СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КЛАССА MES

И. РЕШЕТНИКОВ, руководитель российского MES-центра
М. ЧУДИЛОВСКИЙ, руководитель проектов MES, компания Bright Eye
А. БЕЛОВ, технический директор компании X-tensive

Из-за высокой конкуренции в комбикормовой отрасли компании-производители все чаще сталкиваются с необходимостью снижения производственных издержек, сокращения сроков выпуска и вывода новых продуктов на рынок. Современные стандарты в пищевой промышленности, равно как и в кормовой, предъявляют все более высокие требования к контролю качества продукции и пищевой безопасности.

Существуют различные подходы к решению подобных задач: модернизация технологических линий, повышение мотивации персонала, автоматизация процессов производства, развитие бережливого производства (Lean, 5S, Kaizen), целый комплекс различных информационных систем и методологий (MES, ERP, RCM, SCM, MRP, APS, TPM, TOC, PLM, PDM), др.

В последние годы появилось большое количество статей и маркетинговых материалов относительно современных систем управления производством. Что касается одного из типов систем автоматизации — MES (Manufacturing Execution System), то большинство публикаций содержит поверхностный обзор их преимуществ, функций и оценок эффективности. В статьях мало внимания уделено применимости функций MES к различным типам производств, а также целесообразности внедрения MES-систем. В данном обзоре мы разберемся с особенностями их внедрения на каждом из этапов производства комбикормов, а также проведем анализ факторов, определяющих успешность их внедрения.

ОДНО ИЗ РЕШЕНИЙ — MES

MES (системы управления производственными процессами) — специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства. MES-системы относятся к классу систем управления на уровне цеха, но могут использоваться и для интегрированного управления предприятием в целом.

MES-системы работают в нескольких функциональных областях производства: управление генеалогией и спецификациями продукции, планирование производства, диспетчеризация заказов, сбор и анализ производственной информации, управление качеством, трассировка маршрута производства. Другими словами, MES — это программное обеспечение, организующее обмен данными между разнородными системами предприятия (0—2 уровни — PLC, SCADA; 3 уровень — LIMS, WMS; 4 уровень — ERP, CRM, PLM).

РЕАЛИЗУЕМАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

Обычно функциональность MES ассоциируют с моделями, выпущенными ассоциацией MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) в 1997, 2004 и 2008 гг. Их описание можно найти без труда в открытых источниках. Фактически разработанные стандарты являются идеализированными. В реальном мире функции MES-систем нельзя четко сопоставить с описанием стандарта, так же как трудно найти MES-систему, которая реализует все функции стандарта в полной мере.

Внедрение системы управления производством для различных типов процессов (дискретный, рецептурный, непрерывный) имеет свою специфику, поэтому при разработке проекта MES необходимо учитывать особенности каждого из этих типов.

Процессы, протекающие на комбикормовом заводе, имеют признаки дискретного (упаковка), непрерывного (перемещение сырья в производстве, смешивание, гранулирование, другая термическая обработка) и рецептурного типов (дозирование). Этот факт обусловливает индивидуальный подход к внедрению MES на каждом этапе производства.

В целях лучшего восприятия мы предлагаем обзор функций MES исходя из этапов производства, а не формальных функций, описанных в стандарте.

Производственный цикл на комбикормовом заводе можно условно разделить на следующие этапы: приемка (отгрузка), входной контроль качества, размещение/хранение (WMS) сырья и продукции, разработка технологии, планирование производства, передача сырья в производство, дробление, дозирование, смешивание, гранулирование, промежуточный контроль качества, упаковка.

Рассмотрим, каким образом на каждом из этапов реализуется функциональность MES.

- **Приемка**

Собираемые данные: поставщик продукции, тип сырья и вес (количество), дата и время.

Выходная информация: задание на отбор проб.

Автоматизация процесса приемки заключается в сборе информации о принимаемом сырье (вес, тип, поставщик) посредством терминала ввода данных и весового оборудования в зоне приемки. Полученные значения используются для инициации входного контроля качества, служат входной информацией для системы управления складом (WMS), а также позволяют прослеживать движение сырья.

- **Входной контроль качества**

Собираемые данные: параметры проб, дата и время начала/завершения контроля.

Выходная информация: данные о качестве, задание на размещение продукции в складе.

