

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПАУНДИРОВАНИЕМ ТОПЛИВ — ЗАДАЧИ, РЕШЕНИЯ, ОПЫТ В РОССИИ

А.А. Аносов, Г.Л. Ефитов (ЗАО «Хоневелл»)

Рассмотрены задачи оптимизации компаундирования топлив и решения компании Honeywell по оптимальному управлению процессами компаундирования. Описывается и анализируется опыт и экономические результаты внедрения систем оптимального управления компании Honeywell на станциях смешения топлив.

Ключевые слова: оптимальная рецептура, компонент смешения, off-line, on-line управление, поточный анализатор.

Задача оптимизации различных процессов смешения давно известна и также давно является «классической» задачей линейного программирования [1]. Уже несколько десятилетий существуют специальные программные пакеты для решения производственных задач оптимизации компаундирования топлив в автономном режиме (режим off-line) [2]. Эти программы постоянно совершенствуются для более полного моделирования специфики производственных смешительных операций [3]. Наряду с решением off-line задач, стремление к максимальному использованию ресурсов оптимизации, а также появление достаточно надежных и точных поточных анализаторов качества смеси привело к разработке программ оптимизации в реальном времени — on-line. Для реализации текущих рецептур смешения, которые рассчитываются в системе on-line оптимизации, разработаны специальные программные модули смешения, способные автоматически вести процесс компаундирования, управляя насосами и регулируемыми клапанами. На российских НПЗ за последние годы начали появляться автоматические станции смешения бензинов (АССБ), и спрос на них постоянно растет. Компания Honeywell занимает лидирующее положение в мире и в России в области оптимального управления компаундированием бензинов и дизельных топлив и разработки АССБ «под ключ».

В статье рассматриваются решения компании Honeywell по off-line и on-line оптимизации процессов компаундирования, анализируется опыт ЗАО «Хоневелл» в России по созданию АССБ. Несмотря на то, что содержание статьи затрагивает вопросы приготовления бензинов, эти же подходы справедливы и для других видов топлив (дизтоплива, мазуты и т. д.).

Задача определения оптимальной отдачи качества

При получении начальной рецептуры смешения товарного бензина одним из существенных показателей экономической эффективности найденной рецептуры является так называемая «отдача качества», то есть превышение некоторым свойством товарного бензина своего нормируемого значения [4]. Такое превышение — это прямые экономические потери, так как фактически выпускается более качественный бензин, но цена его при этом не повышается. Минимизация отдачи качества нормируемых свойств товарных бензинов является основным требованием при нахождении оптимальной рецептуры.

Наиболее существенной и экономически значимой считается отдача качества октановых чисел по исследовательскому и моторному методам. Так, согласно ГОСТ Р 51866-2002 (соответствует евро нормам ЕН 228-99), разница в требованиях к бензинам Премиум Евро-95 и Супер Евро-98 состоит только в октановых числах. Именно октановые числа влияют на разницу цен этих сортов бензинов, и таким образом разница цен определяет стоимость одной октано-тонны бензина. Ввиду крупнотоннажности нефтеперерабатывающих производств экономия даже десятых долей октановых чисел дает сотни млн. руб./г. экономического эффекта.

При расчете рецепта смешения все требования к качественным показателям конечного продукта задаются как ограничения задачи математического программирования (например, ИОЧ¹ > 92). Однако задавать эти ограничения с нулевой отдачей качества представляется неправильным, так как это соответствовало бы нулевой погрешности измерения свойств. Наличие погрешности измерения (определяемой ГОСТом статистически) и стоимости повторных смешений (которые могут иметь место при нарушении спецификации) позволяет говорить об оптимальной ненулевой отдаче качества с учетом вероятности этой погрешности.

Согласно ГОСТ Р 8.580-2001 «Определение и применение показателей прецизионности методов испытаний нефтепродуктов», если один оператор, результаты работы которого удовлетворяют требованиям прецизионности метода испытаний, получает серию из n результатов в условиях повторяемости (сходимости) метода и среднее значение этой серии равно X , то с 95% доверительной вероятностью можно допустить, что истинное значение определяемого показателя качества μ находится внутри границ:

$$\begin{aligned} X - \frac{R_1}{\sqrt{2}} \leq \mu \leq X + \frac{R_1}{\sqrt{2}}, \\ R_1 = \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где R — воспроизводимость метода, r — повторяемость (сходимость) метода.

