

## СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА



### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОГЛАСОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ – СИСТЕМА PRODUCTION BALANCE

М.Ю. Петухов (АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ»),

А.Р. Закиев (ОАО "АНК Башнефть"),

П.Е. Бородин, С.Б. Артемьев (ЗАО «ХОНЕВЕЛЛ»)

*Рассмотрены основные подходы к формированию материального баланса нефтеперерабатывающего завода с использованием автоматизированной системы фирмы Honeywell Production Balance. Исследованы основные принципы работы данной системы и предложены методы ее оптимального использования.*

*Ключевые слова: автоматизация в промышленности, MES, нефтепереработка, материальный баланс.*

#### Введение

Эффективное управление производством без достоверной информации о его фактическом состоянии невозможно. Особенно остро проблема получения достоверной оперативной информации о состоянии производства проявляется для нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), где учет значительной доли технологических потоков ведется с использованием показаний поточных расходомеров [1]. На практике удовлетворительной точностью таких расходомеров при измерении нефтепродуктов считается  $\pm 0,5...2\%$ , в зависимости от типа прибора и вида нефтепродукта. Причем погрешность приборов увеличивается при измерении нефтепродуктов с высокой вязкостью (гудрон, асфальт), а также нефтяных фракций, находящихся в газообразной фазе.

Изменение погрешности измерения расхода на технологической установке уже в пределах  $1...2\%$  могут приводить к принятию неправильных решений по корректировке технологического режима работы оборудования. Ситуация усложняется тем, что зачастую погрешность расходомеров может выходить за рамки паспортных значений из-за их неисправности или неправильной настройки. При этом определить некорректно работающий прибор не всегда является простой задачей, поскольку обычно на технологические установки подается несколько видов сырья и вырабатывается несколько полуфабрикатов. Число технологических установок на современном НПЗ составляет  $15...25$  ед. Поэтому задача корректного определения значений всех материальных потоков является нетривиальной даже с математической точки зрения.

Тем не менее, в настоящее время на большинстве Российских НПЗ задача согласования измеренных значений материальных потоков предприятия решается без использования каких-либо средств автоматизации и без привлечения специальных математи-

ческих подходов. При этом критерии правильности согласования в основном оказываются зависящими от квалификации инженера (экономиста) и поэтому зачастую носят достаточно субъективный характер. Данный фактор отрицательным образом влияет на надежность сведения материального баланса и приводит к искажению истинной ситуации по значениям материальных потоков на предприятии. Последнее, в конечном итоге, может приводить к принятию неправильных решений по корректировке режимов работы технологических установок и, как следствие, к экономическим потерям предприятия. Именно поэтому в последнее время на передовых Российских НПЗ внедрены или начаты работы по внедрению систем автоматизированного согласования материального баланса.

В настоящей работе рассматривается система фирмы Honeywell Production Balance, предназначенная для автоматизации решения задач согласования материального баланса по материальным потокам предприятия. Эта система внедрена на НПЗ АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ» и успешно эксплуатируется с 2012 г.

Рассмотрим систему (алгоритмы, интерфейс, настройка при вводе в эксплуатацию), а также основные методы и подходы к использованию этой системы, выработанные в ходе ее успешного внедрения на НПЗ АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ» (Румыния).

#### Задачи построения материального баланса НПЗ

Материальный баланс НПЗ представляет собой значения и направления движения всех материальных потоков предприятия за определенный отчетный период. В материальном балансе участвуют: поступление (приемка) сырья, отгрузка товарной продукции, остатки сырья и продукции в резервуарном парке, движение сырья и полуфабрикатов между технологическими установками, остатки полуфабрикатов.

Как правило, исходные данные по численным значениям этих показателей в совокупности не согласованы ни друг с другом, ни с документами по приему сырья и отгрузке товарной продукции из-за ошибок измерений и/или расчетов. Именно в связи с этим возникает задача согласования<sup>1</sup>, решение которой позволяет:

- найти согласованные значения движений и запасов, являющиеся наиболее достоверной характеристикой производства;
- локализовать имеющиеся ошибки в исходных данных для последующей реализации организационно-технических мероприятий по их устранению.

