

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ: АУДИТ ПРОИЗВОДСТВА

В.Хомченко¹, Т.Смирнова²

УДК 658.51
ВАК 05.13.00

В предыдущей статье цикла [1] были обсуждены общие вопросы, связанные с разработкой и внедрением системы управления производственными процессами или, в общепринятом обозначении, MES – Manufacturing Execution System: основные функции системы, компоненты обрабатываемого в ней информационного потока, особенности выбора объектов контроля и управления, ключевые проблемы разработки системы. В настоящей статье на основе опыта построения MES на одном из приборостроительных предприятий г. Санкт-Петербурга рассмотрен первый этап процесса создания MES – аудит производства, которое планируется автоматизировать.

В качестве примера, на базе которого будут рассмотрены основные принципы построения модели MES, в данной статье взят производственный комплекс монтажа печатных плат (ПКМ ПП) предприятия, выпускающего радиотехническую продукцию. ПКМ ПП, административно оформленный как подразделение предприятия – цех либо участок, устанавливает радиоэлементы на печатную плату, выполняет их пайку, производит визуальный контроль и устраняет обнаруженные в его ходе замечания. Далее, в соответствии с технологическим маршрутом, передает собранные изделия на тестирование и в отдел технического контроля и после полного устранения выявленных на этих этапах дефектов направляет изделия либо на склад, либо в сборочный цех. Специфика рассматриваемого предприятия – это опытное, мелкосерийное, а также среднесерийное многономенклатур-

ное производство изделий с высокими требованиями к надежности, так что при разработке MES необходимо будет учесть связанные с этой особенностью различия в технологических и организационных подходах.

Задача первого этапа создания MES – аудит, то есть системная оценка производства, управление которым предполагается автоматизировать, по состоянию "как есть". Полученные данные сводятся в отчет о проведенном аудите.

Начнем с анализа производственных мощностей. Составим перечень оборудования, непосредственно занятого в производственном процессе, укажем количество установок каждого типа и их фактическую производительность. Выясним возможность объединения оборудования в локальную сеть, присвоив каждой его единице одну из трех характеристик: "возможно", "возможно после доработки", "невозможно". Результаты оформим в виде табл.1.

Также должен быть составлен полный перечень технологической оснастки и измерительных инструментов – как минимум тех из них, для которых обязательно проведение периодических проверок.

¹ Генеральный директор ООО "Лотта",
vhomchenko@lottaspb.com.

² Ведущий специалист по инновационному развитию
АО "НИИ "Вектор", stvspsb260@gmail.com.

Таблица 1. Характеристики технологического оборудования, значимые для построения MES

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Производительность	Подключение к локальной сети
Производственное оборудование				
1	Автомат установки компонентов FLX2011	1	До 6 000 комп./ч	Возможно
2	Автомат установки компонентов SM482	1	До 21 тыс. комп./ч	Возможно
3	Автомат дозирования паяльной пасты, клеев, герметиков Axiom X1010	1	До 10 000 доз в час	Возможно
4	Автомат трафаретной печати DEK HORIZON03iX	1	Время цикла нанесения паяльной пасты 12 с. Максимальный размер области печати 510×508 мм	Возможно
5	Конвекционная система пайки оплавлением ERSA Hotflow 2/14	1	Скорость конвейера 20–200 см/мин. Время пайки варьируется заданным температурным профилем от 5 до 7 мин	Возможно после доработки
6	Шкаф сухого хранения HSD-1106-01	2	Внутренний объем 1 160 л	Невозможно
7	Вакуумный сушильный шкаф Binder VDL115	1	Внутренний объем 115 л	Невозможно
8	Ремонтный центр с инфракрасным подогревом IR/PL 650A	1	В зависимости от профиля пайки от 7 до 15 мин цикл демонтажа или монтажа	Возможно после доработки
9	Высокопроизводительная система селективного нанесения влагозащитных покрытий SL-940E	1	Скорость нанесения материала 125–750 мм/с	Возможно после доработки
10	Станция Reball 03.1 для восстановления шариковых выводов	1	3–9 мин на корпус BGA	Невозможно
11	Установка струйной отмывки COMPACLEAN III	1	Типовой цикл отмывки от 20 до 35 мин при объеме камеры отмывки 500×500×500 мм	Возможно после доработки
12	Установка струйной отмывки SUPER SWASH	1	3 м ² в час для трафаретов и 2 м ² для печатных узлов	Невозможно
13	Устройство для подготовки паяльной пасты SPS-1	1	0,5 кг пасты за 10–12 мин	Невозможно
14	Установка лазерной маркировки AMADA ML-7320C	1	Скорость сканирования луча до 1 500 мм/с	Невозможно
15	Конвейерные системы, загрузчики/разгрузчики Nutek	9	-	Невозможно
16	Вакуумная система пайки в паровой фазе VAC645	1	Производительность в зависимости от профиля пайки 7–10 мин	Возможно