При односторонней постановке задачи (например, для октановых чисел фиксируют только нижнюю границу), производитель товарного бензина, не имеющий другой информации об истинном значении октанового

¹ ИОЧ — октановое число, измеренное по исследовательскому методу.

числа, кроме отдельного результата испытаний, с 95% доверительной вероятностью может быть уверен, что товарный бензин соответствует требованиям спецификации по октановым числам, если результат испытаний μ ограничивается областью значений:

$$\mu \geq X + 0,59 R_1. \quad (2)$$

Расчет коэффициента 0,59 (фактор пересчет) приведен в указанном ГОСТ. Величина $0,59 R_1$ составляет отдачу качества.

При 95% доверительной вероятности в среднем каждое 20-е смешение будет некондиционным (с нарушенным октановым числом). С увеличением доверительной вероятности частота таких «плохих» смешений должна уменьшиться, они будут реже, но при этом возрастет отдача качества.

Если ввести в рассмотрение стоимость повторного смешения, то существует доверительная вероятность погрешности измерения октанового числа, при которой суммарные экономические потери от отдачи качества и повторных смешений, будут минимальными. На рисунке приведен график, иллюстрирующий зависимость отдачи качества $\Gamma(p)$ от значения доверительной вероятности p для одного из российских НПЗ [6]. Значение спецификации октанового числа с оптимальной отдачей качества должно являться заданием для системы управления компаундированием.

Как правило, вопросы отдачи качества при смешении бензинов рассматриваются применительно к октановым числам, однако аналогичные соображения могут применяться и к другим показателям качества. (например, к давлению насыщенных паров). Нарушения «экологических» показателей качества (например, содержания ароматики) могут не иметь большого значения ни для производителя, ни для покупателя товарного бензина. Тем не менее, с одной стороны, соблюдение нормы содержания ароматики дает производителю снижение акциза, а с другой — если контролирующие организации обнаруживают нарушения, производителю грозят большие штрафы.

Задача определения оптимальной рецептуры

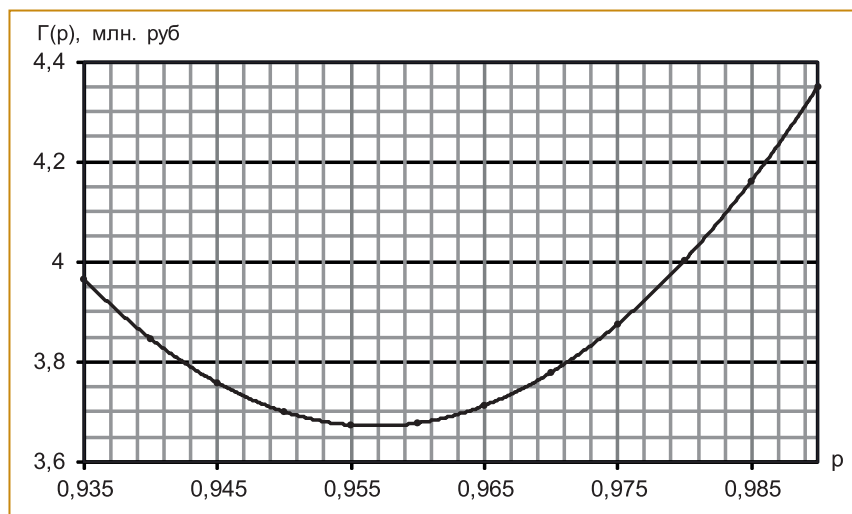
После определения оптимального значения отдачи качества можно задать спецификации для нормируемых показателей качества, и тогда оптимальный рецепт смешения должен гарантировать получение качественного товарного продукта (удовлетворяющего всем спецификациям) с минимальной себестоимостью. Проблема расчета рецептуры смешения состоит в том, что большинство показателей качества смешиваются неаддитивно, то есть

показатель качества смеси нелинейно зависит от соответствующих показателей качества компонентов смешения, поступающих с технологических установок завода. Эта зависимость определяется эмпирически, и при расчете рецепта возникает неизбежная погрешность прогноза показателя качества смеси, тем более что число компонентов смешения может быть достаточно большим.