Опыт внедрения автоматизированной системы на основе Production Balance (далее — PB) для поддержки этих процедур показал, что по ряду причин, которые будут рассматриваться ниже, целесообразно разбить решение общей задачи согласования на две взаимосвязанные составные части.

Первая часть — материальный баланс по переработке сырья и выработке товарной продукции. Эта часть формируется на основе данных по приемке сырья на предприятии, отгрузке товарной продукции за отчетный период, а также информации по остаткам сырья, продукции и полуфабрикатов в резервуарах. Условие материального баланса по переработке сырья и выработке товарной продукции можно представить в виде формулы:

$$P_{\text{сырья}} - \Delta_{\text{сырья}} = O_{\text{продукции}} + \Delta_{\text{продукции}} + \Delta_{\text{н/ф}} + ПТ, \quad (1)$$

где  $P_{\text{сырья}}$  — поставка (приемка) сырья,  $O_{\text{продукции}}$  — отгрузка нефтепродуктов,  $\Delta$  — изменение остатков сырья, продукции и полуфабрикатов в резервуарах за отчетный период,  $ПТ$  — безвозвратные потери нефти и нефтепродуктов, а также — потребление топлива на собственные нужды. Для определения всех величин, входящих в уравнение (1) (за исключением  $ПТ$ ), обычно используются измерения, основанные на взвешивании вагоноцистерн, и измерения уровней остатков в резервуарах. Эти измерения, в отличие от показаний расходомеров, обладают значительно более высокой точностью и не могут подвергаться дополнительной корректировке, так как на их основе составляются основные учетные документы для бухгалтерского учета (по приемке сырья, отгрузке нефтепродуктов и акты наличия остатков в резервуарах). После того как все входящие в (1) слагаемые определены, из (1) рассчитывается величина безвозвратных потерь и топлива на собственные нужды  $ПТ$ .

Задача составления материального баланса переработки может быть решена без использования движения материальных потоков на технологических установках предприятия (которые не входят в (1)) и связана с анализом информации, поступающей из товарно-сырьевого производства (ТСП) и лаборатории. Ее решение

осуществляется с целью устранения ошибок, возникающих по различным причинам (в частности — из-за отсутствия синхронизации транзакций приема-отгрузки с календарным отчетным периодом), но не требует выполнения каких-либо сложных математических расчетов. Поэтому на практике эта задача обычно решается в специальной системе (в простейшем случае в Excel), в которую поступают данные по приемке сырья, отгрузке нефтепродуктов и остаткам в резервуарах из производственных систем учета.

Вторая часть задачи заключается в определении движения материальных потоков «внутри» НПЗ, то есть движение материалов на промплощадке предприятия. Она решается, с одной стороны, на основе предварительно полученного (из соотношения (1)) баланса по переработке и, с другой — с учетом (приближенных) значений измерений расходомеров на технологических установках.

Эта вторая задача (далее она называется задачей согласования) математически более сложна и ее решение гораздо более трудоемко по сравнению с балансом переработки. Последнее в совокупности с необходимостью ежесуточного согласования материального баланса по НПЗ обуславливает необходимость ее автоматизации. Именно это (автоматизация согласования) представляет собой основную цель использования системы Production Balance на НПЗ.

#### Система Production Balance

Production Balance — универсальная система, широко используемая в промышленности для решения широкого круга задач сведения балансов/согласования данных. Автоматизация процедур согласования осуществляется PB путем создания и использования математической модели производства и оптимизационного подхода к решению задач согласования данных на основе измеренных значений.

