

# Автоматизация управления производством: что должна уметь MES

В. Хомченко<sup>1</sup>

УДК 658.51 | ВАК 05.13.00

В предыдущей статье [1] мы показали один из вариантов методики, позволяющей систематизировать информацию о состоянии дел в производственном подразделении и выявить «узкие места», для устранения которых планируется внедрить систему управления производственными процессами (MES, Manufacturing Execution System). Это мероприятие, называемое обычно техническим аудитом, или аудитом производства, является первым этапом определения облика будущей MES.

Центральная задача второго этапа – формулирование требований к проектируемой MES.

**Н**а данном этапе мы не будем привязываться к конкретным программным продуктам и необходимому оборудованию – они будут отражены в коммерческих предложениях компаний, занимающихся внедрением систем автоматизации, которые, изучив выданное им техническое задание, выразят желание принять участие в проекте. Сейчас для нас главное – определиться с составом информации, которой должна оперировать MES, в соответствии с целями, ради которых она создается.

Эта работа необходима прежде всего самому предприятию, собирающемуся внедрять MES. Ее результаты могут быть зафиксированы в свободной форме, поскольку они не предназначены непосредственно для предъявления «внешним» участникам процесса создания будущей системы – поставщикам, соисполнителям и т.п. В любом случае в итоговом документе этого этапа весь объем циркулирующей в MES информации должен быть структурирован по целям ее внедрения.

Под целями внедрения MES понимается укрупненный перечень характеристик производства, улучшения которых мы намерены добиться с ее помощью. Напомним – в качестве примера взято подразделение, осуществляющее сборку электронных узлов на одном из предприятий г. Санкт-Петербурга. При всех различиях в организации подобных подразделений в разных компаниях, о которых упоминалось в статьях [1, 2], цели, стоящие перед MES сборочного электронного производства, обычно сходны. Их можно определить следующим образом:

- усиление контроля за соблюдением технологической дисциплины;
- повышение качества управления производственными процессами;
- повышение эффективности производства.

## УСИЛЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на достижение этой цели, обычно регламентируется внутренним документом предприятия, который может называться, например, «Руководством по контролю качества выпускаемой продукции». Мы будем исходить из того, что система контроля качества на предприятии уже разработана и внедрена, и задача создаваемой MES сводится к максимально возможной автоматизации сбора, хранения, обработки и выдачи потребителям информации, так или иначе используемой для обеспечения контроля качества продукции и устойчивости технологического процесса.

Основные задачи, которые должны быть автоматизированы средствами MES для организации всестороннего контроля за соблюдением технологической дисциплины, можно определить как:

- поддержка верификации покупных изделий;
- автоматизация учета выполнения конструкторско-технологической подготовки производства;
- контроль соблюдения технологических требований и параметров технологического процесса;
- информационная поддержка выполнения графиков плановых ремонтов и проверок аппаратуры.

**Верификация покупных изделий** должна быть записана одной из обязательных позиций в упомянутом выше внутреннем документе по контролю качества. Она проводится в соответствии с ГОСТ 24297-2013, который определяет ее как проверку соответствия качества продукции установленным требованиям. Перечни закупленной продукции, подлежащей верификации, разрабатываются конструкторскими службами – по продукции, предназначенной для комплектации, и технологическими службами – по сырью, материалам и полуфабрикатам, предназначенным

<sup>1</sup> ООО «Лотта», генеральный директор, vhomchenko@lottaspb.com.

для производства, ремонта, эксплуатации и обслуживания. Верификация производится по утвержденной методике, которая, в зависимости от контролируемых свойств и параметров проверяемых компонентов и электронных узлов, может включать различные виды и способы контроля: функциональное тестирование, периферийное сканирование (JTAG), внутрисхемное тестирование, рентгеновский и/или визуальный контроль и т. д.