В задаче определения оптимальной рецептуры необходимо учитывать состояние резервуарного парка — объем и качество начальных запасов компонентов и продуктов, стоимость хранения, требования к конечным запасам, что приводит к еще большему усложнению задачи. Кроме того, требуется принимать во внимание технологические особенности узла смешения, например, ограничение числа возможных компонентов смешения или числа доступных при смешении данной партии бензина компонентных резервуаров.

Все эти факторы приводят к тому, что решить задачу определения оптимального рецепта без использования вычислительных систем становится невозможно, и на сегодняшний день существует несколько программных продуктов крупных компаний, предназначенных для решения данной задачи в режиме off-line. Компания Honeywell предлагает систему оптимизации рецептур и оперативного планирования операций компаундирования BLEND. Система BLEND более 20 лет используется в России и мире, имеет десятки внедрений и доминирует на российском рынке.

Необходимо отметить, что наряду с задачей определения оптимальной рецептуры, существует также задача построения расписаний смешения бензинов, то есть планирования смесительных операций по сменам и часам. Эта задача становится особенно актуальной для цехов смешения с большим ассортиментом смешиваемых бензинов, ограниченным резервуарным парком, работе на высокой нагрузке. При построении расписаний во внимание принима-



Пример функции суммарных экономических потерь от отдачи качества и повторных смешений

ются время отгрузки товарных бензинов, длительность сертификации партии, производительность смесителя и другие «динамические» факторы.

Система BLEND

Система BLEND предназначена для нахождения оптимального (по критерию максимизации прибыли) рецепта смешения партии топлива. Прибыль рассчитывается как разность между доходом от продажи товарного топлива и затратами на производство компонентов смешения. При этом должно учитываться большое число технологических ограничений, и каждое ограничение должно иметь свою «цену», то есть некий «штраф» (в денежном выражении) за нарушение. Эти штрафы должны также входить в затраты на смешение и уменьшать значение критерия оптимизации. Соотношение таких «штрафов» определяет приоритетность задаваемых технологических ограничений, позволяет выявить «узкие» места производства, а в математическом отношении — обеспечить совместность решаемой задачи линейного программирования.

Затраты на смешение определяются в основном ценами компонентов, а доходы — ценами продуктов. Цены компонентов и продуктов необязательно должны соответствовать реальным и могут иметь условный характер для задания приоритетов при расчете рецепта. Гибкость системы позволяет легко сформулировать задачу, когда необходимо максимально близко реализовать задание месячного плана и при этом гарантировать получение качественного продукта.

Нахождение оптимального рецепта представляет собой многомерную нелинейную оптимизационную задачу математического программирования, и поэтому система BLEND обладает мощным решателем задач последовательного линейного и целочисленного программирования.

Основными исходными данными для оптимизации являются:

- качество, число и цена доступных компонентов;
- качество, число и цена запасов в компонентных и товарных резервуарах;
- требования к товарному бензину (спецификация, композиция, целевой рецепт);
- привязка резервуаров к компонентам и продуктам;
- штрафы за нарушение ограничений.

Система BLEND включает ряд известных нелинейных моделей смешения октановых чисел, индексы для нелинейного смешения давления насыщенных паров и наиболее универсальный аппарат нелинейного смешения — бонусы смешения. Необходимо учитывать, что данные могут быть заданы как в объемном, так и в весовом базисе. И смешение свойств может также происходить не только в объемном, но и в весовом базисе (например, по содержанию серы). Имеется возможность задавать не только любые измеряемые показатели качества, но и так называемые комплексные,

то есть рассчитываемые только для товарного бензина. По мере ужесточения экологических требований число таких показателей постоянно растет. Так, уже ГОСТ 228-99 вводит рассчитываемый показатель — индекс паровой пробки и классы испаряемости в зависимости от сезона и региона, а более поздние стандарты уже требуют расчета индексов испаряемости, токсичности и окислов азота.