Критерий оптимальности согласования данных описывается квадратичной целевой функцией:

$$L = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i^{\text{изм}} - x_i^{\text{согл}}}{\xi_i x_i^0} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

При условии, что согласованные значения переменных удовлетворяют заданным ограничениям:

$$f_j(x_1^{\text{согл}}, x_2^{\text{согл}}, \dots, x_n^{\text{согл}}, P_{\text{сырья}}, O_{\text{продукции}}, \Delta_{\text{сырья}}, \Delta_{\text{продукции}}, \Delta_{\text{н/ф}}, ПТ) = 0, \quad j = \overline{1, k}. \quad (3)$$

Здесь  $x_i^{\text{изм}}$  и  $x_i^{\text{согл}}$  — измеренное и согласованное значения  $i$ -го потока,  $x_i^0$  — его характерное значение;  $\xi_i$  — параметр настройки, характеризующий степень надежности  $i$ -го измерения (см. ниже),  $f_j$  — функции, физический смысл которых заключается в выполнении закона сохранения массы.

В соответствии с этим математически задача согласования ставится и решается в PB как задача ква-

<sup>1</sup> Методической основой для согласования являются универсальные условия баланса массы для заданного набора технологических объектов, который может определяться без существенных ограничений.

дратичного программирования (на минимум (2) при ограничениях (3)). Для ее решения в РВ предусмотрено и реализовано несколько точных и приближенных алгоритмов, которые могут использоваться по выбору пользователя.

#### • Метод гребневой регрессии (регуляризации)

Предлагается в трех модификациях. Является приближенным методом статистической коррекции наборов данных с ограничениями. В основе метода гребневой регрессии лежит допущение, что неизмеряемые переменные и параметры модели можно классифицировать по величине недоверности, заданной параметром регуляризации. Далее, задача последовательно решается путем исключения из условий баланса неизмеряемых неизвестных с апостериорной недоверностью, превышающей параметр регуляризации.

Для использования данного метода (через пользовательскую форму настройки решателя) должен быть задан параметр регуляризации. Обычно этот параметр для каждой данной модели задается только один раз, и нет необходимости изменять его значение при обработке каждого следующего балансового периода.

Метод гребневой регрессии в настоящий момент является самым быстродействующим из предлагаемых в этой области.

#### • Метод Ньютона

Метод Ньютона в том виде, как он используется в РВ, представляет собой классический метод решения задачи квадратичного программирования (2), (3). Расчет всех необходимых статистических характеристик осуществляется по окончании решения, подобно тому, как это происходит при использовании методов гребневой регрессии.

#### • Методы разложения по сингулярным числам

Вышеперечисленные методы могут не сходиться к решению задачи согласования, если в составе модели есть ненаблюдаемые переменные и/или «почти» зависимые балансовые условия. В подобных случаях следует использовать более надежные, но численно гораздо более затратные методы разложения по сингулярным числам в вариантах SVD- или URV-разложения. Эти методы превосходно зарекомендовали себя при согласовании данных в плохо обусловленных системах благодаря тому, что позволяют построить устойчивые процессы вычислений.

#### • Метод последовательного квадратичного программирования

Метод предназначен для решения задач согласования с нелинейными балансовыми ограничениями. Такие задачи возникают, в частности, когда в качестве подлежащих согласованию переменных рассматриваются как измеряемые значения объем-

ного расхода, так и плотности потоков. В этом случае в уравнение баланса входят не сами переменные, а их произведения (см. ниже (4)), то есть балансовые ограничения становятся нелинейными. Суть метода заключается в последовательном уточнении решений ряда задач квадратичного программирования (с линейными ограничениями), аппроксимирующих исходную нелинейную задачу оптимизации.

Таким образом, в РВ предусмотрен достаточно полный набор методов, различающихся степенью строгости реализации базовой математической модели (2), (3) и численными алгоритмами ее решения, что в свою очередь отражается на скорости выполнения и достижимой точности результатов. Использование того или иного метода в основном зависит от конфигурации модели НПЗ в системе РВ и требуемой скорости расчета.