В случае автоматизации процесса приемки на АРМ контроля качества поступают задания на отбор проб и лабораторный контроль. После окончания взвешивания автоматически создается новое задание на входной контроль качества. Причем система сама определяет необходимость, тип и количество проб для контроля качества на основании данных о сырье из базы данных продукции (PDM). На основании параметров тестов автоматически определяется качество продукта и принимается решение о приемке продукции на склад/возврате поставщику.

Таким же образом контроль качества может быть введен на любом этапе процесса. При этом основанием для контроля могут служить различные события: например, выпуск очередной партии продукта, выпуск *n*-ой упаковки/паллеты, периодический контроль качества по сроку хранения и т.д.

- **Размещение и хранение сырья**

Собираемые данные: факт перемещения, количество, тип сырья, зона-источник, целевая зона.

Выходная информация: данные о запасах и месте хранения сырья.

Зачастую управление процессами размещения и хранения сырья осуществляют специализированные системы управления складом WMS (Warehouse Management System). Иногда MES берет на себя часть их функций. Задача WMS — организация и контроль размещения сырья в складе в соответствии с принятой структурой. При тарном хранении (хранение на полу, на стеллажах) для автоматизации процессов размещения и потребления сырья используются мобильные терминалы со сканерами штрих-кода. Задания на перемещение тары отображаются на графической панели терминалов с информацией о зоне-источнике, типе продукта, количестве, целевой зоне. Работа оператора сводится к выполнению заданий на перемещение. Подтверждением операции служит сканирование штрих-кода на продукте и на целевом месте хранения. В случае хранения сыпучих/жидких продуктов (резервуары, силосы) производится интеграция с существующими системами управления силосов/резервуаров. В некоторых случаях целесообразно внедрение полностью автоматизированного склада по принципу «черный ящик».

Системы управления складом исключают проблемы долгого поиска продукции — в базе данных содержится информация о месте хранения и количестве каждого вида сырья; минимизируют ошибки размещения путем использования адресного хранения; сокращают время на логистические операции; позволяют сократить площадь склада за счет применения продвинутых методик организации склада (например, динамическое назначение мест).

- **Разработка технологии (генеалогия продукции)**

Собираемые данные: базовый рецепт (general recipe/site recipe см. ISA-88), спецификация продукта, стандарты качества, параметры этикетки и т.д.

Выходная информация: детальный рецепт (master recipe/control recipe см. ISA-88).

Каждый из производимых типов продуктов обладает индивидуальными характеристиками, такими как спецификация (перечень компонентов и пропорции), параметры качества, сроки годности, производственные маршруты, технология производства, допустимые места хранения, типы этикеток, параметры упаковки и т.д. (рис. 1). Зачастую один и тот же конечный продукт может быть произведен из различного набора сырья при альтернативных параметрах процесса. Для организации хранения информации о продукции необходимо наличие базы данных PDM (Product

Рис. 1. Пример описания данных на продукцию

data management), которая может поставляться как в виде отдельного программного решения PDM, так и в составе систем класса ERP и MES.

- **Оперативное планирование и диспетчеризация**

Собираемые данные: клиентские заказы.

Выходная информация: план производства (оборудование, объем выпуска, рецепт, плановая дата и время начала/окончания производства), статус выполнения заказа, фактические данные выпуска (фактическая дата и время начала/окончания производства, объем выпуска).

Оперативное планирование заключается в анализе заказов клиентов и последующем формировании производственного расписания для каждой единицы оборудования. Посредством диспетчеризации сменные задания передаются на рабочие места, а также отслеживается статус их выполнения (рис. 2). Заказы могут создаваться как на стороне MES, так и импортироваться из внешних систем планирования (APS, ERP).

Процесс планирования весьма требователен к исходным данным, таким как информация о производительности оборудования, маршрутные карты, спецификации продукции, текущие запасы сырья, информация о необходимости переналадок (например, при смене типа продукта). В случае отсутствия (недостоверности) этих данных снижается качество генерируемых расписаний.

Необходимо учитывать, что вероятность исполнения планов во многом зависит от человеческого фактора, ошибок ввода. Для снижения этой зависимости рекомендуется производить интеграцию системы планирования с АСУ ТП линии и системой подготовки технологий. Подобная связка существенно увеличивает эффект от внедрения.