Кроме этого, система BLEND также моделирует специфику смесительных операций, например:

- позволяет производить группировку продуктов и/или компонентов для ограничения общего покупаемого или продаваемого объема;
- позволяет задавать время "задержки", необходимое для отгрузки продукции (продукт может быть смешан сегодня, а отгружен через два дня);
- поддерживает использование различного смесительного оборудования (в коллекторе или в резервуаре);
- может отслеживать влияние присадок;
- позволяет производить предварительный пулинг (объединение) потоков (направление нескольких компонентов в один резервуар для компонентов), варьировать во времени, какой поток идет в какой резервуар;
- может ограничить число компонентов смешения (определяется возможностями станции смешения);
- позволяет использовать несколько продуктовых резервуаров для одного и того же продукта;
- позволяет планировать на несколько суток вперед (многопериодность), то есть учет потребностей последующих периодов работы товарного производства;
- учитывает минимальный и максимальный объем смешения для каждого смесителя;
- генерирует диаграмму изменения качества для каждого показателя качества, каждого компонента, продукта или резервуара.

Нелинейные модели смешения нуждаются в систематической коррекции, и при наличии поточно-го анализатора, который измеряет качество смеси, система BLEND позволяет автоматически пересчитывать бонусы смешения для каждого показателя качества. Эта опция, используя алгоритмы регрессионного анализа, накопленную информацию по рассчитанным и фактическим рецептам и показателям качества, периодически пересчитывает бонусы, минимизируя невязку между расчетными и фактическими показателями.

Система BLEND имеет дополнительный модуль для построения расписаний выполнения смесительных операций. Использование такого модуля позволяет заранее спланировать расписание работы технологического оборудования, график лабораторных анализов готовой продукции и операции по ее отгрузке.

Задача on-line управления

Программные off-line продукты существуют давно, и накоплен большой практический опыт их исполь-

зования по всему миру. Тем не менее, использование только этих систем оказывается недостаточным, чтобы гарантировать отсутствие повторных смещений и максимально точно реализовать оптимальный рецепт. Часть качественных показателей бензинов имеют нелинейные законы смешения, и при моделировании этих законов неизбежны погрешности в прогнозе свойств конечного продукта. Кроме того, свойства компонентов, используемые в момент расчета рецепта, могут не соответствовать значениям в момент смешения, и даже в процессе смешения партии бензина (6...10 ч) происходит изменение качественных показателей компонентов из-за нестабильности режимов технологических установок. И, наконец, реализация рецепта может выполняться с некоторой погрешностью. Эти обстоятельства требуют постоянного отслеживания и корректировки рецепта в процессе смешения партии.

Развитие поточных анализаторов качественных характеристик нефтепродуктов, произошедшее в последние годы, позволяет в реальном времени отслеживать качество смешиваемого топлива и использовать эти данные в качестве обратной связи в системе управления. В случае обнаружения отклонения показателей топлива от целевых значений будут вноситься корректирующие изменения в начальный рецепт смешения. При этом все эти изменения должны выполняться так, чтобы в текущих условиях производить бензин с минимальной себестоимостью. Таким образом, и при оперативной корректировке рецепта необходимо использовать автоматизированную оптимизационную систему. Это должен быть специальный оптимизатор, работающий в темпе с измерениями поточного анализатора, поскольку требуется большая оперативность, иной набор исходных данных (по сравнению с вышеуказанными системами) и высокая степень интеграции с распределенной системой управления (PCY).

Очевидно, что систему оперативной корректировки рецепта невозможно реализовать без АСУ смешением (встраиваемой в PCY), максимально точно реализующей требуемый рецепт приготовления партии (управляя технологическим оборудованием смешения) и позволяющей модулю оптимизации автоматически вносить изменения в этот рецепт.

Таким образом, задача оптимизации смешения нефтепродуктов усложняется как наличием уже указанных ранее нелинейных зависимостей и нелинейных ограничений, так и необходимостью on-line управления (отслеживания и реализации в РВ найденной заранее оптимальной рецептуры), минимизируя при этом норму текущего отклонения от нее или другой экономической критерий.

Система on-line оптимизации — OpenBPC

Рассчитанный в системе BLEND начальный рецепт поступает в систему on-line оптимизации Open Blend Property Control (OpenBPC). Задание на сме-

шение содержит следующую информацию: используемый смеситель; настройки смешения, включая тип рецептуры компонентов, марку смеси и режим управления; плановый объем партии; плановый расход и связанные пределы расхода; продуктовый резервуар; объем остатка в резервуаре и значения его свойств при запуске смешения (если это применимо); первоначальная рецептура компонентов (в процентах или расходах); первоначальные значения концентрации присадок; оборудования источника сырья, из которых будут поступать компоненты и присадки в смеситель; спецификации свойств для продукта.