Одним из важных преимуществ системы РВ является возможность совместного или отдельного (по выбору пользователя) сведения нескольких балансов (материального, топливного, теплового и т. п.). При условии, что в различных балансах имеются общие переменные, их совместное сведение позволяет существенно повысить точность согласования. Так как одни и те же переменные могут входить в различные балансы, в Production Balance различаются единицы измерения и единицы согласования балансов. Между теми и другими в системе поддерживается соотношение:

$$x_{bal} = fct \times x_{meas}, \quad (4)$$

где  $x_{meas}$  — исходное или согласованное значение переменной, представленное в единицах измерения по соответствующему измерительному каналу,  $x_{bal}$  — представление той же переменной в балансовых единицах, т. е. при согласовании того или иного баланса;  $fct$  — зависящий от целевого баланса фактор-множитель, необходимый для перехода от единиц измерения к балансовым единицам.

В зависимости от конфигурации модели значение фактора  $fct$  при согласовании может рассматриваться либо как постоянная<sup>2</sup>, либо как переменная, также подлежащая уточнению при согласовании, как и соответствующая фактору переменная. В последнем случае возникает нелинейная задача согласования на множестве независимых переменных, включающем как количества, так и факторы, причем в балансовые ограничения входят не сами переменные, а их произведения (4). Аналогичные билинейные ограничения возникают при согласовании тепловых балансов (переменные — расход и энтальпия) и компонентных балансов (переменные — общий расход и концентрации компонентов).

Эффективность использования системы РВ при эксплуатации в значительной степени определяется правильной настройкой модели балансов. Ключевым параметром настройки модели является параметр  $\xi_i$

<sup>2</sup> ПО РВ позволяет индивидуально сконфигурировать факторы для каждого баланса и каждой переменной.

(2), который задается при конфигурировании и рассматривается в системе как степень надежности  $i$ -го измерения. В связи с тем, что относительные погрешности измерений, как правило, различаются, измерениям с большей погрешностью (меньшей надежностью) необходимо приписывать большие значения параметра  $\xi$ . Для пояснения работы с параметром рассмотрим  $\xi$  простой пример (рис. 1).



Рис. 1. Пример согласования измеренных данных по трем материальным потокам

Предположим, что нефтепродукт  $x_3$  получается в результате смешения двух компонентов  $x_1$  и  $x_2$ , поступающих с технологических установок НПЗ. При этом измерение осуществляется с использованием взвешивания при отгрузке, то есть предполагается, что данное измерение обладает высокой точностью и не подвергается процедуре согласования. Измерения же компонентов и происходит с помощью расходомеров различного типа с допустимыми паспортными погрешностями  $\delta_1 = 1,0\%$  и  $\delta_2 = 2,0\%$  соответственно. В этом случае схема

модели РВ будет выглядеть, как показано на рис. 1. При этом коэффициенты надежности измерений компонентов соотносятся между собой, как  $\xi_2/\xi_1 = \delta_2/\delta_1 = 2$ , а коэффициент надежности измерения  $x_3$  стремится к нулевому значению  $\xi_3 \rightarrow 0$  (поскольку предполагается:  $x_3^{созл} = x_3^{изм}$ ). Нетрудно показать, что в рассматриваемом случае решением задачи (2) — (3) с учетом  $x_i^0 = x_i^{изм}$  является:  $x_1^{созл} = 52$ ,  $x_2^{созл} = 58$ . Удельная корректировка относительно измеренных значений  $x_1^{изм}$ ,  $x_2^{изм}$  составляет 4% и 16% соответственно. В случае  $\xi_1 = \xi_2$ , как и следовало ожидать, получим  $x_1^{созл} = x_2^{созл} = 55$ .

РВ имеет хорошо продуманный интерфейс пользователя в виде набора дисплейных форм, специально приспособленных для сведения балансов<sup>3</sup>. Рассмотрим кратко основные стандартные формы интерфейса РВ.