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Производительность	Подключение к локальной сети
Контрольно-измерительные приборы и установки				
17	Оптический инспекционный микроскоп VS8/S/1 LYNX-10	1	–	Невозможно
18	Система контроля рентгеновским излучением высокого разрешения MICROME X	1	–	Невозможно
19	Настольная система автоматической оптической инспекции Viscom S2088-II	1	Скорость инспекции до 20–40 см ² /с	Возможно
20	Измеритель температурных профилей RTP	1	–	Невозможно
21	Видеомикроскоп-эндоскоп Flexia	1	–	Невозможно

И, наконец, трудовые ресурсы. Сгруппируем сотрудников по их специализации:

- инженер-технолог – 2;
- инженер-конструктор – 5;
- техник-оператор – 3;
- монтажник – 3;
- оператор отдела технического контроля – 1.

Теперь установим границу и область автоматизации. В статье [1] мы отметили, что граница автоматизации – это перечень производственных процессов, подлежащих автоматизации, а область автоматизации – это перечень подразделений, выполняющих эти процессы, и логика их взаимодействия.

Для определения границы автоматизации составим перечень всех технологических операций, которые освоены на данный момент времени в автоматизируемом подразделении (табл.2). Определимся с нормами затрат труда персонала, машинного времени и расходовемых материалов; поскольку на предприятии внедрена автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП^{*}), отметим, какие технологические операции включены в ее систему учета.

* АСУТП (в англоязычной литературе – SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) – рассматривается как "нижний уровень", одна из важнейших подсистем MES. АСУТП представляет собой комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием. Выделяют управляющие, информационные и вспомогательные функции АСУТП, позволяющие регулировать отдельные технологические переменные процессов, вести программное управление группой оборудования, технологическими режимами или отдельными участками процессов, а также контролировать и измерять технологические параметры процессов [2].

В подразделении, которое взято для примера, на момент проведения аудита была вся необходимая КТД, и учетом АСУТП были охвачены все технологические операции – что и отразилось в таблице. Но в других случаях – в частности, при внедрении нового оборудования, – ситуация может быть иной, поэтому необходим контроль этих позиций в ходе аудита и, соответственно, их отображение в результирующей таблице.

Что касается области автоматизации, то перечень подразделений, участвующих в автоматизируемых процессах, не является важным по сути – ведь состав и наименования этих подразделений будут различаться от предприятия к предприятию. Существенно важна логика их взаимодействия, то есть точки генерации всех типов информации – КТД^{**}, сменных заданий, данных о работе оборудования и т.п. – и маршрутов ее движения между этими точками. Поэтому область автоматизации целесообразно отобразить в виде схемы рис.1. Внешняя пунктирная линия фактически соответствует границе автоматизации, так как охватывает производственные процессы, которые мы намерены автоматизировать.

Схема, подобная представленной на рис.1, позволяет систематизировать поиск "узких мест" в организации производства, информационном обеспечении всех его процессов. Одной из важнейших составляющих здесь является полнота и своевременность поступления конструкторской и технологической документации в производственное подразделение. Недостатки и ошибки в этой области значительно, порой критически сказываются на соблюдении плановых сроков, оптимальности использования оборудования и труда персонала, поддержании качества

