

УЧЕТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ: УСТРАНЕНИЕ НЕВЯЗКИ ПРИ ОЦЕНКЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ НА НЕФТЕГАЗОВОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Марков Д.С.¹, Зарницын А.Ю.²

¹ *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8ТМ22, e-mail: dsm39@tpu.ru*

² *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, старший преподаватель, e-mail: ayz10@tpu.ru*

Аннотация

Рассмотрены методы согласования данных и вычисления грубых ошибок измерений в гидродинамической системе для учета влияния погрешностей измерительной аппаратуры, неисправностей в системе управления производственным объектом с целью построения моделей бизнес-процессов в автоматизированных системах планирования и контроля материальных потоков предприятия.

Ключевые слова: материально-энергетический баланс, согласование данных, тепловые потери, определение грубых ошибок измерений.

Введение

Концепция «бережливого производства» с применением методов оптимизации производственных процессов, сокращения затрат, уменьшения времени создания конечного продукта неразрывно связана с автоматизацией промышленного предприятия, созданием взаимосвязанных технических систем мониторинга и управления, оперирующих с массивом данных о состоянии технологического процесса набором команд и инструкций. Данные в общем случае поступают от средств измерения и имеют степень достоверности, обусловленную погрешностью прибора, способом или методикой измерения.

Проблема получения достоверной информации существует, в частности, на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), где учет потоков сырья выполняется посредством поточных расходомеров, имеющих значительную погрешность 0,5-2 %. Погрешность увеличивается с ростом вязкости нефтепродукта, зависит от его формы, например, фракции в газообразной фазе имеют повышенную вязкость. Стоит отметить, что по мере истощения запасов традиционной нефти растет добыча вязкой нефти из морских высокодебитных скважин с применением центробежных насосов, поэтому актуальность точного анализа потребления сырья растет [1].

Сегодня на большинстве российских НПЗ задача согласования измеренных значений материальных потоков предприятия решается эвристическим методом: производится экспертная оценка данных специалистами по сведению баланса, эксперты руководствуются собственным производственным опытом и используют инструменты взаимосвязанных электронных таблиц для расчетов. Не вызывает сомнений слабая формализация подобного метода оценки, его прямая зависимость от человеческого фактора, квалификации инженеров и экономистов. Искажение параметров может приводить к принятию неверных решений по корректировке режимов работы установок, в конечном счете – к экономическим потерям предприятия [2].

По описанной выше причине, а также с развитием цифровых систем управления в промышленности, все большее распространение приобретает иной подход к согласованию материального баланса – кибернетический, основанный на математической модели структуры потоков и однозначных алгоритмах сведения баланса. Цель данной работы – описать типовую структуру системы сведения баланса на примере НПЗ и предложить метод вычисления грубых ошибок измерений, вносящих наибольший вклад в небаланс предприятия.

За последнее десятилетие выпущен ряд посвященных проблеме статей отечественных авторов, в них зачастую рассматриваются такие вопросы, как построение математической модели при смешении нефтепродуктов [3], оценка эффективности выбранной методики либо разработка альтернативных методов сведения баланса и построение моделей бизнес-процессов [4], оценка тепловых потерь в нефтепроводах [5] или влияния вязкости жидкости на рабочие характеристики насоса [1]. На территории РФ выполнено несколько коммерческих проектов по реализации систем сведения материального баланса. Эффективность внедрения системы на НПЗ АО «ПЕТРОТЕЛ-ЛУКОЙЛ» была

оценена экспертами в 8 центров на баррель перерабатываемого сырья [6]. Специалисты компании «Honeywell» совместно с ООО «ЛУКОЙЛ – Инженерные навыки и компетенции», Нижний Новгород сравнивали также отклонение средних значений по выходу светлых нефтепродуктов из двух выборок по ручному и автоматизированному анализу, отклонение составило 0,7 % в пользу автоматизированной системы [2]. Экономия топлива на ТЭС «Международная» после внедрения программного модуля оценена в 1308 тонн в год в условном исчислении, что демонстрирует эффективность решений в теплоэнергетической отрасли [7].