Назначение формы «Сводка транзакций» (рис. 2) — представление основной информации о перемещениях и запасах, а также — обеспечение ввода данных от оператора в интерактивном процессе сведения балансов. Форма разделена на две части:

— таблицу перемещений (*Потоки*) с информацией по всем перемещениям, включая имя источника (*Откуда*) и пункта назначения (*Куда*), время начала и окончания, измеряемые и согласованные значения, допустимые отклонения, оценку достоверности, статистику ошибок и диагностический комментарий;

— таблицу запасов (*Запасы*), где для каждого узла запасов в таблице представлены две строки, соответствующие моментам начала (*Нач*) и конца (*Кон*) балансового периода, а также — тип измерения (*Тип*) при открытии и закрытии баланса, соответствующие измеренные и согласованные значения, допустимые отклонения, оценку достоверности и диагностический комментарий.

Форма «Баланс узла» (рис. 3) показывает подробную информацию об отдельных узлах и связанных с ними потоках. Данная форма представляет информацию, которая имеется в других формах, собранную и показанную для отдельно узла. В табличных формах интерфейса РВ, таких как форма «Баланс узла» и «Сводка транзакций», по-

Рис. 2. Сводка транзакций

Рис. 3. Баланс узла

<sup>3</sup> При эксплуатации РВ эта система собирает и порождает большое количество информации, только часть которой имеет значение для того или иного пользователя. Поэтому в РВ имеются развитые средства для настройки интерфейса в соответствии с потребностями пользователя, позволяющие как изменять состав стандартных дисплейных форм, так и создавать новые формы.

T_NEFT	NEFT	10000.00 TONNE	AVT	2500.00 TONNE	DT	T_DT
			В: 10000.00 TONNE	1800.00 TONNE	F62_180	T_F62_180
			Из: 9910.00 TONNE	1000.00 TONNE	FNK62	T_FNK62
			Бал.: -90.00 TONNE	210.00 TONNE	HC_GAS	M_HC_GAS1
			Нач.: 0.00 TONNE	4400.00 TONNE	MAZUT	T_MAZUT
			Кон.: 0.00 TONNE			
			Бал.: 0.00 TONNE			
			Бал.: -90.00 TONNE			

Рис. 4. Графическое представление узла

казаны данные измерений, результаты согласования, а также — расчетные характеристики качества баланса, используемые в ходе интерактивной процедуры согласования данных: *Изм* — исходные данные в единицах измерения; *Согл* — данные после согласования.

В табличные формы РВ включены элементы, обеспечивающие оперативную коррекцию исходных данных и структуры модели при согласовании балансов: коррекцию измерений или факторов (поле *Скорр*); изменение типа отдельных данных (выбор *Фикс/Изм/Неизм* в поле *Тип*); включение в модель или исключение из модели отдельных объектов — резервуаров, установок (поле *Вкл. в расчет*); включение/отключение отдельных условий баланса (поле *Вкл. в баланс*).

Форма «графическое представление узла» (рис. 4) особенно удобна для прослеживания цепочек взаимосвязанных измерений. Доступ к форме осуществляется через форму «Баланс узла». Форма отображает данные, связанные с одним узлом.

Кроме того, в табличных формах РВ представлены показатели *Статистики ошибок* (для измеряемых переменных и/или факторов), *статистики верхних и нижних 95% Доверительных границ* (для неизменяемых переменных), представляющие результаты постоптимального анализа решения.

В целевой схеме сведения балансов с использованием РВ все переменные процесса (суточные перемещения нефтепродуктов, приращения запасов, суточные перемещения энергоносителей) рассматриваются как неизвестные, на допустимые значения которых накладываются условия баланса (3): при любых значениях неизвестных, которые могут быть решением задачи, все балансы (3) сводятся с нулевой ошибкой.

Как правило, число условий баланса меньше числа подлежащих определению переменных, поэтому имеется не одно, а множество решений — наборов переменных, каждый из которых удовлетворяет всем условиям (3). Задача заключается в том, чтобы определить среди всех допустимых (сбалансированных) тот набор, который наименее отклоняется от данных измерений в смысле (2).

В результате определяется набор переменных (расходов, запасов), которые, с одной стороны, удовлетворяют всем условиям баланса, а с другой — наи-

более отклоняются от измерений.