Система on-line оптимизации в такте работы поточных анализаторов корректирует текущую рецептуру в соответствии с заданным критерием оптимизации. Критерий может быть выбран из нескольких возможных: регулирование свойств смеси, минимизация стоимости смеси, исходя из стоимостей компонентов смешения, минимизация запаса качества или минимизация отклонения текущей рецептуры от заданной. Последний критерий при наличии системы off-line оптимизации используется по умолчанию: on-line модуль минимизирует отклонения от начального оптимального (экономически наиболее выгодного) рецепта, найденного off-line. Остальные критерии оптимизации можно использовать при автономной (без off-line оптимизации) работе системы on-line оптимизации. При необходимости можно линейно комбинировать те или иные критерии и составить более сложный комплексный критерий.

On-line модуль предусматривает два режима работы: мгновенное управление свойствами — поддерживает заданные значения свойств смеси на выходе из смесителя, и управление свойствами резервуара — поддерживает заданные значения свойств в товарном резервуаре (TPC — Tank Property Control). Первый режим используется при отгрузке непосредственно в продуктопровод или танкер, второй — при подаче смеси в товарный резервуар. Режим управления свойствами резервуара для российских НПЗ наиболее актуален, так как смесь, как правило, подается в товарный резервуар. Одним из важных конфигурируемых параметров при этом является так называемый объем «управления качеством». Это тот объем в товарном резервуаре (в процессе смешения), после достижения которого смешанный объем должен удовлетворять спецификации. Обычно объем «управления качеством» составляет 80% от заданного объема смешения партии (целевого объема смешения). При каждом цикле расчета рецепта OpenBPC принимает во внимание текущее качество запаса в резервуаре и оставшийся объем партии. Поэтому в режиме TPC качество смеси на выходе из коллектора может быть как выше, так и ниже спецификаций в зависимости от свойств резервуара, но в конечном итоге реализуется наиболее эффективный сценарий приготовления конечного продукта.

В нормальной штатной ситуации система on-line оптимизации работает в автоматическом режиме без участия оператора. Все необходимые структуры, модели и параметры конфигурируются заранее.

Сигнал от поточного анализатора поступает в блок проверки достоверности, где проверяется по нескольким критериям: нижняя и верхняя границы допустимого изменения, скорость изменения показателя за один такт измерения, зависание (неизменяемость значения за несколько тактов) и пр. Сигнал от анализаторов учитывается системой управления только в случае положительного результата такого тестирования.

Важной функцией системы on-line оптимизации является учет динамики анализатора, поскольку от момента изменения рецепта (положения регулирующего клапана на потоке какого-нибудь компонента) до изменения показания анализатора качества смеси, соответствующего новому рецепту, проходит некоторое время, и анализатор покажет адекватное значение с задержкой. Задержка связана как с транспортным запаздыванием (измерительный блок анализатора может находиться на удалении от выхода коллектора смешения), так и с цикличностью измерения.

Динамическая модель анализатора используется для вычисления и компенсации погрешности расчета качества смеси — товарного бензина. Это вычисление осуществляется на каждом такте работы анализатора и начинается с вычисления разницы между измерением анализатора и расчетным значением качества. Затем эта разность фильтруется (чтобы сгладить случайные ошибки измерения) и прибавляется к расчетному значению свойств продукта. Таким образом, происходит корректировка модели, периодически уточняющая расчет рецепта. Принимая во внимание известную динамику и время реакции анализаторов, система on-line оптимизации оценивает значения компенсации, не ожидая завершения периода задержки анализаторов, и таким образом работает быстрее.

Система управления смешением — Experion BLEND Controller (EBC)

Основные управляющие функции по реализации текущего рецепта как конечной стадии решения всей задачи управления станцией смешения бензинов выполняет специальная система управления (EBC). Последняя может работать в нескольких режимах: отслеживание текущего рецепта, поступающего из on-line модуля (соотношение компонентов); поддержание заданного рецепта на всем периоде смешения партии продукта; корректирующий режим — регулирование заданных показателей смеси. Режимом по умолчанию является соотношение компонентов, при котором EBC в каждый момент времени отслеживает и реализует рецепт, найденный в on-line модуле. Другие режимы предусмотрены на случай работы без on-line модуля и отражают наиболее важные производственные ситуации. Наличие многорежимных возможностей EBC повышает надежность всей системы управления.