Оперативное планирование позволяет прогнозировать сроки выполнения заказа на основании текущей загрузки и с учетом переналадок, отслеживать статус каждого клиентского заказа и связанных с ним производственных заказов. Система планирования позволяет сократить общее время выполнения заказа при объединении нескольких заданий в одно, а также посредством применения критериев оптимизации производственного расписания. Наличие планировщика существенно экономит время при необходимости корректировки производственного расписания. Система диспетчеризации позволяет контролировать выполнение заданий на оборудовании и оперативно вмешиваться в случае отклонения от плана.

- **Дозирование (рецептурный процесс), дробление, смешивание и гранулирование (непрерывный процесс)**

Собираемые данные: технологические параметры процесса.

Выходная информация: статистика работы линии, информационные и аварийные сообщения.

После утверждения готовое расписание передается на панель оператора линии в виде производственных заданий, где отображается вся информация о сырье, рецепте, плановом времени начала и окончания выполнения,

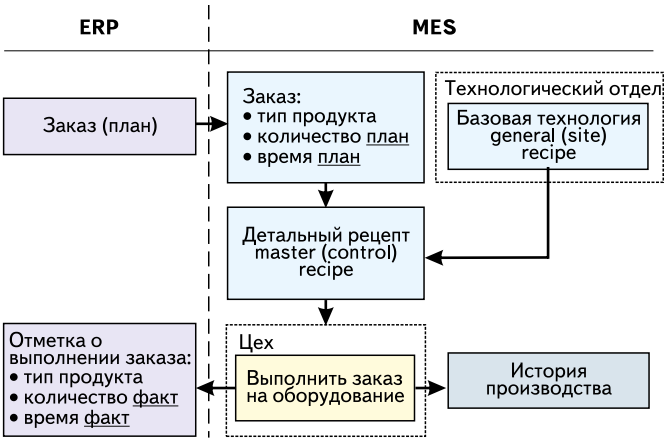

Рис. 2. Общий алгоритм выполнения заказа

актуальном статусе производственного заказа, а также о необходимых ручных действиях. В случае наличия связи с АСУ линии, базой рецептов и WMS-модулем оператор может запустить заказ на выполнение в автоматическом режиме без необходимости ручного ввода параметров. После запуска задания MES передает параметры процесса на АСУ ТП/ПЛК, соответствующие производимому продукту (в этом случае MES формирует control recipe). Такими параметрами являются: сигналы запуска оборудования, номера силосов (из WMS), количество дозируемых компонентов (рассчитывается на основании рецепта и производственного задания), обороты двигателя, размер гранул, температура пара и т.д. Перечень передаваемых параметров зависит от применяемой системы управления. Иногда рецепт передается в систему управления линией как есть, при этом выполнение рецепта контролируется АСУ ТП (в этом случае MES формирует master recipe).

По мере выполнения MES контролирует параметры процесса, выводит информацию о действиях, требующих подтверждения оператором. Параллельно производится запись истории работы оборудования и действий оператора для последующего анализа в случае отклонений по качеству/эффективности и расследования инцидентов. Напри-

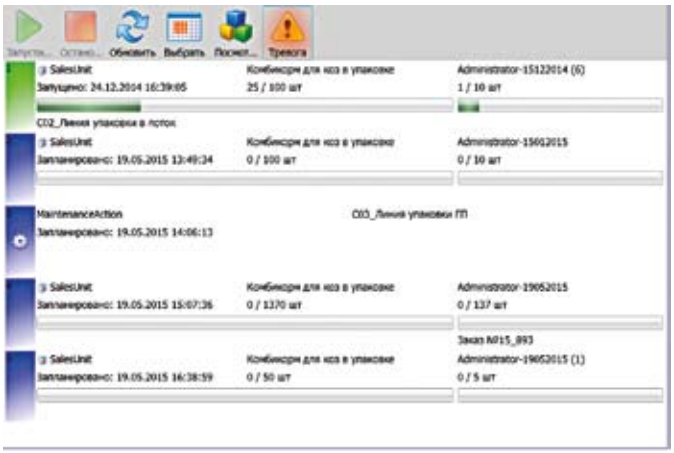

Рис. 3. Пример интерфейса оператора линии

мер, для пресс-гранулятора может быть сформирована статистика работы на основании графика производительности, температуры пара, тока двигателя (потребляемой мощности) и информации об остановах.