** КТД – конструкторская и технологическая документация.

Таблица 2. Типовые технологические операции

№ операции	Технологическая операция	Наличие КТД	Наличие норм	Учет в АСУТП
001	Нанесение идентификационного номера на печатную плату AMADA ML-7320C	Есть	Нормирована	Есть
002	Монтаж штыревых разъемов	Есть	Нормирована	Есть
003	Нанесение герметика на микросхемы X1010	Есть	Нормирована	Есть
004	Нанесение паяльной пасты DEK (Bottom)	Есть	Нормирована	Есть
005	Нанесение паяльной пасты DEK (Top)	Есть	Нормирована	Есть
006	Нанесение паяльной пасты X1010 (Bottom)	Есть	Частично нормирована	Есть
007	Нанесение паяльной пасты X1010 (Top)	Есть	Частично нормирована	Есть
008	Разделение плат, обрезка краев (скрайб)	Есть	Нормирована	Есть
009	Обрезка краев (фреза)	Есть	Нормирована	Есть
010	Оплавление паяльной пасты ERSA	Есть	Частично нормирована	Есть
011	Оплавление паяльной пасты VAC645 (Bottom)	Есть	Частично нормирована	Есть
012	Оплавление паяльной пасты VAC645 (Top)	Есть	Частично нормирована	Есть
013	Поиск и устранение дефектов автоматизированного монтажа (Bottom)	Есть	Частично нормирована	Есть
014	Поиск и устранение дефектов автоматизированного монтажа (Top)	Есть	Частично нормирована	Есть
015	Ручная установка DIP/монтаж	Есть	Нормирована	Есть
016	Ручная установка DIP/сборка	Есть	Нормирована	Есть
017	Струйная отмывка SUPER SWASH	Есть	Нормирована	Есть
018	Струйная отмывка COMPACLEAN III	Есть	Нормирована	Есть
019	Контроль качества АОИ Viscom S2088-II	Есть	Частично нормирована	Есть
020	Контроль качества VS8/S/1 LYNX-10	Есть	Частично нормирована	Есть
021	Контроль качества MICROME X	Есть	Частично нормирована	Есть
022	Контроль качества Flexia	Есть	Частично нормирована	Есть
023	Реболлинг BGA на Reball 03.1	Есть	Нормирована	Есть
024	Реболлинг LTM на Reball 03.1	Есть	Нормирована	Есть
025	Установка BGA на IR/PL 650A	Есть	Нормирована	Есть
026	Установка LTM на IR/PL 650A	Есть	Нормирована	Есть
027	Установка микросхем на IR/PL 650A	Есть	Нормирована	Есть
028	Предохранение от лака	Есть	Нормирована	Есть
029	Снятие защиты от лака	Есть	Нормирована	Есть
030	Нанесение влагозащиты SL-940E	Есть	Частично нормирована	Есть

Таблица 2. Продолжение

№ операции	Технологическая операция	Наличие КТД	Наличие норм	Учет в АСУТП
031	Подготовка печатной платы к монтажу Binder VDL115	Есть	Нормирована	Есть
032	Сушка ПКИ Binder VDL115	Есть	Частично нормирована	Есть
033	Тест на паяемость	Есть	Нормирована	Есть
034	Установка ПКИ вакуумным пинцетом	Есть	Частично нормирована	Есть
035	Установка ПКИ FLX 2011 (Bottom)	Есть	Частично нормирована	Есть
036	Установка ПКИ FLX 2011 (Top)	Есть	Частично нормирована	Есть
037	Установка ПКИ SM482 (Bottom)	Есть	Частично нормирована	Есть
038	Установка ПКИ SM482 (Top)	Есть	Частично нормирована	Есть
039	Сушка ПКИ перед монтажом HSD-1106-01	Есть	Нормирована	Есть
040	Тест-разработка профиля пайки РТР	Есть	Нормирована	Есть
041	Контрольная ОТК	Есть	Частично нормирована	Есть

продукции и интегрально – на эффективности производства в целом.

Также следует отметить этап подготовки производства; проектируемая MES обязательно должна распространяться на него, в противном случае эффект от ее внедрения резко падает. Этот аспект особенно важен для многономенклатурных производств с широким диапазоном серийности продукции, в которых этап подготовки производства составляет значительную часть общих затрат труда и времени и к тому же не всегда поддается автоматизации по отработанным схемам.

Ниже, по опыту практического внедрения MES, приведены некоторые значимые проблемы, встречающиеся при анализе корректности поступающей в производство КТД, а также обусловленные трудностями снабженческого характера и особенностями пожеланий заказчика:

- отсутствие полного комплекта КД, в частности исходных файлов на печатные платы, и файлов для генерации программ для автоматов дозирования и установки компонентов;
- отсутствие либо неверное расположение и форма реперных знаков на печатных платах;
- отсутствие либо неверная ширина технологических полей;
- неверное расположение и несоответствующие размеры контактных площадок компонентов;
- отсутствие в КД указания об ориентации полярных компонентов;
- отсутствие в КД указания о наличии/отсутствии бессвинцовых компонентов и соответствующего оформления допустимых отклонений при замене

покрытий выводов. Данные требования являются определяющими при выборе профиля пайки;

- поставка компонентов не в заводской упаковке (россыпь или обрезки лент);
- необходимость сборки устройств на малоразмерных платах, при изготовлении которых не использовалось мультиплицирование.

Разумеется, приведенный перечень включает далеко не все затруднения, с которыми может столкнуться производитель при подготовке к запуску нового изделия. Имеющиеся проблемы такого рода должны быть выявлены при аудите производства, а в лучшем случае к ним следует добавить и те осложнения, которые можно предвидеть в будущих заказах. Далее, в рамках составления исходной документации на проектирование MES, должны быть определены и формализованы пути разрешения этих проблем, которые затем оформляются в виде разработки или доработки соответствующих нормативных документов предприятия, таких как СТП, технические указания и др.