Основные функции EBC:

- автоматическое управление смесителем и связанным с ним оборудованием (насосами, регуляторами потока, анализаторами);
- проверка правильности задания рецептуры;
- поддержание соотношения компонентов в соответствии с рецептом;
- снижение общего расхода смешения при невозможности выдержать задание для одного из регуляторов;
- on-line изменение рецепта, резервуаров источника и назначения смеси в процессе смешения;
- генерация отчетов о смешении.

В EBC конфигурируются списки потоков, насосов, регулирующих клапанов, компонентных и товарных резервуаров, анализаторов. Задается порядок пуска/останова насосов, положения отсечных заслонок и регулирующих клапанов, динамика разгона смесителя до целевого расхода и постепенной остановки при смешении целевого объема смеси. EBC автоматически ведет весь процесс смешения, начиная с запуска насосов и соответствующей установки регулирующих клапанов, выхода на режим, и заканчивая остановкой насосов после смешения заданного объема товарного бензина. Оператор имеет возможность следить за ходом ТП, показаниями анализаторов, может изменять рецептуру, расход и целевой объем смешения и т. п., не останавливая процесс.

Запуск смешения выполняется следующим образом: клапан обратного избыточного давления приемного коллектора (если используется) устанавливается в predetermined положение. Насосы компонентов и присадок запускаются в установленной последовательности, и регуляторы расхода начинают открываться, все это происходит под управлением EBC. Расходы потоков компонентов и присадок регулируются, чтобы гарантировать объемную точность смешения как в установившемся состоянии, так и в условиях кратковременного разгона.

При возникновении ситуации в процессе смешения, когда один из регуляторов расхода компонента не может обеспечить реализацию заданного потока (клапан открыт на 100%, но расход ниже требуемого значения), EBC снижает общий расход смешения таким образом, чтобы все регуляторы расхода обеспечивали выполнение задания, и гарантировалась требуемое соотношение компонентов.

Данные по смешению, используемые в EBC:

- общие данные смешения — идентификация рецепта, сорт бензина, описание, ID партии (если требуется), назначение смеси, целевой объем, целевая скорость потока, режим смешения (соотношение, балансировка или коррекция объема) и использование анализатора;
- данные рецептуры — смешиваемые материалы (компоненты и присадки), источники материала (резервуары или граничные точки), рецептура (%) компонентов, концентрации присадок, нижние

и верхние пределы вовлечения компонентов и при-
садок;

- выбор материала для каждого регулятора расхода;
- выбор насоса для каждого регулятора расхода, используемого в смешении;
- данные по свойствам — для каждого измеряемого свойства предназначен свой анализатор, а также вводятся данные по целевому значению свойства, нижнему и верхнему предельному значению свойства, значению свойства остатка и значению свойства остатка в резервуаре назначения.

Поточный анализ

Для реализации on-line управления процессами компаундирования необходим поточный анализ качества (свойств) смеси, а иногда и компонентов смешения. ЗАО «Хоневелл» имеет опыт работы в России с различными поточными ИК анализаторами (FT-NIR Matrix-F, NIR Beacon 3000, NIR Guided Wave, FTIR Analect) и специальными поточными анализаторами для измерения содержания серы, бензола, давления насыщенных паров и др. ИК анализаторы являются дорогими и сложными оптико-механическими приборами, системы пробоотбора требуют систематического квалифицированного технического обслуживания. Систематически необходимо корректировать калибровочные модели. Вопреки довольно распространенному мнению, применение ИК анализаторов не приводит к сокращению числа лабораторных измерений, так как результаты ходовых анализов требуются для валидации калибровки как на стадии внедрения, так и в процессе эксплуатации. Вопросы построения и валидации калибровочных моделей, точности поточного анализа, сравнения различных типов анализаторов рассматриваются в статьях [5,6].

Экономические результаты

Повышение прибыли НПЗ в результате внедрения рассматриваемых систем возможно по двум основным направлениям: снижение «отдачи качества», снижение себестоимости продуктов смешения.

Вопросы, связанные с «отдачей качества» подробно рассмотрены в начале статьи и, по сути, представляют собой потери от продажи более качественного продукта по цене менее качественного. Возможности же оптимизации себестоимости смешения связаны с тем, что один и тот же товарный продукт (бензин) можно получить из имеющегося набора компонентов большим числом различных вариаций (рецептур).