Работа будет интересна инженерам, связанным по роду деятельности с нефтепереработкой, а также разработчикам и операторам автоматизированных систем управления предприятием.

Основная часть

На любой производственный объект поступает сырье, из сырья впоследствии производится конечный продукт, в процессе обработки появляются отходы, удаляемые из системы, а некоторая часть вещества в системе остается, накапливается. На основании закона сохранения масс веществ можно утверждать, что входящие потоки за вычетом разницы накопления дают массу выходящих потоков. Помимо массового баланса можно рассматривать и компонентный баланс, соотношение концентраций веществ, учитывать химические реакции, происходящие в замкнутой системе, а также вывести уравнения теплового баланса, так или иначе, любой из представленных типов баланса определяется физическими законами сохранения массы и энергии.

Для теплообменников и турбомашин, в частности, насосов, уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} \cdot F_j \cdot h_j + q = 0, \quad (1)$$

где j – номер потока (от 1 до N); i – номер узла; a_{ij} – коэффициент наличия и направления потока F_j в узле i ; h_j – удельная энтальпия потока, Дж/кг; q – величина теплового потока в узле, для центробежных насосов – нагрев при сжатии, Дж.

Увеличение температуры жидкости, проходящей через насос, зависит от тепла, выделяемого электродвигателем (механических потерь) и сжатия жидкости в турбомеханизме. В многоступенчатом насосе изменение температуры с учетом обоих факторов:

$$T_{n+1} = T_n + \frac{q(\eta(T_n))}{\rho Q c_p} + \frac{\alpha T_n}{c_p} g H_n, \quad (2)$$

где T_n – температура жидкости при работе насоса с первоначальной скоростью, К; $q(\eta(T_n))$ – количество тепла, выделяемое при работе одной ступени с жидкостью вязкостью η ; c_p – теплоемкость горючей смеси, Дж/кг·К; ρ – плотность смеси, кг/м³; Q – объемный расход жидкости, м³/с; α – коэффициент изотермического расширения, процесс считать адиабатическим, К⁻¹; H_n – напор n -ой ступени насоса.

Задача согласования данных на практике ставится как задача квадратичного программирования на поиск минимума целевой функции $I(x)$ с набором заданных ограничений для согласованных значений:

$$\min_x I(x), I(x) = \sum_{i=1}^k \left(\frac{x_i - z_i}{\sigma_i} \right)^2, \quad (3)$$

где X – вектор переменных размерности k , описывает количество потоков предприятия, массу сырья, расход топлива или потери, это действительные, реальные величины; Z – вектор измерений, отображающий данные о потоках; σ_i – стандартное отклонение i -го измерения.

Физический смысл критерия оптимизации состоит в том, что решения системы, согласованные значения, должны как можно меньше отличаться от измеренных значений, нужно, чтобы более точные наблюдения входили в уравнения с большим весом, менее точные, грубые измерения – с меньшим весом. Вектор измерений Z может включать в себя, помимо массовых (количественных), качественные характеристики такие, как октановые числа потоков в узлах смешения нефтепродуктов, что расширяет сферу применения систем по сведению баланса. К примеру, измерительный модуль «Production Balance» от компании «Mescenter», разработчика MES-систем «MATRIX HCS», поддерживает массовый, объемный, тепловой и составной типы балансов.

Задача нелинейного программирования может быть решена различными математическими методиками: гребневой регрессией или регуляризацией Тихонова, применением фильтра Калмана,

методами проекции матрицы и Ньютона, сингулярным разложением и разложением URV. В настоящее время самый быстродействующий метод из представленных: метод регуляризации, основанный на допущении, что неизмеримые переменные можно классифицировать по величине достоверности, задаваемой параметром регуляризации, с последующим их исключением из условий баланса. Метод регуляризации находит применение в задачах, неустойчивых по отношению к погрешностям в исходных данных, подобные задачи называются некорректно поставленными. Частное приложение данной методики к сведению материального баланса энергоблока парогазовой тепловой электростанции (ТЭС) представлено в [8], математический метод подробно описан в отдельном пособии [9].