Поскольку одной из задач MES является поддержка обеспечения производства покупными комплектующими изделиями (ПКИ), соответствующими ТУ и другим требованиям конструкторов, то в ее состав должны входить средства для регистрации, визуализации, анализа и долговременного хранения результатов верификации ПКИ. С точки зрения аппаратного обеспечения используемые для контроля оборудования и рабочие места должны иметь возможность передачи результатов тестирования в локальную сеть производственного подразделения либо на внешний электронный носитель информации.

При разработке MES надо иметь в виду, что закупленная продукция, результаты верификации которой обрабатываются в MES, уже должна быть зарегистрирована в ERP – системе более высокого, чем MES, уровня [1]. Ее оприходование на склад сопровождается формированием документа, в котором указываются дата и партия поставки, данные о поставщике и другая информация, необходимая для обеспечения прослеживаемости производства изделий. Но ERP ориентирована на взаимодействие с поставщиками, в то время как MES – с конструкторскими и технологическими службами предприятия; отсюда могут возникнуть проблемы с разночтением обозначений покупных изделий. Очень часто одни и те же покупные изделия в разных системах имеют различные наименования, поэтому при интеграции MES и ERP необходимо предусмотреть приведение в соответствие обозначения покупных изделий, компонентов и материалов.

Второй вопрос, который необходимо решить в рамках задачи обеспечения качества производственного процесса, – **автоматизация учета выполнения конструкторско-технологической подготовки производства.**

Конструкторская подготовка прежде всего предполагает обеспечение комплектности и актуальности конструкторской документации и исполнительных программ для технологического оборудования. Технологическая подготовка обычно заключается в разработке технологических маршрутов и карт с нормами затрат ресурсов. Кроме того, в ее рамках определяются параметры технологических процессов, которые оборудование должно поддерживать, а MES – контролировать.

Обязательная функция MES на этапе контроля выполнения подготовки производства – регистрация перечня документов, передаваемых в производство. Здесь возможны варианты. Если готовится запуск очередной

партии серийной продукции, то MES оперирует стандартным набором конструкторско-технологической документации (КТД) и в этом случае может автоматически проверять его комплектность и актуальность. Если же речь идет об изготовлении единичных изделий либо прототипов, то комплект документации может изменяться от экземпляра к экземпляру. В этом случае контроль осуществляют ответственные лица – технолог и руководитель производства (начальник цеха), а MES должна предоставить необходимые для этого средства.

Элементы MES, ответственные за контроль выполнения подготовки производства, должны поддерживать оперативное внесение изменений в любой из документов комплекта КТД. Причины для таких изменений может быть множество. Например, поставщик, не имея комплектующих запрашиваемого типа, предлагает их аналог; тогда конструктор, если он согласен с заменой, должен быстро выпустить соответствующее извещение об изменении. Другая ситуация: нужный компонент имеется, но не в упаковке (кассете, пенале), как обычно, а в россыпи. Это уже забота технолога, который должен исключить этот компонент из процесса автоматизированной сборки и перенести его монтаж на этап ручной пайки. Это означает, что, во-первых, необходимо отменить установку в сборочный автомат питателя с этим компонентом, изменить управляющую программу автомата, модифицировать трафарет, в котором теперь не должно быть апертур в местах, соответствующих контактным площадкам компонента. Во-вторых, придется добавить пайку компонента в задание монтажнику и, если после печи оплавления изделие поступает на контроль в АОИ, то откорректировать ее программу, чтобы инспекция не фиксировала ошибку по отсутствию данного компонента. Для того чтобы MES смогла выполнить перечисленные действия, в ней должен храниться перечень технологических операций с нормами затрат ресурсов. Технологи достаточно заменить одну операцию на другую, а MES пересчитает (перепланирует) потребности и характеристики производственного процесса.

**Контроль соблюдения технологических требований и параметров технологического процесса** позволяет выявить возможные места появления брака и предотвратить выпуск некондиционных изделий.

