

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ

Л.М. Яковис (СПбГПУ)

Рассмотрены особенности реализации, структура и примеры использования распределенных информационно-аналитических компьютерных систем технологического прослеживания (ИАСТП). Показано, что ИАСТП являются отдельным подклассом MES.

*Эта мысль — украденный цветок,
Просто рифма ей не повредит:
Человек совсем не одинок —
Кто-нибудь всегда за ним следит.
(И. Губерман)*

Что такое ИАСТП

Информационная интеграция на производстве, использующая в качестве инструмента компьютерные технологии, проходит непростой путь. "Сверху" создаются информационные структуры, отвечающие за работу предприятия в целом. Это автоматизация бухгалтерского учета, управление финансами и материально-техническим снабжением, организация документооборота. Подсистемы данного уровня образуют АСУ предприятия (АСУП) или в английской транскрипции ERP. "Снизу" информация от различных датчиков используется для непосредственного управления производственным процессом с помощью контроллеров и промышленных компьютеров. Это нижний уровень, на который замыкаются самые "короткие" контуры управления производством. Поток информации от датчиков поступает также на вход АРМ операторов ТП (SCADA-систем). На этом уровне АСУТП принимаются тактические решения, направленные, главным образом, на поддержание стабильности технологических показателей [1].

Необходимым связующим звеном задач АСУТП и АСУП выступает относительно новый класс средств управления производством — MES (Manufacturing Execution Systems), представляющий собой комплекс АРМ управленческого технического персонала от мастеров и начальников цехов до главного технолога и директора [2, 3]. На первых порах главной задачей при создании MES была организация быстрого и надежного обмена данными между отдельными АРМ, и эта задача повсеместно успешно решается с применением локальных вычислительных сетей. Однако оперативно получив данные различных участков производства, специалист должен порой потратить массу времени на их анализ, пытаясь понять, какое влияние оказали в прошлом или окажут в будущем те или иные показатели предшествующих стадий производства (вплоть до использованных сырьевых материалов) на те или иные показатели последующих стадий (вплоть до конкретных партий готовой продукции). Сложно приходится специалисту и в обратной ситуации, когда необходимо определить, на какие партии каких полупродуктов последующих стадий (вплоть до готовой продукции) оказали или окажут существенное влияние те или иные показатели конкретных предшествующих стадий производства (вплоть до определенных характеристик конкретных партий сырья).

Необходимость подобного прослеживания ТП уже давно осознана производственниками. Достаточ-

но сказать, что идентификация продукции и ее прослеживаемость входят в состав элементов качества, регламентированных международным стандартом ISO 9000 [4]. Данный стандарт, соответствие которому требуется для сертификации продукции, не регламентирует способ реализации прослеживания, однако для сколько-нибудь развитого производства с несколькими технологическими стадиями и большим числом возможных разветвлений материальных потоков "ручное" прослеживание, опирающееся на анализ сопровождающей производственные процессы бумажной документации (сменные сводки, протоколы, приемно-сдаточные рапорты различных участков), превращается в весьма сложную, а порой практически невыполнимую процедуру.

Перспективным выходом из этой ситуации является создание распределенных информационно-аналитических компьютерных систем технологического прослеживания, для обозначения которых будем в дальнейшем использовать аббревиатуру ИАСТП.

Для производств дискретного типа, например машиностроительных, связанных с длительным прохождением заказов по различным подразделениям, функции идентификации и прослеживания реализуются в рамках концепции системной поддержки так называемой CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life-cycle Support, то есть непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта). Здесь речь идет о возможности прослеживания состояния работ по отделам предприятия, и компьютерные программы типа PLM (Product Lifecycle Management) расширяют функции систем класса ERP.

В последние годы в связи с требованиями стандартов качества стали интенсивно разрабатываться системы, предназначенные для производств непрерывного типа и реализующие функции идентификации и прослеживания процессов преобразования сырья и материалов в готовую продукцию по всему технологическому циклу. Примыкая к системам оперативного управления ТП, они принадлежат классу MES, и именно о таких системах идет речь в данной статье.

