

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ НПЗ

В.И. Кувыкин, М.Ю. Петухов (ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез»)

Рассмотрены основные принципы построения моделей бизнес-процессов в системах планирования и учета для нефтеперерабатывающих предприятий. Показана необходимость внедрения единой (базовой) модели предприятия на всех уровнях автоматизации бизнес-процессов для их эффективной интеграции в единое информационное пространство. Предложены методы оптимизации базовой модели предприятия.

Ключевые слова: автоматизация в промышленности, ERP, APS, MES, нефтепереработка, интегрированные системы управления, управление знаниями.

Введение

В настоящее время значительное внимание уделяется автоматизации производственных и экономических процессов в нефтеперерабатывающей промышленности [1–3]. При этом на передовых российских нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) задача автоматизации сводится не к использованию определенного набора средств автоматизации, а решается путем внедрения интегрированных систем планирования и управления производством. Такой подход позволяет улучшить экономику производства благодаря оперативному формированию достоверной информации о состоянии дел на предприятии, а также обеспечению синхронизации и прозрачности бизнес-процессов на НПЗ [1].

При этом не уделяется должного внимания к проблемам повышения эффективности работы интеграции с точки зрения оптимизации взаимодействия ее элементов. Соответствующие предложения по повышению эффективности интегрирования в основном ограничиваются рекомендациями по правильному выбору генерального поставщика автоматизации и по оптимизации информационных потоков НПЗ [2].

Целью настоящей работы является исследование основных принципов оптимального построения моделей бизнес-процессов планирования и учета на НПЗ для их эффективного интегрирования в единое информационное пространство.

Объединение и взаимодействие систем класса ERP, APS, MES на основе единой (базовой) модели

Для объединения основных бизнес-функций предприятия (планирование, производство, снабжение, сбыт, управленческий учет) широко используются ERP-системы. В то же время архитектура самих

ERP-решений, ориентированная на транзакционную работу на базе СУБД, не рассчитана на большие объемы вычислений для решения задач оптимизации [3]. Поэтому отдельные функции операционного блока зачастую выносятся в специализированные программные продукты и фигурируют как выделенные классы прикладного ПО. К ним относят APS-системы, предназначенные для оперативного производственного планирования, и MES, используемые для задач синхронизации, координации и оптимизации выпуска продукции.

Функционирование систем ERP, APS, MES опирается на заложенные в них математические модели. Эффективность работы этих систем во многом обусловлена качеством соответствующих моделей. В этой связи представляется два предельных случая (способа) построения моделей взаимодействия этих систем.

Первый способ заключается в формировании для каждого бизнес-процесса отдельной модели с необходимостью для его описания детализацией. Для обеспечения взаимодействия между системами разрабатывается дополнительное ПО. Одним из главных недостатков такого подхода является сложность поддержки обмена информацией между системами ввиду наличия значительного числа связей между моделями. Кроме того, ввиду разной структуры моделей в различных системах (ERP, APS, MES) пользователю сложно работать в нескольких из них, поскольку каждая имеет собственную структуру построения.

Альтернативный подход к моделированию бизнес-процессов предприятия в системах ERP, APS, MES предполагает концепцию построения моделей таких систем на основе единой модели, которую назовем базовой. Главным преимуществом такого подхода является существенное упрощение

интеграции различных систем в единое информационное пространство в связи с устранением дополнительных программных компонентов для обмена информацией и поиска соответствий для одинаковых элементов в различных системах. Одновременная работа специалиста в нескольких системах значительно упрощается, поскольку модель всюду одинаковая.