Главное, что требуется в рамках этой задачи при любом варианте построения системы, – максимальная автоматизация регистрации реальных параметров технологических процессов. Дальнейшее использование собранных и сохраненных параметров может быть различным. Можно просто выводить их на рабочие места в виде, удобном для последующего анализа, либо в текущем режиме сравнивать с заданными значениями и в случае значимых отклонений формировать предупреждающие сигналы для операторов технологической линии и/или руководства подразделения. Целесообразность принятия того или иного варианта определяется руководством исходя из соотношения, с одной стороны, затрат на реализацию и эксплуатацию этого элемента функционала MES и, с другой стороны, экономического эффекта, который он способен дать производству.

Вопросы такого рода решаются на следующих этапах создания MES – в общем виде на этапе разработки ТЗ, в виде конкретных технических решений – на этапе предпроектного обследования. Тогда же разрабатываются предложения по объемам и, возможно, очередности доработки станков в части установки датчиков и интерфейсов для снятия требуемой информации, уточняются и согласовываются форматы передачи данных и т. п.

**Соблюдение графиков планово-предупредительных ремонтов (ППР) оборудования и проверок контрольно-измерительной аппаратуры** необходимо для поддержания технического состояния оборудования и приборов на должном уровне, оно напрямую влияет на обеспечение качества производственного процесса. Кроме того, выполнение графика ППР является обязательным условием содержания оборудования на гарантийном обслуживании.

Основой для выполнения этой задачи являются данные о фактической наработке станков и измерительных средств. На их точность и своевременность можно рассчитывать только при сборе информации о времени работы станков в автоматическом режиме, поэтому автоматизация этого процесса также является одной из стандартных функций MES.

Наряду с постоянно обновляемыми данными о фактической наработке MES должна содержать и данные о плановой наработке машин и приборов. Вопрос о том, как использовать этот информационный массив – выдавать по запросу или с определенным временным интервалом на рабочее место сервисного инженера, либо формировать сообщения, когда фактическая наработка приближается к плановой, либо как-то еще, – решается на следующих этапах создания MES, так же как и вопрос о том,

как вводить в систему информацию о наработке тех единиц оборудования, которые не имеют средств для ее подсчета и передачи в локальную сеть подразделения.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В этой части своего функционала MES должна предоставлять возможности автоматизации для решения следующих задач:

- планирования и перепланирования выполнения производственных заданий;
- регистрации фактического выполнения технологических операций;
- планирования графика поставок покупных и комплектующих;
- оптимального формирования партий для запуска в производство.

**Планирование выполнения производственных заданий** – это составление плана-графика работы подразделения на некоторый календарный период. Само производственное задание представляет собой директиву, исходящую от вышестоящей административной инстанции. Однако практически всегда наряду с новой директивой подразделение в тот же период времени занято выполнением других работ. Это могут быть завершающие этапы выполнения ранее выданных заданий, дополнительные поручения, оформленные служебными записками и т. п. При планировании работ эта загрузка должна учитываться в ходе расчета производственных мощностей и трудовых ресурсов, которые могут быть выделены для выполнения нового производственного задания.

Необходимо также учитывать техническое состояние оборудования. Во-первых, оно отражает фактическую работоспособность машинного парка, например, снижение производительности из-за износа или после капитального ремонта; во-вторых, на реальную картину располагаемых производственных мощностей влияют перерывы на планово-предупредительные ремонты и осмотры.

Еще один важный фактор планирования – входимость печатных узлов, назначаемых к сборке в данном производственном задании, в состав других изделий, которые должны быть изготовлены в текущем плановом периоде. Учет этого фактора позволяет оптимальным образом сформировать партии запускаемых в производство полуфабрикатов<sup>\*</sup>.

На основании этих данных составляется план-график, определяющий номенклатуру изготавливаемых узлов, распределение объемов их выпуска по времени на

<sup>\*</sup> Под полуфабрикатом понимается изделие в промежуточной стадии сборки – результат выполнения отдельной технологической операции (установка комплектующих на печатную плату, пайка установленных комплектующих и т. д.).

протяжении планового периода с разделением по стадиям технологического процесса (автоматизированный поверхностный монтаж, доустановка крупных и нестандартных компонентов, механическая сборка, контрольные операции и т. д.). Важнейшим элементом плана-графика являются контрольные точки, по которым проверяется текущее состояние его выполнения.