Ввиду большого разнообразия ТП предназначенные для них ИАСТП весьма специфичны и скорее всего должны разрабатываться индивидуально для производств каждого типа. Вместе с тем, представляется полезным как для разработчиков, так и для заказчиков таких систем попытаться увидеть то общее, что их объединяет и позволяет выделить в отдельный подкласс MES.

Принципы технологического прослеживания для циклических процессов

В основу концепции технологического прослеживания может быть положена следующая достаточно общая схема. Процесс производства представляется в виде связанных материальными потоками различных по своему функциональному назначению ТП. Для реализации каждого ТП используется ряд предназначенных для этого однотипных агрегатов (или ряд однотипных групп агрегатов). Наиболее просто задачи идентификации и прослеживания формулируются и решаются для ТП с циклическим характером протекания. В этом случае каждый цикл любого ТП A может быть идентифицирован заданием трех показателей (идентификаторов): i – номер ТП, j – номер агрегата (или группы агрегатов), k – номер цикла.

В ходе каждого цикла $A_{i,j,k}$ любого ТП осуществляются операции загрузки ряда исходных материалов или материалов, полученных в результате обработки исходных материалов на предшествующих стадиях производства (полупродуктов), их обработки в ходе определенных технологических операций и выгрузки полученных в результате полупродуктов или готовой продукции. Любой порции каждого загружаемого полупродукта могут быть сопоставлены идентификаторы ТП-источника, для которого данный технологический цикл $A_{i,j,k}$ может рассматриваться как приемник.

Будем предполагать, что в каждом цикле полностью перерабатываются и выгружаются все загруженные в агрегаты материалы и что, кроме того, при получении каждого материала на выходе технологического цикла $A_{i,j,k}$, используется каждый материал, поступивший на его вход. Принятые допущения позволяют считать, что количественные и качественные показатели каждого из полупродуктов или готовой продукции, полученных в ходе проведения некоторого технологического цикла, полностью определяются количественными и качественными показателями всех входных материальных потоков лишь данного цикла (и, кроме того, режимными параметрами, установленными в данном цикле ТП).

Задача прослеживания "вперед" заключается в том, чтобы для любого заданного цикла $A_{i,j,k}$ (включая начальные операции, на входе которых исходные материалы) определить маршрут материальных потоков на его выходе вплоть до готовой продукции. Здесь, говоря о маршруте, будем иметь в виду упорядоченную совокупность идентификаторов таких технологических циклов, показатели выходных материальных потоков которых зависят от показателей выходных материальных потоков цикла $A_{i,j,k}$.

В предположении, что для рассматриваемого производства выполняются принятые выше допущения, определенный таким образом маршрут формируется в результате следующей рекурсивной процедуры.

1. Ищутся идентификаторы всех технологических циклов, для которых цикл $A_{i,j,k}$ является источником. Множество найденных при этом идентификаторов

*Производственные процессы
изменяются, поэтому за ними
все время приходится проследить*

Журнал "Автоматизация в промышленности"

$U_A^{(1)}$ определяет первый участок технологического маршрута. Графически его можно изобразить пучком отрезков, соединяющих точку $A_{i,j,k}$ с идентификаторами, образующими множество $U_A^{(1)}$.

2. Для каждого цикла $A_{i,j,k}^{(1)}$, идентификатор которого принадлежит множеству $U_A^{(1)}$, ищутся идентификаторы всех технологических циклов, для которых цикл $A_{i,j,k}^{(1)}$ является источником. Множество найденных при этом идентификаторов $U_A^{(2)}$ определяет второй участок технологического маршрута. Он может быть схематично изображен пучками отрезков, проведенных из каждой точки множества $U_A^{(1)}$ в соответствующие точки множества $U_A^{(2)}$ и т.д. Таким образом, постепенно строится "дерево" маршрутов материальных потоков, "ветви" которого расходятся из исходной точки $A_{i,j,k}$.