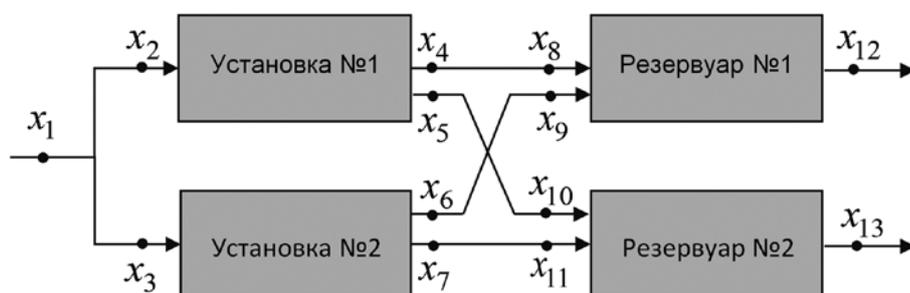


Рис. 1. Упрощенная модель движения материальных потоков на НПЗ с двумя установками и двумя резервуарами

Рассмотрим использование единой (базовой) модели на примере моделирования двух различных бизнес-процессов предприятия: производственного планирования и сведения (согласования) материального баланса движения нефти и нефтепродуктов. Для этого без ограничения общности предположим упрощенное движение материальных потоков НПЗ (рис. 1) в виде двух установок и двух смещений нефтепродуктов в резервуарах. Производственное планирование на предприятии осуществляется с использованием систем оптимального планирования, таких как RPMS (фирма Honeywell) или PIMS (фирма AspenTech). Данные системы относятся к классу APS и основаны на методах линейного программирования. Критерием оптимизации является максимизация маржинальной прибыли. Задача оптимизации для модели НПЗ, изображенной на рис. 1, запишется следующим образом:

$$L' = c_{12}x_{12} + c_{13}x_{13} \rightarrow \max \quad (1)$$

с ограничениями вида:

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 - x_3 &= 0, & x_2 - x_4 - x_5 &= 0, & x_3 - x_6 - x_7 &= 0, \\ x_4 - x_8 &= 0, & x_5 - x_{10} &= 0, & x_6 - x_9 &= 0, & x_7 - x_{11} &= 0, \\ x_8 + x_9 - x_{12} &= 0, & x_{10} + x_{11} - x_{13} &= 0, & x_1, x_2, \dots, x_{13} &\geq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь L' – целевая функция, x_i – планируемые величины потоков (товар, компоненты, полуфабрикаты), c_{12} и c_{13} – цены товарной продукции x_{12} и x_{13} соответственно. Нетрудно видеть, что система линейных алгебраических уравнений (2) фактически отражает закон сохранения массы.

Помимо балансовых уравнений (2) матрица ограничений задачи оптимального производственного планирования может иметь более сложную структуру, что во многом обусловлено существованием дополнительных ограничений на качество товарной продукции (по ГОСТ, ТУ, СТО), например:

$$\lambda_8 x_8 + \lambda_9 x_9 \leq \lambda_{12} x_{12}, \quad (3)$$

где λ_i – значения показателя качества потока x_i . При планировании также учитываются ограничения на объемы поставок сырья и продаж товарной продукции, например:

$$x_{12} + x_{13} \leq b, \quad (4)$$

где b – ограничения на продажи.

Для согласования данных по материальным потокам и сведения материального баланса предприятия используются специализированные программы, такие как Production Balance (фирма Honeywell), Sigmafine (фирма OSIsoft) и др. Постановка задачи согласования данных обычно формализуется в виде задачи минимизации квадратичной функции. Для модели, приведенной на рис. 1, целевая функция задачи согласования данных запишется в виде:

$$L'' = \sum_{i=1}^{13} k_i \left(\frac{y_i - \tilde{y}_i}{\tilde{y}_i} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Здесь \tilde{y}_i – измеренные, а y_i – рассчитываемые (согласованные) значения потоков отображенных на рис. 1, k_i – экспертные весовые коэффициенты.

Нетрудно видеть, что, во-первых, x_i – является плановым значением, а y_i – фактическим (согласованным) значением одного и того же потока, во-вторых, при нахождении минимума целевой функции L'' необходимо воспользоваться ограничениями, аналогичными (2), с учетом замены x_i на y_i . То есть задачи оптимального производственного планирования и сведения (согласования) материального баланса обладают принципиально различными целевыми функциями, но имеют общую модель потоков, которая характеризуется системой линейных уравнений (2). Такую модель назовем базовой.