Как правило, НПЗ выпускает широкую номенклатуру продуктов одного типа (например, бензинов) различной стоимости. Компоненты смешения, поступающие с технологических установок, также характеризуются различными стоимостями. И хотя точно определить цену каждого из выпускаемых компонентов достаточно проблематично, очевидно, что более высокооктановые компоненты являются

и более дорогими. Необходимо отметить также, что в некоторых случаях часть компонентов смешения закупается заводом у сторонних производителей по цене более высокой, чем цена конечного бензина (например, МТБЭ), и экономия этих компонентов может дать значительную дополнительную прибыль.

При расчете рецептур смешения необходимо рассматривать задачу сразу для всех продуктов (бензинов), которые запланированы к выпуску в ближайшую смену или даже несколько смен. В противном случае возможна ситуация, когда дорогие компоненты будут истрачены на низкооктановые бензины, увеличивая их себестоимость.

При использовании off-line систем наибольший эффект достигается именно за счет оптимизации себестоимости продуктов путем решения многомерной задачи математического программирования [7]. Снижение же «отдачи качества» возможно лишь до некоторого предела, после которого возрастает риск получения брака. Причины этого ограничения кроются в погрешности прогнозирования значений свойств конечного продукта. То есть между расчетными значениями и результатами измерения свойств лабораторией всегда будет наблюдаться разница, снизить которую не удастся. Эта погрешность прогнозирования обусловлена неточностью самой модели (из-за нелинейностей смешения свойств), ошибочными исходными данными (как правило, ходовой контроль качества компонентов выполняется нерегулярно и характеризуется погрешностью метода измерения), а также не всегда точной реализацией рецептуры на смесительном оборудовании. Наличие всех этих факторов, в конечном итоге, приводит к тому, что в модель off-line систем необходимо закладывать дополнительный «запас качества», что снижает эффективность использования таких систем.

Применение механизма компенсации модели смешения по показаниям поточных анализаторов в on-line системах позволяет значительно снизить влияние проблем точности модели, исходных данных и реализации рецепта, поскольку все эти погрешности нивелируются механизмом компенсации. В on-line системах минимальное значение «отдачи качества» определяется лишь точностью поточного анализатора на выходе из смесителя, что при правильной калибровке способно достаточно быстро окупить высокую стоимость прибора и получать дополнительную прибыль. Однако рецепт, найденный on-line системой, вряд ли окажется экономически эффективным в рамках всего цеха смешения. Дело в том, что on-line системы рассматривают задачу управления производством только одной партии продукта, не принимая во внимание существенную часть соображений, учитываемых экономистами производства.

Таким образом, каждая из двух типов оптимизационных систем (on- и off-line) обладают своими преимуществами, но они способны обеспечивать

наибольшую эффективность лишь в связке (когда в качестве задания для on-line оптимизации задан рецепт, полученный при решении задачи off-line оптимизации, а в качестве цели — минимизация отклонения от этого рецепта). Первая же АССБ, внедренная ЗАО «Хоневелл» в России, которая реализует всю линейку рассматриваемых систем (BLEND, OpenBPC, EBC), позволила получить 6,7 млн. долл. США экономического эффекта за первый год эксплуатации [4].

Список литературы

1. Дудников Е. Е., Цодиков Ю. М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. М.: Энергия. 1979.
2. Соркин Л. Р., Хохлов А. С., Ефитов Г. Л., Цодиков Ю. М., Хоботов Е. Н. Опыт оптимизации текущего и оперативного планирования на российских нефтеперерабатывающих заводах с использованием программных продуктов кор-

порации Honeywell // Автоматизация в промышленности. 2004. №11.

3. Шестаков Н. В., Ефитов Г. Л. Специализированные прикладные компьютерные системы и комплексы как инструмент снижения затрат в нефтепереработке // Нефтяное хозяйство. 1998. №8.
4. Аносов А. А., Ефитов Г. Л., Пузин Д. Г. Автоматизированная система оптимального управления станцией смешения бензинов на НПЗ // Автоматизация в промышленности. №4. 2010.
5. Аносов А. А., Ефитов Г. Л., Зусман С. Д. Опыт использования ИК-спектрометрии для измерения свойств бензинов на НПЗ // Автоматизация в промышленности. №7. 2012.
6. Аносов А. А., Ефитов Г. Л., Зусман С. Д. Задачи оптимизации смешения товарных бензинов в реальном времени с использованием поточного анализа качества смеси // Автоматизация в промышленности. № 6. 2013.
7. Dantzig G. Linear Programming and Extensions. Princeton University Press. Princeton. 1963.