3. Процедура останавливается на m -м шаге, если не удастся найти ни одного идентификатора, для которого хотя бы один элемент множества $U_A^{(m)}$ является источником.

Задача прослеживания "назад" заключается в том, чтобы для любого заданного цикла $A_{i,j,k}$ (включая финишные операции, на выходе которых получают готовую продукцию) определить маршрут материальных потоков на его входе вплоть до исходных материалов. Здесь, говоря о маршруте, будем иметь в виду упорядоченную совокупность идентификаторов таких технологических циклов, показатели выходных материальных потоков которых влияют на показатели выходных материальных потоков цикла $A_{i,j,k}$.

В предположении, что для рассматриваемого производства выполняются принятые выше допущения, определенный таким образом маршрут формируется в результате аналогичной рекурсивной процедуры, которая получается из приведенной выше заменой слова "источник" на слово "приемник".

Принципы технологического прослеживания для стационарных процессов

Значительный по объему класс непрерывных производств, связанных с переработкой материальных потоков, характеризуется стационарным (нециклическим) характером применяемых ТП, когда загрузка материалов в перерабатывающие агрегаты или буферные емкости происходит одновременно с их обработкой (измельчение, смешивание, термообработка, обогащение и т.д.) и выгрузкой полупродукта или готовой продукции (работа в проходном режиме). Решение задач прослеживания для таких производств усложняется, так как сталкивается с необходимостью построения динамических моделей ТП.

Пусть, например, речь идет о работающем "на

проход" идеальном смесителе, на вход которого поступает материальный поток, характеризуемый вектором изменяющихся во времени показателей $\alpha_{ax}(t)$. Тогда при работе в стационарном режиме с постоянной производительностью изменения показателей выходного материального потока в зависимости от вариаций тех же показателей входного потока задаются динамической моделью инерционного звена первого порядка

$$\alpha_{вых}(t) = \frac{1}{T} \int_0^t e^{-\frac{\theta}{T}} \alpha_{ax}(t-\theta) d\theta.$$

Из формулы следует, что свойства выходного потока в момент t зависят от свойств входного потока во все предшествующие моменты времени, и если, например, значение $\alpha_{вых}(t)$ вышло за допустимые границы из-за "плохого поведения" показателя $\alpha_{ax}(t-\theta)$ в предшествующий период, то, казалось бы, не представляется возможным локализовать временной интервал для поиска "ответственных" за это нарушение. На практике, однако, это может быть не так. Действительно, поскольку весовая функция $\exp\{-\theta/T\}$ под интегралом к моменту $\theta = 3T$ практически убывает до нуля, то локализация "ответственности" может ограничиться конечным (а при относительно малой длительности заполнения смесителя T достаточно малым) интервалом $\theta \in [0, 3T]$, что и означает в данном случае практическую возможность прослеживания.

С позиций прослеживания более предпочтительны технологические операции, описываемые динамической моделью "чистого" запаздывания $\alpha_{вых}(t) = \alpha_{ax}(t-\tau)$, поскольку здесь за показатели материального потока на выходе в момент t "отвечают" показатели входного потока в строго определенный момент $(t-\tau)$. Такие модели характерны для описания перемещения материалов по различного рода транспортерам, а также распределенным в пространстве агрегатам типа шаровых мельниц или вращающихся печей.

В более общем случае модели непрерывных ТП формируются в виде различных соединений (последовательных, параллельных, с байпасом, т.е. с возвратными потоками) инерционных звеньев и звеньев "чистого" запаздывания и, определив их весовую функцию в интеграле свертки рассмотренного ранее типа, можно так же, как это было сделано выше, оценить реальную глубину динамической памяти эквивалентного динамического объекта, а затем на этой основе строить алгоритмы прослеживания.