Более классическим и простым методом решения задачи квадратичного программирования является метод Ньютона, в случае его несходимости имеет смысл использовать численно более затратные методы разложения по сингулярным числам (SVD- или URV-разложения). Большинство коммерческих решений, представленных на рынке, поддерживают одновременно несколько методик расчета.

В ситуациях смещения нуля, замораживания показаний, дрейфа значений либо ухудшения точности измерений в наборе данных могут появляться грубые ошибки (gross error). Их необходимо устранять прежде всего, до выполнения процедуры согласования данных, иначе точность согласования окажется неудовлетворительной. При определении грубых ошибок ставится ряд последовательных задач:

1. Задача обнаружения (определить наличие грубых ошибок в массиве данных).
2. Задача идентификации (выявить тип и расположение грубых ошибок).
3. Задача оценки (оценить величину грубых ошибок).

Существуют различные тесты по выявлению грубых ошибок: глобальный тест, тест уравнений или узлов баланса, тест измерений. Простейший способ выявления недопустимых значений: сравнение разницы по модулю между согласованными и измеренными значениями с погрешностью измерений.

$$|y_i - x_j| > \frac{\delta_j}{2} \quad (4)$$

В случае если отклонение превышает допустимую погрешность, измеренное значение параметра содержит грубую ошибку.

Заключение

Таким образом, ввиду существования значительной достоверности данных о состоянии технологического процесса на промышленном предприятии, в мировой практике разработаны и активно применяются алгоритмы согласования данных, входящие в состав единой автоматизированной системы управления. В работе поставлена математическая задача сведения материально-энергетического баланса, описаны стандартные методики согласования данных на примере нефтеперерабатывающего предприятия, обозначена актуальность идентификации грубых ошибок измерения.

Список использованных источников

1. Пешеренко С.Н. Влияние вязкости жидкости на рабочие характеристики насоса ЭЦН7А-1000 / С.Н. Пешеренко, Д.Н. Лебедев, Д.А. Павлов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2018. – Т. 4. – № 4. – С. 64-79.
2. Кувькин В.И., Балашов Р.Д., Ибулаев Р.Г., Мелешкевич М.А. Эффективность согласования данных материального баланса в нефтепереработке // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2023. – № 01. – С. 130-135
3. Кувькин В.И. Согласование баланса при смешении бензинов // Инновации в науке. – № 8 (57). – 2016.
4. Кувькин В.И., Петухов М.Ю. Построение бизнес-процессов в системах автоматизации НПЗ // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 10. – С. 39-42.
5. Антипов Ю.А. Оценка гидравлических и тепловых потерь в магистральных нефтепроводах в условиях холодного климата / Ю.А. Антипов, Х.Халифе, И.А. Жариков // Нефтегазовое дело. – 2018. – Т. 16, № 2. – С. 99-105. – DOI 10.17122/ngdelo-2018-2-99-105.
6. Артемьев С.Б., Бородин П.Е., Закиев А.Р., Петухов М.Ю. Автоматизация процесса согласования материального баланса на нефтеперерабатывающем предприятии — система Production Balance // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 8. – С. 22-28.
7. Разработка методики совместного сведения материальных и энергетических балансов по данным технического учета в системе расчета показателей тепловой экономичности оборудования ПГУ-ТЭС /

А.П. Зимин, Г. В. Ледуховский, В. П. Жуков [и др.] // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2017. – № 2. – С. 5-12. – DOI 10.17588/2072-2672.2017.2.005-012.

8. Алгоритмы сведения материальных и энергетических балансов при расчетах технико-экономических показателей оборудования ТЭС на основе метода регуляризации некорректных задач / Г.В. Ледуховский, В.П. Жуков, Е.В. Барочкин и др. // Теплоэнергетика. – 2015. – № 8. – С. 72-80.

9. Сумин, М. И. Метод регуляризации А.Н. Тихонова для решения операторных уравнений первого рода: учебно-методическое пособие / Сумин М. И. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. – 56 с.

10. Бажин В.Ю., Масько О.Н., Ануфриев А.С. Обоснование выбора платформы для создания системы управления материальными потоками в производстве металлургического кремния // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1-1. – С. 206-219.