элемента можно также указать поставщика/производителя, неснижаемый уровень складского остатка, аналога для замены, запас на технологические нужды и др. Справочники создаются один раз и в дальнейшем только дополняются новыми элементами.

**Занесение конструкторских документов в электронном виде**

ЦСУ не является системой для разработки конструкторских документов (КД), а лишь позволяет хранить (в любом формате файла) и использовать их в работе. Текстовые документы можно создать непосредственно в системе в процессе добавления КД. Поддерживается ведение ревизий отдельных документов и их комплектов. Такие документы определяют состав изделий и формируют основу 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 производственных рабочих мест, а также вывести их на печать в стандартной форме. Пример пользовательского интерфейса для работы с конструкторскими объектами (документами и элементами спецификаций) показан на рис. 4.

**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 соз-

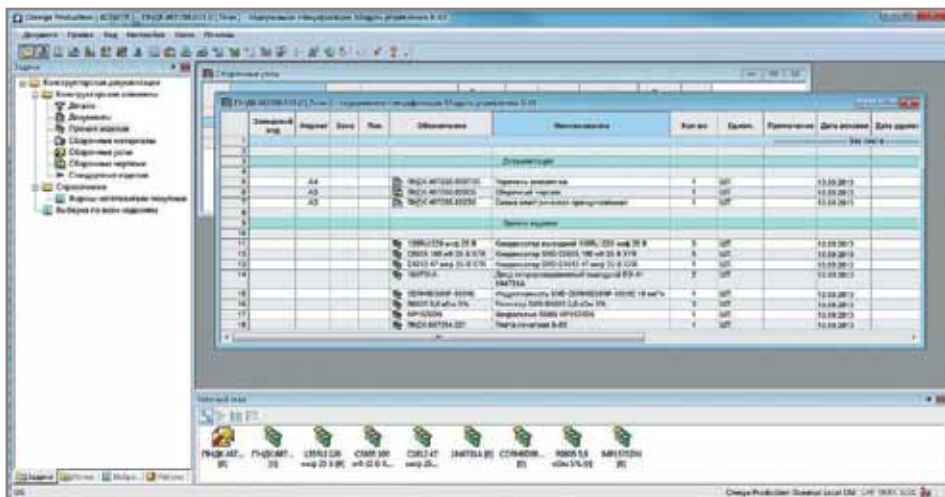


Рис. 4. Работа с конструкторскими объектами

дания единичного технологического процесса по типовому, что является обычной задачей в производстве электронной аппаратуры. На этом этапе определяется и 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 сложное (содержит другие сборочные единицы), будет вычислена общая потребность для выпуска всех необходимых сборочных единиц. Этот список должен стать основой для направления заявки в службу материального снабжения. Далее нужно только проконтролировать приход ТМЦ на склад комплектации.

### Складской учет

Полученные компоненты, комплектующие и материалы поступают на склад комплектации. На этапе принятия накладной каждой партии (упаковке) присваиваются индивидуальные номера, которые затем распечатываются в виде штрихкодowych наклеек и наносятся на объекты учета (рис. 5). В приходной накладной делаются ссылки на поставщика и документы поставки. Все это поможет в дальнейшем идентифицировать происхождение каждой материальной ценности. Если ТМЦ — давальческие, устанавливается соответствующий атрибут, который позволяет вести дальнейший учет особым образом. Другие правила складского учета ничем не отличаются от общепринятых.



Рис. 5. Пример маркировки компонентов

Каждую заготовку нового изделия (например, печатная плата) тоже снабжают индивидуальным кодом (рис. 6). Это позволяет проследить ее движение в производстве, считывая метки автоматическими (рис. 7) или ручными сканерами. Кроме того, идентификация заготовки (полуфабриката) однозначно устанавливает соответствие между производимым изделием и технологическим процессом, помогая исключить многие технологические ошибки.

Электронная ведомость комплектования партии может заполняться по мере поступления ТМЦ на склад. Ее 100%-ное 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 идентифицируют заготовки и отмечают 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



Рис. 6. Пример маркировки печатной платы



Рис. 7. Считывание маркировочной метки с печатной платы на конвейере

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. Программатор также следит за всеми несоответствиями между поступающей информацией и требуемыми параметрами технологического процесса и выдает предупреждения на специальной панели управления системы.

### 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. 8а).

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. 8б). Можно контролировать ход производства в разрезе различных факторов, например пооперационный контроль, мониторинг оборудования, загрузка рабочих мест, статистика брака, статистика соотношения между плановыми