*Аносов Андрей Александрович — канд. техн. наук, руководитель группы,
Ефитов Григорий Леонидович — канд. техн. наук, старший консультант ЗАО "Хоневелл".
Контактный телефон (495) 796-98-00.*

Honeywell помогла компании Phillips 66 оптимизировать пропорции смесей при помощи OpenBPC

Энергетическая компания Phillips 66 приняла решение провести модернизацию системы компаундирования бензина на одном из 15 своих НПЗ в г. Лос-Анджелесе. Для реализации проекта руководство Phillips 66 выбрало систему управления смешением OpenBPC компании Honeywell. НПЗ в Лос-Анджелесе производит 139 тыс. баррелей в день. Завод перерабатывает в основном тяжелые сорта нефти с высоким содержанием серы. Система компаундирования включает 20 компонентов смешения, 24 характеристики продукции, резервуары для компонентов, неспециализированные насосы и управляющую систему Foxboro® I/A.

Поскольку существующие на заводе системы не обладали возможностью расширения, необходимой для создания новых смесей и соблюдения изменяющихся требований законодательства, встал вопрос о модернизации оборудования и ПО. Однако внедрение новой системы компаундирования вызывало определенные трудности:

- интегрировать все функции управляющей системы, включая инициализацию контуров, системы аварийной сигнализации и трендов. (Для Honeywell это был один из первых проектов по установке OpenBPC на Foxboro® I/A с применением OPC — OLE-системы для управления процессами, обеспечивающей взаимодействие различных средств автоматизации и управления);
- реализовать смешение компонентов из резервуаров, оборудованных измерительными приборами;
- использовать насосы и резервуары, которые не были выделены под какие-то конкретные цели.

Кроме того, новая система должна была соответствовать целому ряду требований к компаундированию, включая требования нового стандарта CARB3, а также предусматривать возможность добавления новых свойств в схемы оптимизации и повышать качество мониторинга: сравнивать планируемые показатели с фактическими результатами.

Специалисты Honeywell заменили существующую систему компаундирования бензина системой OpenBPC- решением, которое обеспечивает эффективность управления,

соответствие смеси заданным требованиям и оптимизацию рецептур смешения. Для каждой смеси система сама определяет набор и относительные пропорции компонентов в соответствии со спецификациями готовой продукции, а также с учетом стоимости, наличия и характеристик доступных смесевых компонентов. В системе используется блок нелинейной оптимизации: оптимизирует рецепт смеси, опираясь на данные поточного анализатора, поступающие через контрольные промежутки времени. Блок оптимизации гарантирует соблюдение спецификаций продукции при выполнении одной или нескольких поставленных задач: минимизация отклонения свойства смеси от нормативных значений, минимизация цены смеси на основе цен компонентов, минимизация отклонения свойств от верхнего или нижнего пределов спецификаций, основанная на цене свойства, минимизация отклонения от текущей целевой рецептуры или от верхнего или нижнего пределов для компонента.

Система OpenBPC позволила операторам привязывать насос к конкретному резервуару, что устранило одно из ограничений существующей системы смешения. Кроме того, благодаря простому пользовательскому интерфейсу стало удобно вносить изменения в задания, которые потом отправляются в систему управления.

В ходе выполнения проекта специалисты Honeywell проверили встроенные функции оптимизации и обеспечили возможность контролировать более 14 параметров. Решение Uniformance® PHD помогло повысить качество мониторинга за счет анализа данных о тенденциях из журналов истории, а система OpenBPC позволила получать отчеты о смеси для каждого цикла оптимизации. Решение было протестировано в автотомных условиях. Фактические результаты сравнили с плановыми показателями и с показателями НПЗ Phillips 66 в г. Родео (Калифорния) с целью подтвердить соответствие требованиям стандарта CARB3. Также новая система помогла существенно снизить «отдачу качества» и повысить надежность системы компаундирования.

[Http://www.honeywell.com/ps](http://www.honeywell.com/ps)