Обнаружение и локализация ошибок осуществляется затем путем аналитической интерпретации отклонений сбалансированных переменных от исходных измерений. В качестве основного показателя для аналитической интерпретации результата используются значения показателей качества баланса,

статистики ошибок и статистики ошибок фактора, вычисленные алгоритмом согласования данных и указывающие на наличие ошибок в модели согласования и/или исходных данных, соответственно, для измеряемых и факторных значений. При каждом прогоне решателя пользователь проверяет статистику ошибок измерений и факторов для определения элементов, которые, вероятно, содержат ошибки, и при необходимости осуществляет коррекцию исходных данных с использованием форм «Баланс узла», «Сводка транзакций» и др. Таким образом осуществляется обнаружение и устранение ошибок в интерактивном режиме.

#### Использование системы Production Balance на НПЗ

Следует отметить, что программное обеспечение РВ имеет все необходимые функциональные возможности, чтобы решать задачу формирования материального баланса (1) — (3) целиком, без разделения на баланс переработки сырья и выработки товарной продукции и согласование данных по «внутренним» технологическим материальным потокам предприятия. Однако, исходя из опыта внедрения и использования РВ, авторы рекомендуют решать эти задачи отдельно. Такое разделение точнее соответствует сложившейся (типовой) организационно-технической структуре оперативного управления НПЗ, квалификации специалистов производственного учета и организации их работы. Работа специалиста при решении задачи (1) обычно связана со сверкой первичной документальной информации с данными, поступающими в автоматизированную систему учета, а также — анализом возможных ошибок измерений остатков в резервуарах (анализ изменения уровня в резервуаре, плотности, температуры). Для учета, сбора, хранения и анализа данных при построении материального баланса переработки сырья и выработки товарной продукции на НПЗ обычно используются специализированные (часто — уже существующие) автоматизированные системы<sup>4</sup>, интеграция с которыми со стороны РВ, как правило, не составляет проблемы благодаря тому, что РВ построен как открытая система.

Для сведения материального баланса по переработке сырья и выработке товарной продукции (1)

<sup>4</sup> Компания Honeywell рекомендует использовать для этой цели свои системы Movement Automation и Uniformance PHD.

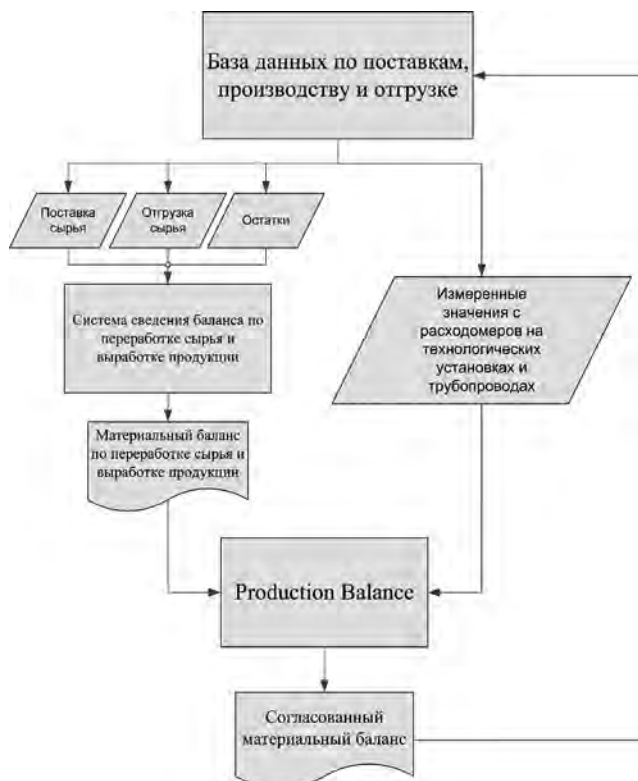


Рис. 5. Обобщенная схема формирования материального баланса НПЗ.

значения «внутренних» материальных потоков предприятия  $x_i$  не требуются, так как все слагаемые в (1) определяются однозначно на основе документальных данных по поставке сырья, отгрузке продукции и остатков в резервуарах.