В то же время в задаче оптимального производственного планирования (1) – (4), кроме (2), участвуют и другие ограничения на область допустимых значений x_i , представленными неравенствами (3), (4). Однако данные ограничения не вносят возмущений в базовую модель материальных потоков предприятия (2) и являются лишь детализацией модели в конкретной системе (в данном случае в системе оптимального производственного планирования). Поэтому использование дополнительных ограничений вида (3), (4) не усложняют базовую модель материальных потоков и не влияют на обмен данными между двумя системами. Аналогично возможны дополнительные усложнения модели учета и сведения баланса. Тем не менее, основа моделей этих систем, которую здесь называем базовой моделью и с помощью которой происходит интегрирование и взаимодействие систем, остается единой.

Таким образом, базовая модель является подмножеством моделей, используемых системами, и математически выражает закон сохранения массы. Сопровождение базовой модели обеспечивает синхронность ее изменения на всех уровнях.

Оптимизация базовой модели предприятия

Выше показан механизм формирования базовой модели, на основе которой происходит интеграция и взаимодействие различных систем НПЗ. При этом, если необходимость привязки модели к материальным потокам не вызывает сомнений, то оптимальная степень детализации такой модели неочевидна. Число материальных потоков нефтеперерабатывающего завода достигает нескольких сотен. Более того, через один и тот же участок движения нефти или нефтепродуктов могут последовательно поступать различные виды сырья или продукции. Проиллюстрируем на простом примере (рис. 2). Предположим, что установка гидроочистки дизельных топлив может в течение некоторого интервала времени вырабатывать различные виды продукции (например, дизтопливо № 1 и № 2). Данные виды дизельного топлива проходят по одним и тем же схемам установки и учитываются на одних и тех же приборах, однако для отгрузки направляются в различные резервуары. Количество

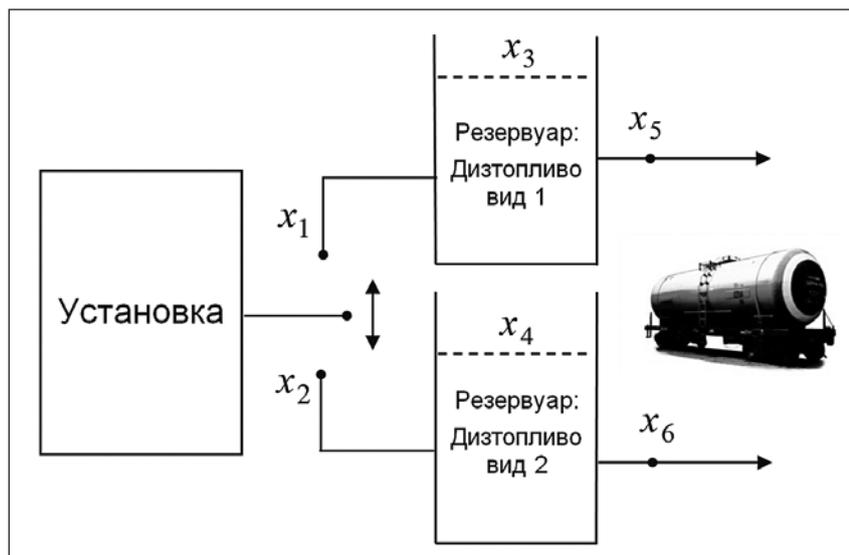


Рис. 2. Пример построения модели учета при последовательной выработке на установке двух видов продукции

таких смен режимов работы или изменений направлений (переключений) потоков в целом по предприятию даже за сутки может быть велико, что существенно затрудняет учет. В работе [4] отмеченную проблему предлагается решать учетом в информационной модели предприятия всех переключений потоков, что, несомненно, приводит к большому объему ручного ввода данных и к усложнению информационной модели предприятия.