В ходе аудита "узкие места" выявляются не только на различных направлениях подготовки и обеспечения, но и собственно в организации производственного процесса. К ним относятся, например:

- отсутствие полноценного контроля монтажа конкретного поверхностно-монтируемого изделия в части количества нагревов в ходе устранения дефектов, выявленных как на самом монтажном производстве, так и в ОТК. Как правило, производители в ТУ на компонент допускают

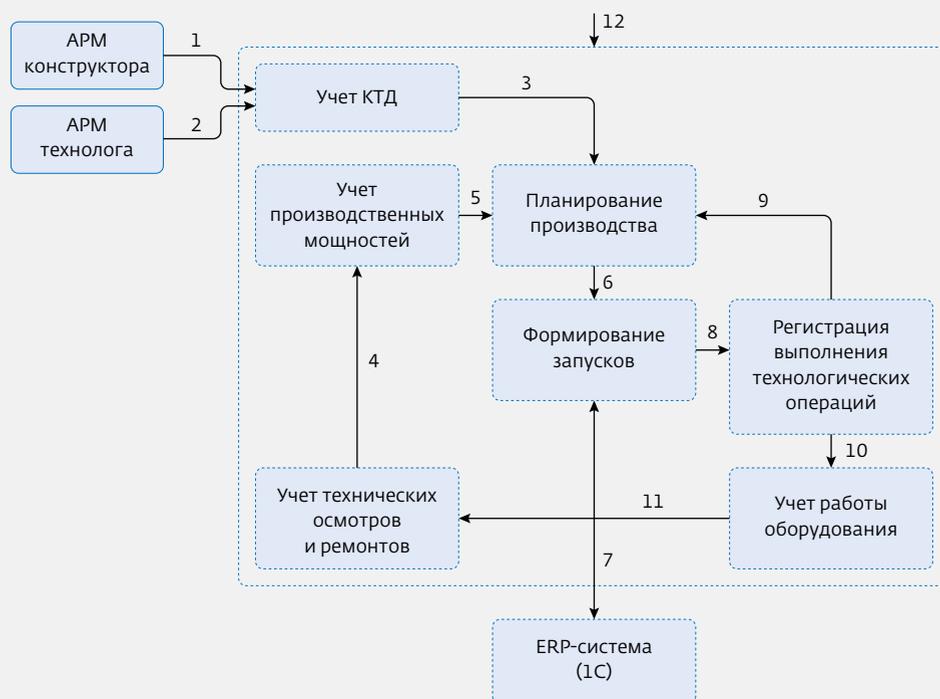


Рис.1. Область автоматизации как схема информационных взаимодействий функциональных подразделений ПКМ ПП. 1 – ведомость состава изделия, спецификации, извещения об изменениях в конструкторской документации; 2 – технологические маршруты, технологические операции, нормы расхода и трудоемкость, технологические параметры, извещения об изменениях в технологической документации; 3 – конструкторско-технологическая документация на производственный процесс; 4 – график технических осмотров и ремонтов оборудования и оснастки; 5 – доступные производственные мощности; 6 – график производственных процессов; 7 – наличие покупных, комплектующих изделий и материалов; 8 – сменные задания; 9 – данные о выполненных и невыполненных операциях; 10 – начало и окончание технологической операции; 11 – время работы, расход комплектующих и материалов; 12 – производственные задания и служебные записки

- не более трех нагревов; понятно, что без строгого учета возможно нарушение данного требования;
- отсутствие информации, на каком оборудовании, при каком температурном профиле и кем произведен монтаж. Такое упущение особенно характерно для производств, значительную долю заказов которых составляют опытные образцы изделий;
- отсутствие электронных версий маршрутных карт и паспортов на каждую сборочную единицу;
- отсутствие полного контроля движения детали (сборочной единицы) в процессе производства;
- несвоевременное поступление и обработка в производственном процессе извещений об изменениях в КТД;
- отсутствие актуальной информации о загрузке сотрудников;

- отсутствие актуальной информации о техническом состоянии оборудования и его загрузке.

После того как ревизия производства выполнена, наступает время подумать о том, что же мы хотим улучшить и какой мы хотим видеть систему управления производством – MES. Можно приступить к наиболее ответственной части проекта, а именно – к разработке регламента работы "как будет" с учетом "узких мест", выявленных на стадии аудита производственных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- Хомченко В.** Автоматизация управления производством: зачем нужна MES и как к ней подступиться // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 4. С. 158–160.
- Втюрин В. А.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП. – СПб.: ЛТУ, 2006. 124 с.