Решение задачи (1) (прием/отгрузка и остатки в резервуарах на конец балансового периода) можно затем использовать в качестве исходной информации для согласования в соответствии с (2), (3).

Таким образом, предлагаемый подход заключается в разделении общей задачи сведения баланса по НПЗ на две (баланс сырья/товарной продукции и баланс материальных потоков на промплощадке) и последующем решении сначала задачи (1) с помощью специализированной учетной системы, а затем — задачи (2), (3) с помощью системы РВ.

Соответствующим образом должна быть логически разделена модель НПЗ на две части: часть, описывающую процедуры приема/отгрузки, создания и использования запасов, и часть, описывающую технологические процессы и движение материалов на промплощадке.

Условием корректного использования разделенной таким образом модели, очевидно, является равенство переменных, представляющих перемещения материалов через границу раздела частей модели. Это дополнительное условие достаточно просто удовлетворяется при условии, что данные по приемке, отгрузке и запасам считаются точными и не нуждаются в дальнейшей коррекции. В этом случае перемеще-

ния через границу раздела однозначно определяются решением задачи (1).

Таким образом, в соответствии с вышесказанным, общую схему формирования материального баланса НПЗ можно представить следующим образом (рис. 5). Предполагается, что на предприятии существует историческая база данных, в которую поступает вся информация по поставкам, отгрузке, остаткам, а также измеренные данные по материальным потокам с технологических установок предприятия. В дальнейшем при решении задачи (1) из этой базы данных осуществляется выборка информации по поставкам, отгрузке и изменению остатков сырья, продукции и полуфабрикатов за отчетный период (сутки). Данная информация обрабатывается в специализированной программной оболочке (в простейшем случае — в MS Excel) для получения материального баланса по переработке сырья и выработке продукции (то есть для решения задачи (1)). Полученный баланс используется в качестве «граничных условий» для согласования измеренных данных в системе РВ, то есть решается задача (2), (3). Затем согласованные данные по материальным потокам предприятия направляются обратно в историческую базу данных, где в дальнейшем используются в управленческой и бухгалтерской отчетности. При этом выделение задачи (1) в отдельный операционный блок позволяет не перегружать модель РВ информацией по приемке/отгрузке, которая усложняет модель и затрудняет анализ решения.

Важным моментом при внедрении системы РВ является необходимость глубокой проработки модели НПЗ в данной системе. При этом основное внимание должно уделяться, во-первых, выбору уровня детализации модели, во-вторых, возможности интеграции системы РВ на основе данной модели с другими системами автоматизации на предприятии [2].

При выборе уровня детализации необходимо учитывать, что, с одной стороны, модель должна максимально отражать схему движения материальных потоков на предприятии, с другой — быть достаточно простой и удобной в использовании и не содержать информации, которая является избыточной для решения задачи (2) — (3). Такой подход к формированию структуры модели позволяет повысить надежность согласования материального баланса (то есть уменьшить риск ошибок) и снизить время на его формирование.

Интеграция системы РВ с другими системами автоматизации на НПЗ существенно облегчается, если установлены отношения между объектами модели РВ (материалами, установками, резервуарами или резервуарными парками, терминалами приема/отгрузки и маршрутами перемещений) и объектами моделей, на основе которых построены другие автоматизированные системы классов APS, MES и ERP на предприятии, то есть — системы планирования, сбора и хранения информации, бухгалтерской отчетности. Анализ и формализация отношений между объек-

тами моделей обеспечивает повышение скорости обмена информации между системами и минимизирует ошибки при передаче данных из одной системы в другую. Кроме того, повышаются возможности персонала при его работе в нескольких системах [3].

Непосредственно на НПЗ АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ», в материальном балансе которого участвует 15 технологических установок, модель РВ состоит из 240 потоков. Данная модель разработана с учетом рекомендаций, приведенных в предыдущем параграфе, и максимально совпадает с моделями других автоматизированных систем планирования и учета на НПЗ.

#### Заключение

В заключение сформулируем основные результаты настоящей работы и следующие из них выводы.