Для поддержки планирования MES должна обеспечивать хранение всей входящей плановой документации, максимально автоматизировать трудоемкие расчеты потребности в материалах и комплектующих, нагрузки на оборудование, оснастку и исполнителей. Сопровождая производственный процесс, система должна отслеживать ход выполнения заданий, предоставлять средства для отображения директивной и текущей плановой информации на рабочих местах руководителей и исполнителей, принимающих участие в составлении, обеспечении и контроле выполнения плана.

Как показывает практика, планы почти всегда корректируются в силу как внутренних, так и внешних, по отношению к данному подразделению, причин: необходимости изменения приоритетов выполнения производственной программы, срыва поставок покупных и комплектующих изделий, непредвиденных затрат времени на устранение замечаний по результатам испытаний и т. д. Этим обусловлена высокая востребованность инструментария для перепланирования производственных процессов, поэтому MES должна иметь в своем составе простой и интуитивно понятный механизм пересчета плана-графика по новым параметрам при изменении сроков и объемов производимой продукции.

**Регистрация начала и окончания выполнения технологических операций** в режиме реального времени выделена в статье специальной позицией ввиду важности этой функции MES. Прежде всего, фактическая дата и время начала и окончания каждого процесса должны отображаться на рабочих местах контроля выполнения плана-графика параллельно с плановыми сроками. Только так можно создать условия для своевременного реагирования на срыв плановых сроков, что самым существенным образом повышает уровень управляемости производства. Большое значение эта функция имеет также для реализации прослеживаемости – необходимого элемента системы обеспечения качества продукции и стабильности технологического процесса. Фиксация времени начала и окончания операций в привязке к уникальному идентификационному коду ответственной детали (узла) – это та основа, на которой строится весь процесс контроля ее движения в производственном цикле.

Данная функция MES должна быть максимально автоматизирована, и не только для того, чтобы исключить задержки, возможные при возложении ее на исполнителя работ. Опыт показывает, что отвлечение человека

от основной деятельности для фиксации ее результатов является для него сильным раздражителем, способным вызвать негативное отношение к самой идее автоматизации управления производственными процессами.

Напомним: предложения о целесообразности доработки оборудования, у которого нет интерфейса для передачи временных меток выполнения операций, либо любых других данных, необходимых для работы MES, должны быть сформированы на этапе предпроектного обследования. Применительно к системе прослеживаемости можно рассмотреть вариант оснащения оборудования сканерами для считывания идентификационного кода в начале и по окончании операции с последующей передачей этой информации в MES по локальной сети.

На основе утвержденного плана-графика производителем **планирование графика поставок материалов, покупных и комплектующих изделий**. Потребности в них MES должна рассчитать, используя ведомости комплектации, входящие в состав конструкторской документации на каждое из производимых изделий. Данные о наличии на складе требуемых материалов и комплектующих MES получает из ERP предприятия [2]. При наличии незакрытых позиций MES должна сформировать дефицитную ведомость и передать ее в ERP как основу для принятия мер по покрытию дефицита. Фактический расход материалов и комплектующих считывается в MES из производственного оборудования.

Задача **оптимального формирования партий запуска в производство** представляет собой, фактически, детализацию заданий плана-графика. Партия готовится для проведения отдельной технологической операции (например, установки комплектующих на печатную плату) или технологической цепочки (установка, пайка, обезжиривание, сушка и т. д.). При формировании партии определяется ее размер, перечень комплектующих, дата и время начала выполнения операции (цепочки операций), используемое оборудование, исполнители, порядок передачи полуфабрикатов на следующую операцию или отгрузки на склад готовой продукции.