Рекомендуется тесная интеграция системы планирования заказов, системы разработки технологии и АСУ ТП линий посредством MES. В этом случае MES-решение исключает влияние человеческого фактора, упраздняет бумажный документооборот и сокращает сроки освоения новой продукции.

- **Упаковка (дискретный процесс)**

Собираемые данные: производственные параметры.

Выходная информация: печать этикетки, статистика работы линии, информационные и аварийные сообщения, задание на перемещение продукции в склад.

Порядок работы MES на линии упаковки во многом аналогичен линии дробления и гранулирования. Из особенностей можно выделить возможность интеграции с промышленными принтерами и аппликаторами этикеток. Причем для каждого типа продукта и типа упаковки [CU (consumer unit), SU (sales unit), TU (transportation unit)] будет сформирована индивидуальная этикетка, параметры которой (срок годности, дата производства, тип продукта, клиент, номер партии, состав продукта, производственная линия и т.д.) заполняются автоматически на основании информации о продукте, существующей в системе PDM (рисунки 3 и 4). Путь производства каждой партии прослеживается по штрих-коду на этикетке как по продукту (конечные клиенты, время отгрузки, общий объем партии и т.д.), так и по сырью (поставщик сырья, место хранения сырья, время запуска в производство, технологические параметры оборудования при производстве компонентов и т.д.).

Внедрение MES на этапе упаковки, помимо преимуществ электронного документооборота и автоматической загрузки технологии на оборудование, позволяет автоматизировать процесс печати этикеток и маркировки продукции без участия оператора.

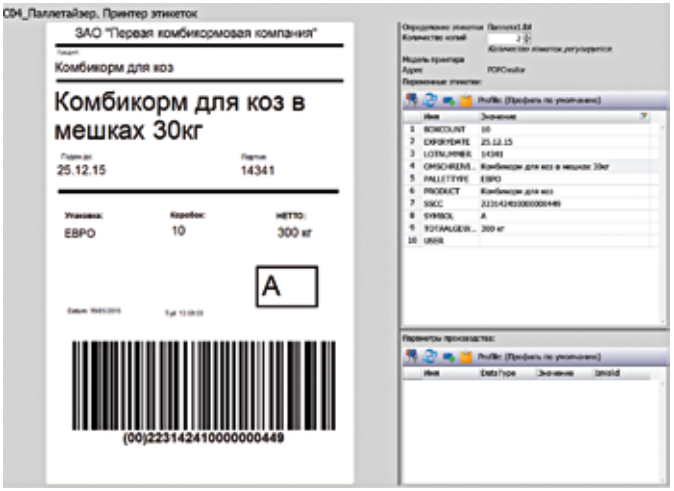

Рис. 4. Пример заполнения этикетки

- **Анализ данных (типы отчетов)**

Анализ данных в реальном времени (дашборды) — это отображение текущей производственной обстановки в виде трендов, графиков, статусов оборудования, информационных сообщений. Данный тип отчетов позволяет вывести для персонала информацию о текущем статусе производства, напоминание о важном событии, а также об отклонении процесса с целью оперативного устранения проблемы.

Анализ данных за определенный период (смена, неделя, месяц) предоставляет возможность анализа информации (объемы производства, OEE, анализ качества исполнения заказов, погрешности дозирования) за несколько периодов времени. Информация может быть представлена в табличном и графическом виде.

Трассировочные отчеты (прослеживаемость) — это особый вид отчетности, наиболее актуальный для пищевой промышленности, как впрочем и для комбикормовой. Позволяет проследить весь маршрут продукции — от поставщика сырья до конечного заказчика. Помимо сроков выработки, хранения, объемов, спецификаций, включаются технологические параметры производства каждой партии продукта: температура, давление, напряжение питания и др. Данный тип отчетов призван удовлетворить требования отраслевых стандартов и предлагает удобный инструмент для анализа инцидентов в производстве.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ MES-СИСТЕМ

Каждый из проектов MES затрагивает работу нескольких подразделений предприятия. Залог успешного внедрения — принятие во внимание интересов и особенностей работы всех отделов, включенных в работу системы. Хорошей практикой является предварительный аудит процессов с целью выявления узких мест. Подобный анализ проводится собственными силами либо с привлечением экспертов в области производственного/технологического консалтинга. По окончании работ крайне важно подготовить отчет о выявленных проблемах (узких местах) и возможных путях их решения. В некоторых случаях проблемы могут быть решены отдельными модулями (ТОиР, мониторинг оборудования, прослеживаемость по сырью/продукту) либо комплексом средств (АСУ ТП и MES; APS и MES). Иногда MES не является ответом на решение производственных проблем.