С точки зрения программирования такая модель выглядит в виде множества условных переходов, что делает ее весьма запутанной. Увеличение переключений в информационной модели предприятия приводит к такой ее структуре, которая в программировании обозначается термином «спагетти-код», что означает ее слабую структурированность и сложность для сопровождения. Один из основателей структурного программирования Э. Дейкстра отстаивал необходимость формального математического доказательства выбранного алгоритма и реализации в виде наиболее простой структурированной программы [5]. Именно такой альтернативный путь предлагается и в данной работе. Предлагаемый подход основан на принципе оптимального размещения средств измерений для однозначного сведения материального баланса [6] и минимизации «переключений» направлений потоков. Например, нетрудно показать, что в схеме, изображенной на рис. 1 для однозначного определения значений всех материальных потоков x_1, x_2, \dots, x_{13} достаточно измерить лишь четыре из них — x_4, x_5, x_6, x_7 ; недостающие данные легко получить из соотношений (2). Естественно, несмотря на достаточность четырех измерений на рис. 1, наличие дополнительных приборов безусловно повышает статистическую достоверность определения величин потоков. Действительно, например, при наличии лишь четырех измерений x_4, x_5, x_6, x_7 и в случае неисправности (поломки) одного из приборов согласо-

вание материального баланса по схеме, изображенной на рис. 1 становится невозможным. Напротив, при наличии измерений всех потоков x_1, x_2, \dots, x_{13} и выхода из строя одного из приборов надежность и качество сведения материального баланса остается высоким. Однако установка приборов не всегда является оправданной, поскольку является достаточно затратной в экономическом плане. Более подробное математическое обоснование достаточного размещения средств измерений рассмотрено в работе [6].

Важным преимуществом исключения (минимизации) ручного ввода информации (переключений) в модель предприятия вызвано тем, что регулярное внесение изменений, например, диспетчерской службой,

будет приводить к ошибкам информационной модели (вследствие неизбежных ошибок ввода). Поскольку ручной объем переключений достаточно большой [4], то и вероятность таких ошибок является значительной. Причем уже одна ошибка ввода способна существенно исказить реальный материальный баланс предприятия. В связи с этим может существенно снижаться надежность и степень доверия к согласованным данным. Рассмотрим простой пример.

Предположим, что в течение суток на установке выработывалось только дизельное топливо вида 1 (рис. 2) в объеме $x_1 = V \neq 0$ ($x_2 = 0$). В то же время при вводе информации о направлениях потоков в информационную модель предприятия весь объем дизельного топлива, выработанный на установке, ошибочно указан в резервуар с дизельным топливом вида 2. То есть $x_2 = V \neq 0$, для потока x_1 указано нулевое значение для $x_1 = 0$. Следствием операционистской ошибки будет являться тот факт, что программа выдаст либо неправильное решение, либо оно будет отсутствовать вовсе. Найти же ошибку в реальной модели НПЗ, которая вследствие значительного числа переключений обладает слабой структурированностью, достаточно сложно.

В то же время отказ от использования диспетчерского (ручного) переключения направления потоков в рассматриваемом примере позволяет программе согласования материального баланса автоматически определить объем и вид дизельного топлива, которое выработывалось на установке за отчетный период. Действительно, с учетом данных по отгрузке товарной продукции (x_5, x_6), которая всегда является измеряемой величиной, и изменением остатков в резервуарах (x_3, x_4), которые на НПЗ также являются измеряемыми величинами, нетрудно определить объемы различных компонентов товарной продукции, вырабатываемых установкой за исследуемый интервал времени: $x_1 = x_5 - x_3$, $x_2 = x_6 - x_4$. Таким образом, в рассмотренном