Учет динамики при непрерывных преобразованиях материальных потоков может упрощаться благодаря тому, что в задачах прослеживания нередко интересуют не мгновенные, а среднесменные или среднесуточные значения показателей, характеризующих свойства материалов. Чтобы пояснить сказанное, вновь рассмотрим модели идеального смешивания и идеального вытеснения, причем нас будет интересовать связь между собой усредненных на интервале R показателей

$$\bar{\alpha}_{вых}(t) = \frac{1}{R} \int_{t-R}^t \alpha_{вых}(\theta) d\theta \quad \text{и} \quad \bar{\alpha}_{ax}(t) = \frac{1}{R} \int_{t-R}^t \alpha_{ax}(\theta) d\theta.$$

Тогда, формируя алгоритмы прослеживания при выполнении типичных соотношений $T \ll R$ и $\tau \ll R$, с достаточной точностью можно полагать, что $\bar{\alpha}_{вых}(t) = \bar{\alpha}_{ax}(t)$.

Сложности более принципиального характера возникают в ходе решения задач технологического прослеживания при наличии на производстве буферных емкостей с неупорядоченным хранением материалов. В качестве примера можно привести цементное производство. Оно представляет собой последовательность непрерывных ТП добычи сырья в карьерах, приготовления сырьевой смеси с одновременным измельчением сырьевых компонентов, обжига продукта смешивания и помола, полученного при обжиге клинкера совместно с добавками. Между перечисленными технологическими участками находятся большие буферные емкости, причем на многих отечественных заводах сырьевые и клинкерные склады являются звеньями с неупорядоченным хранением материалов. Именно это обстоятельство крайне затрудняет организацию технологического прослеживания материальных потоков от сырья к готовой продукции. Данный пример говорит о том, что прежде, чем браться за разработку ИАСТП, необходимо тщательно изучить принципиальную осуществимость прослеживания, и если таковая отсутствует, следует предварительно провести соответствующую модификацию технологии. Так, в приведенном примере следует рассмотреть возможность установки в качестве буферных емкостей усреднительных складов сырья и клинкерных силосов. Использование для описания работы усреднительных складов моделей, близких к моделям смесителей, а для описания динамики материалов в клинкерных силосах — моделей вытеснения [5] может сделать осмысленной разработку ИАСТП для предприятий цементной промышленности.

Структура ИАСТП

В соответствии с главным назначением системы технологического прослеживания ее основными составляющими являются:

- БД с идентификационными показателями всех технологических циклов каждой стадии производственного процесса, содержащая, кроме того, идентификационные показатели их источников;
- программы, реализующие алгоритмы прослеживания "вперед" и "назад" для любого технологического цикла каждой стадии производственного процесса;
- пользовательский интерфейс, обеспечивающий наиболее наглядное представление "дерева" маршрутов материальных потоков.

Ясно, что для эффективного прослеживания, в ходе которого обычно необходимо выявлять причины тех или иных нарушений технологии, требуется, чтобы по команде пользователя ему предоставлялся максимум информации о характеристиках каждого интересующего цикла, являющегося "узлом" сформированного "дерева". Для этого должны быть разработа-

ны соответствующие программные средства. Их назначение состоит в том, чтобы находить в БД имеющихся на производстве автоматизированных систем технологического контроля необходимую информацию и в удобном виде (таблицы, графики, сводки) предоставлять ее пользователям ИАСТП.

Важной "начинкой" систем прослеживания должны служить формируемые автоматизированным путем отчетные сводки, предоставляющие пользователям разнообразную аналитическую информацию о ТП. Например, с помощью статистической обработки данных сквозного прослеживания можно ранжировать поставщиков исходных материалов по качеству получаемой из этих материалов продукции. Другой пример — отчет, который для заданной партии готовой продукции содержит сведения обо всех имеющих отношение к данной партии нарушениях технологических нормативов на разных стадиях производства.

Поскольку ИАСТП являются многопользовательскими системами, предназначенными для производителей разных подразделений и разного уровня ответственности, серьезное внимание при разработке таких систем должно уделяться программным средствам разграничения доступа к данным для разных групп пользователей.