Важнейшая особенность задачи формирования партии состоит в учете условий, сложившихся на производстве к моменту ее запуска. Во-первых, реальность всегда так или иначе отличается от плана. Может иметь место замена компонента в связи со срывом срока его поставки или по результатам испытаний, задержка с выполнением предыдущего задания, внеплановый ремонт оборудования и т. п. Во-вторых, в момент формирования партии запуска появляются возможности для оптимизации производственного процесса. Можно группировать одинаковые полуфабрикаты, входящие в состав разных изделий, то есть находящиеся в различных «ветках» плана-графика; можно минимизировать время переналадки оборудования, учитывая, например, зарядку питателей сборочных автоматов, оставшуюся от сборки предыдущего узла, и настройки печи оплавления, установленные в предыдущем процессе.

Соответственно, при формировании партии запускаемых в изготовление изделий необходимо знание текущих значений трех основных параметров: объема производства данного полуфабриката с учетом его входимости в другие производственные задания, состава и возможностей свободных производственных мощностей и наличия материалов и комплектующих изделий, а также ряда дополнительных факторов, сложившихся в ходе предыдущего производственного цикла на данном оборудовании.

Задачи, решаемые MES при выполнении функции формирования партий запуска, в целом подобны тем, которые описаны выше, в разделе, посвященном планированию: расчет требуемых материалов и комплектующих по ведомостям комплектации, контроль их наличия по данным ERP, оценка свободных мощностей и т. п. Однако существуют и отличия, характерные именно для данной задачи. Так, при формировании партии запуска производится уточненный учет располагаемых комплектующих, поскольку их фактический расход зачастую превышает плановый: компоненты могут быть не только установлены в изделие в соответствии со спецификацией, но и отбракованы в связи с порчей в составе упаковки или сброшены сборочным автоматом, не распознавшим их в ходе операции установки на плату.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Эта цель – третья из числа основных целей внедрения MES – подразумевает автоматизацию процессов своевременного обеспечения производства материалами и комплектующими и оптимизации загрузки производственных мощностей. Практически все функции и задачи системы, необходимые для ее достижения, уже описаны в предыдущих разделах. Здесь можно добавить, что одним из резервов для повышения эффективности производства является рациональное использование трудового

ресурса, и MES должна предоставлять для этого соответствующие средства.

При расчете загрузки персонала учитывается время, затрачиваемое на выполнение плановых работ, график отпусков, отсутствие по производственной необходимости и по состоянию здоровья. Эта информация наряду с данными о качестве конструкторско-технологической подготовки производства, времени простоя оборудования, сроковой дисциплине поставщиков покупных изделий и материалов, уровне поддержания технологической дисциплины представляет собой важный источник для анализа качества организации производства и принятия управленческих решений.

\* \* \*

Определением перечня процессов, подлежащих автоматизации при помощи проектируемой системы, фактически, завершается работа, которую предприятие – заказчик MES может и должно выполнить самостоятельно перед тем, как приступить к поиску подрядчиков для этого проекта. Следующие этапы подготовки – проведение предпроектного обследования, разработка ТЗ на будущую систему – проводятся уже совместно с компаниями-соисполнителями.

Эти этапы в высокой степени индивидуальны для каждого заказчика. Предпроектное обследование предполагает изучение комплектации и функционала каждой из установок в линии, которая должна быть охвачена MES, и выработку решений по дооборудованию каждой из них, которые полностью зависят от возможностей заказчика и его представлений о целесообразности. На облик ТЗ также влияют многочисленные факторы, уникальные для каждого предприятия, вплоть до сложившейся системы отношений между подразделениями и квалификации сотрудников, отвечающих за ту или иную часть производственного процесса. Давать сколько-нибудь конкретные советы по этим этапам без опоры на реалии предприятия-заказчика крайне трудно, а скорее невозможно; в общем же виде рекомендации по ним так или иначе нашли отражение в трех опубликованных статьях. Однако, если у читателей возникнут вопросы, требующие системного ответа, который был бы полезен широкому кругу специалистов, рассматривающих внедрение MES на своих производствах, автор готов на их основе продолжить публикацию статей этого цикла.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Хомченко В., Смирнова Т.** Автоматизация управления: аудит производства // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 10. С. 120–126.
2. **Хомченко В.** Автоматизация управления производством: зачем нужна MES и как к ней подступиться // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 4. С. 158–160.