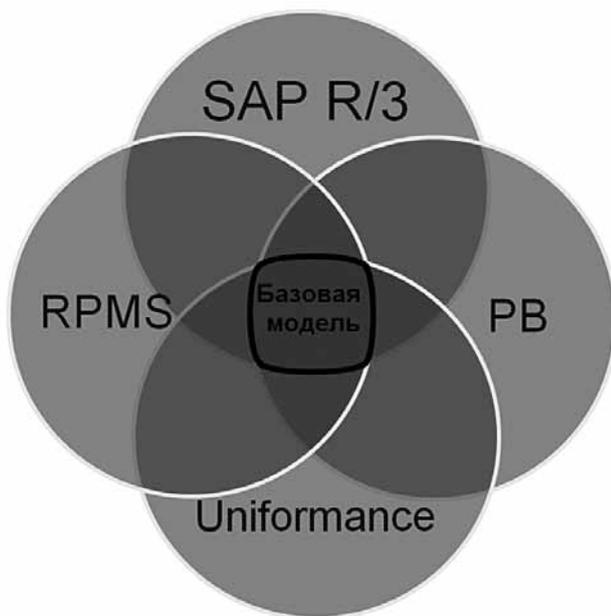


Рис. 3. Диаграмма Эйлера для систем производственного планирования и учета на ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

примере система сведения материального баланса автоматически определяет не только величины технологических потоков, но и их тип (качество).

Естественно, что модель реального НПЗ сложнее примера, приведенного на рис. 2. В то же время, как показывает практика, система согласования материального баланса позволяет с высокой степенью точности определять величины и вид технологических потоков. Дополнительная диспетчеризация необходима лишь в исключительных случаях, к которым, прежде всего, можно отнести недостаток измерений.

Заключение

Рассмотрены принципы построения моделей бизнес-процессов нефтеперерабатывающего предприятия в системах планирования и учета. Показано, что построение моделей в системах ERP, APS и MES на базе универсальной (базовой) модели НПЗ значительно упрощает взаимодействие и интеграцию этих систем в единое информационное пространство. Базовая модель является подмножеством моделей используемых системами и математически выражает закон сохранения массы в непрерывном производстве. Сопровождение базовой модели обеспечивает синхронность ее изменения на всех уровнях.

Предложены способы оптимизации базовой модели предприятия. Показана необходимость миними-

зации диспетчеризации по направлениям («переключениям») материальных внутризаводских потоков в модели предприятия для улучшения ее структуры и снижения ошибок модели (вследствие неизбежных ошибок ввода).

Методы и подходы, описанные в работе, были применены на ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» при интегрировании систем планирования, материального баланса и отчетности. В качестве ERP-системы предприятие использует систему SAP R/3 (фирма SAP); оперативное производственное планирование (APS уровень) осуществляется с помощью ПО RPMS (фирма Honeywell); для сбора информации с PCY используется БД PB Uniformance PND (фирма Honeywell); для согласования фактических данных – Production Balance (фирма Honeywell), а также некоторые другие системы. Обозначим множество переменных и параметров данных систем в виде кругов Эйлера (рис. 3). Пересечение данных множеств определяет множество базовой модели, на основе которой осуществляется взаимодействие этих систем.

Необходимо отметить, что в современном менеджменте все большую роль играет проблема передачи знаний. В этой связи использование единой модели способствует быстрой передаче знаний среди персонала. Специалисты могут достаточно легко освоить и работать в системах планирования и учета предприятия, поскольку эти системы используют одинаковые модели.

Список литературы

1. Колесников А.О., Антонов М.Л. Организация интегрированной системы планирования и управлениями нефтеперерабатывающими предприятиями // Нефтепереработка и нефтехимия. 2008. №3.
2. Гусев С.Н., Постников В.А. Интегрированная система управления для комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств // Автоматизация в промышленности. 2010. №8.
3. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Старый Оскол: ТНТ, 2011.
4. Сомов В.Е., Лисицын Н.В., Кузичкин Н.В. Совершенствование системы производственного учета на НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. 2009. №2.
5. Dijkstra E.W. Programming as a discipline of mathematical nature. Am. Math. Monthly 81. 1974. №6.
6. Кувыкин В.И., Кувыкина Е.В. Согласование данных и диагностика неисправности приборов в системах измерения//Прикладная механика и технологии машиностроения. 2009. № 2.

Кувыкин Вячеслав Иванович – д-р физ.-мат. наук, начальник планово-экономического отдела,

Петухов Михаил Юрьевич – канд. физ.-мат. наук, руководитель группы производственного планирования и отчетности ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

Контактные телефоны: (83145) 53252, 53298.

E-mail: Vyacheslav.Kuvykin@lukoil.com MYPetukhov@yandex.ru