Тем не менее существуют признаки, которые повышают обоснованность внедрения MES: использование современного оборудования с открытыми программными интерфейсами, применение датчиков и систем измерений с низкой погрешностью, наличие достоверной информации о продукции (рецепты, спецификации, маршрутные карты) и др.

После комплексного аудита можно переходить к этапам по формированию ТЗ, запросу ТКП, выбору продукта и исполнителя работ.

СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ MES

Предлагаемые на рынке СНГ MES-системы сильно различаются между собой. У каждой свои особенности и область применения. Мы постарались провести анализ различных типов решений и связанных с ними рисков безотносительно конкретных производителей и продуктов.

Все решения на рынке условно можно разделить на четыре группы.

Платформы MES — программные решения от крупных производителей, которые предлагают обширную функциональность (часто помодульно). Их преимущества — возможность внедрения с минимальными доработками. Выбор подобных решений упрощает поддержку системы, обновление и изменение конфигурации в случае модернизации оборудования. Также применение платформ MES позволяет использовать лучшие практики производств, на которых продукт уже внедрен. Обычно такие продукты внедряются через сеть партнеров, поэтому необходимо внимательно подходить к выбору системного интегратора. Желательно заручиться поддержкой разработчика платформы или выбрать сертифицированного интегратора с опытом внедрений.

Коробочные решения — доступное по цене программное обеспечение, зачастую оно ориентировано на узкий круг задач (ТОиР/планирование/мониторинг оборудования). Эффективно в случае, когда заказчик нацелен на точечное решение проблем и не планирует развитие системы в ближайшем будущем. Ограниченные возможности интеграции и настройки под пользователя ограничивают потенциальный эффект от внедрения коробочных решений.

Индивидуальные решения — решения, основанные на разработке собственных IT-отдела и АСУ ТП либо с привлечением местной компании в области автоматизации. Иногда подобные решения развиваются в течение нескольких лет, но при этом имеют высокую эффективность, так как учитывают требования конечных пользователей. Слабое место — высокие требования к компетенции разработчиков и риск деградации системы после ухода специалистов из компании. Основное преимущество — низкая цена.

Собственные разработки компаний-интеграторов — это тип продуктов, который имеет признаки коробочных вариантов, программных платформ и собственных разработок. Как правило, внедряются компанией-разработчиком без привлечения интеграторов из-за необходимости доработок части модулей. В некоторых случаях продукт предлагает обширные функции, часть из которых требует высоких трудозатрат на настройку под пользователя. Этот тип решений позволяет сэкономить на стоимости лицензий, но при этом возникает риск покупки «сырого» продукта. Перед принятием решения о сотрудничестве рекомендуется запросить отзывы от предыдущих заказчиков и организовать референс-визит на одно из предприятий, где продукт уже внедрен.

Наиболее частыми причинами низкой эффективности внедрений MES-систем являются: отсутствие четких и обозримых целей проекта и контроль исполнения; отсутствие этапа анализа производства и этапа формирования детальных требований к системе (в итоге система лишь частично реализует потребности пользователей); низкий уровень автоматизации процессов (нет возможности провести интеграцию MES с нижним уровнем); низкая достоверность собираемых данных (погрешности датчиков, ошибки при постоянной необходимости ручного ввода); несоответствие внедренной функциональности реальным задачам производства (MES оптимизирует часть процесса, которая не оказывает влияния на эффективность производства); человеческий фактор (низкая заинтересованность руководства, сопротивление персонала внедрению MES, саботаж системы).

В качестве резюме можно отметить, что каждый проект MES — достаточно индивидуальный по функциям и кругу решаемых задач. Необходимость внедрения отдельных модулей определяется спецификой компании и целями конкретного производства. Иногда внедрение только части функций MES-системы является экономически обоснованным, поэтому при выборе объема внедрения MES рекомендуем исходить из задач бизнеса (производства) и конкретных решений, предлагаемых исполнителем. ■