Опыт разработки ИАСТП

Типичным примером рассмотренной общей схемы является процесс пивоварения. Он представляет собой последовательность ТП варки, брожения и фильтрации. Поскольку все указанные процессы носят циклический характер, т. е. происходят в заполняемых и полностью опорожняемых емкостях, и протекают в жидкой среде, где имеет место практически идеальная гомогенизация, то выполняются принятые допущения, позволяющие реализовать рассмотренные алгоритмы прослеживания как в прямом, так и в обратном направлениях. Особая актуальность автоматизированного решения задач идентификации и прослеживания ТП определяется тем, что для крупных пивоваренных предприятий число емкостей, где выполняются основные технологические операции и куда разветвляются материальные потоки, составляет десятки или даже сотни единиц.

В ИАСТП пивоварения на соответствующих рабочих местах технологами-операторами вводятся те данные о ходе ТП, которые в "досистемный период" заносились ими же в бумажные журналы.

Леонид Моисеевич Яковис — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.
Контактные телефоны: (812) 759-71-21, (812) 950-49-39. E-mail: leonid@yakovis.com

Компании Connexion by Boeing и Intel объединяют усилия для развертывания точек беспроводного доступа... в небе

Представители корпорации Intel и компании Connexion by Boeing, являющейся подразделением компании Boeing (NYSE:BA), объявили о заключении соглашения, направленного на совершенствование и популяризацию сервиса высокоскоростного доступа в Internet во время полетов. В рамках соглашения компании успешно выполнили тестирование

Что касается структуры и состава БД системы, то она строится по общей схеме и для каждого участка технологической линии характеризуется однотипными по смыслу параметрами, а именно:

- идентификационные параметры агрегата, а также дата и время занесения данных, т.е. информация, однозначно отвечающая на вопросы: *где и когда* производилась соответствующая технологическая операция на данном участке;
- наименование и количество сырья или полуфабрикатов, поступивших с предыдущего участка производства или от внешних поставщиков, т.е. данные, однозначно отвечающие на вопросы: *что и сколько* применительно к входным материальным потокам;
- характеристики маршрута материальных потоков, поступивших с предыдущего участка производства или от внешних поставщиков, т.е. идентификаторы предшествующих технологических операций, однозначно отвечающие на вопрос: *откуда* на данный участок поступили те или иные сырьевые и вспомогательные материалы, а также полуфабрикаты;
- фактические и нормативные показатели соответствующей технологической операции, контролируемые персоналом данного участка, т.е. данные, отвечающие на вопрос: *как* протекал ТП (сюда включаются данные лабораторного контроля показателей, автоматически запрашиваемые из БД системы "Лаборатория").

ИАСТП рассмотренного типа внедрены и успешно функционируют в течение нескольких лет на всех пяти заводах крупнейшей пивоваренной компании Балтика и на С.-Петербургском пивоваренном комбинате им. Степана Разина.

Список литературы

1. Дороганич С.К., Штенгель Э.Г., Яковис Л.М. Интегрированное управление цементным производством // Цемент и его применение. 1997. Ноябрь — декабрь.
2. Картавых Т. Первый Российский Форум по системам оперативного управления производством (MES): итоги и перспективы // Мир компьютерной автоматизации. 2004. № 4.
3. Зайцев А. Новый уровень интеграции систем управления производством // Современные технологии автоматизации. 1997. №1.
4. Гайфуллин Б., Обухов И. Современные системы управления предприятием // Компьютер пресс. 2001. №9.
5. Яковис Л.М. Многокомпонентные смеси для строительства. Расчетные методы оптимизации состава // Л., Стройиздат. 1988.

совместимости этого сервиса с популярными конфигурациями ноутбуков на базе технологии Intel® Centrino™ для мобильных ПК, что сделало сервис Connexion by BoeingSM первым сервисом доступа в Internet во время полетов, протестированным в соответствии с условиями программы Wireless Verification Program корпорации Intel.

[Http://www.intel.com](http://www.intel.com)