Рассмотрены основные подходы к формированию материального баланса НПЗ с использованием автоматизированной системы Production Balance фирмы Honeywell. Исследованы принципы работы данной системы и предложены методы ее оптимального использования. Показано, что РВ значительно повышает надежность данных материального баланса НПЗ (снижает вероятность ошибок) за счет использования строгих математических подходов к решению данной задачи.

Предлагается подход к практическому использованию РВ при формировании материального баланса НПЗ с учетом разбиения на две последовательные задачи сведения и согласования материального баланса. Показано, что следствием такого подхода является упрощение процедуры формирования материального баланса и снижение трудозатрат. Отмечено, что ключевыми факторами повышения надежности и снижения ошибок согласования материального баланса является выбор уровня детализации модели НПЗ и проектирование ее структуры с учетом необходимости интеграции РВ с другими системами планирования и учета на предприятии.

Таким образом, согласование материального баланса с помощью РВ значительно повышает надежность данных производственного учета, наличие которых является ключевым фактором повышения эффективности принятия решений по управлению технологическим процессом на НПЗ. При этом важно

отметить, что, несмотря на использование достаточно сложных математических методов, РВ является простой и удобной в использовании программой. От специалиста по сведению баланса не требуется специальной математической подготовки, а его основной задачей является лишь поддержка и своевременная актуализация модели предприятия в РВ. Автоматическое согласование данных теперь занимает несколько секунд (вместо нескольких часов ручного согласования), что значительно снижает трудозатраты.

Экономическую эффективность от внедрения РВ сложно переоценить. По самым скромным оценкам срок окупаемости проекта на НПЗ АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ» составил не более 2 мес. использования РВ. Подтвержденный «прямой» экономический эффект предприятия — 8 центов на баррель перерабатываемого нефтяного сырья. Основной вклад в эффективность вносит улучшенное управление загрузками и отборами на технологических установках за счет получения более достоверной и надежной информации по материальному балансу предприятия. Другим эффектом от внедрения РВ является повышение эффективности работы экономистов, ответственных за учет движения сырья и нефтепродуктов на НПЗ, что, в частности, обусловило снижение численности данного персонала с четырех до трех человек. Также необходимо отметить и косвенные эффекты от внедрения системы РВ на НПЗ АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ», то есть эффекты которые сложно поддаются прямой численной оценке:

- повышение точности планирования (снижение план-факт отклонений);
- диагностика неисправностей приборов (за счет регулярного сопоставления измеренных и согласованных значений величин материальных потоков).

#### Список литературы

1. Сомов В.Е., Лисицын Н.В., Кузичкин Н.В. Совершенствование системы производственного учета на НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. 2009. №2. С. 3-9.
2. Промышленные контроллеры и интеграция ERP/APS+MES+АСУТП // Rational Enterprise Management. 2009. №2. С.50-51.
3. Кувыкин В.И., Петухов М.Ю. Построение моделей бизнес-процессов в системах автоматизации НПЗ // Автоматизация в промышленности. 2012. №10. С 39-42.

*Петухов Михаил Юрьевич — канд. физ.-мат. наук, начальник отдела производственного планирования и материального баланса АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ» (Румыния),*

*Закриев Азат Рафаилович — директор по проектам ОАО "АНК Башнефть" (г. Уфа),*

*Бородин Павел Евгеньевич — ведущий инженер,*

*Артемьев Сергей Борисович — старший консультант отдела оперативного управления производством департамента высокотехнологичных решений и консалтинга ЗАО «ХОНЕВЕЛЛ».*

*Контактные телефоны: +40 (24) 450-41-55, +7 (3472) 616-748, +7 (495) 796-98-00.*

*E-mail: MPetukhov@Petrotel.LUKoil.com ZakievAzr@bashneft.ru Pavel.Borodin@Honeywell.com*

**Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:**

через каталоги "Роспечать" **81874** и "Пресса России" **39206** • сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

**Адрес редакции:** 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97 E-mail: info@avtprom.ru