

рации и фазы изготовления разных серий продукта, легко выявить различия в технологии. Кроме того, модуль позволяет изучать таблицы производительности и временные ряды.

Модуль *Multi Batch Timeline* (временные линии нескольких серий) представляет процессы изготовления нескольких серий. На графике виден ход выполнения каждого периодического процесса с указанием процедур, аппаратных процедур и операций.

Batch Summary (сводка периодического процесса) предоставляет отчет об истории процесса и подробные сведения о процедуре и параметрах определенного процесса. Сводка включает таблицу процедур и параметров с перекрестными ссылками и списки переменных и параметров для каждого аппарата (аппаратной процедуры). Соответствие техническим условиям кодируется цветом ячейки таблицы.

Функция *Batch Trending* позволяет создавать и сохранять графики тенденций для любых переменных и стадий периодического процесса и сопоставлять их. На одном экране могут быть представлены графики для нескольких серий продуктов. Возможность динамически вводить переменные периодического процесса и даже отдельные точки из архива данных еще больше расширяет средства анализа. Удобные диало-

говые окна помогают быстро модифицировать тренды по мере необходимости. Для облегчения работы с трендами предусмотрены контекстные элементы дисплея, в том числе маркеры значимых событий и пунктирные интервалы каждой тенденции.

Сводка результатов анализа периодического процесса дает ценнейшую информацию, благодаря которой можно увеличить воспроизводимость операций периодического процесса и сделать качество продукции стабильно высоким.

Заключение

Современные рецептурные решения позволяют добиться более высокого и стабильного качества при одновременном росте производительности. Они повышают скорость и воспроизводимость выполнения рецептов, а также помогают обслуживающему персоналу устранять неисправности и оптимизировать работу оборудования, что увеличивает рентабельность производства.

Разработка разумной, согласованной с бизнес-планом стратегии автоматизации, включающей хорошую систему рецептурного управления, способна ускорить выпуск товаров на рынок, повысить их качество и завоевать доверие разборчивых покупателей.

Контактный телефон (495) 739-68-60. [Http:// www.ge-ip.com/ru](http://www.ge-ip.com/ru)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНЦИЕЙ СМЕШЕНИЯ БЕНЗИНОВ НА НПЗ

А.А. Аносов, Г.Л. Ефитов (ЗАО "Хоневелл"),
Д.Г. Пузин (ООО "ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка")

Рассмотрена задача оптимизации рецептур смешения товарных бензинов и предложена трехуровневая система управления для решения этой задачи в реальном времени. Описано внедрение предложенной системы управления на Волгоградском НПЗ и результаты ее эксплуатации.

Ключевые слова: бензин, компонент, оптимальная рецептура, off-line и on-line модули, поточный анализатор.

Развитие автоматизации на современных российских НПЗ можно охарактеризовать как внедрением систем оперативного управления (от уровня MES — систем оптимального производственного планирования уровня RPMS и PIMS до уровня APC), так и модернизацией полевого оборудования — установкой на основные технологические потоки массовых расходомеров, современных регулирующих клапанов и т.п.

В части управления batch-процессами товарного производства эти обстоятельства — наличие систем оптимального управления производством "сверху" и современных КИП "снизу", а также большие возможности оптимизации операций компаундирования, позволяют эффективно внедрять комплексные системы оптимального управления станциями смешения товарных нефтепродуктов.

Эффективность подобных систем повышается при наличии информационной базы — лабораторных систем типа LIMS и БД состояния компонентных и товарных резервуарных парков.

И если задача off-line оптимизации рецептур известна достаточно давно [1], и системы для ее реализации используются на российских НПЗ уже более 10 лет [2, 3], то гораздо более сложными в техническом отношении являются задачи нижнего уровня управления. Они требуют наличия on-line оптимизации, обратной связи и поточного анализатора качества смеси. Но эти системы являются и наиболее важными, так как обеспечивают поддержание и автоматическую реализацию исходного оптимального рецепта, что, в конечном счете, и обеспечивает большой экономический эффект. На сегодняшний день на территории СНГ внедрена только одна система такого класса (на Волгоградском НПЗ). В статье рассмотрены задачи, структура и состав системы оптимального управления процессами смешения и в качестве примера — результаты этого внедрения.

Задача оптимизации рецептур

Конечной стадией получения основных товарных нефтепродуктов как топлив, так и масел являются

операции смешения. Мы рассмотрим задачу смешения бензинов, но все предлагаемые решения применимы и для управления смешением других товарных нефтепродуктов.

Основной задачей товарного производства НПЗ является получение бензинов с заданными спецификациями — показателями качества, удовлетворяющими техническим и экологическим требованиям к соответствующей марке бензина и определяемыми государственными стандартами. Компоненты смешения имеют различные значения показателей качества как выше, так и ниже соответствующих требований ГОСТа для товарных бензинов и соответственно различную стоимость. Система управления смешением должна определять и поддерживать оптимальную рецептуру приготовления партии бензина таким образом, чтобы с минимальными затратами получать требуемые товарные продукты, удовлетворяющие ГОСТам. Как правило, минимизация затрат эквивалентна минимизации "запаса качества" товарных продуктов.

Различают измеренный и скрытый "запас качества". Измеренный "запас качества" (отдача качества) — превышение измеренными показателями качества товарного бензина минимальных нормативных ограничений, требуемых спецификациями, или аналогично недостижение максимальных ограничений. Однако это имеет смысл для показателей, ограничиваемых ГОСТом снизу или сверху. (При двусторонних ограничениях говорить о запасе качества уже нельзя). Избежать "запаса качества" по всем качественным характеристикам невозможно, так как число компонентов смешения ограничено, и они обладают конкретными значениями показателей качества. Даже при оптимальном смешении можно минимизировать, в общем случае, только "запас качества" для одного показателя, но при этом другие показатели могут превышать заданную спецификацию.

Об измеренном запасе качества имеет смысл говорить только для тех показателей, которые определяют цену товарного бензина, то есть реально влияют на экономические показатели. Например, согласно ГОСТ Р 51866 — 2002 (соответствует евро нормам EN 228-99) разница в требованиях к бензинам Премиум Евро-95 и Супер Евро-98 состоит только в октановых числах. Именно октановые числа определяют разницу цены этих бензинов, и только для октанов имеет смысл понятие запаса качества. Если, например, содержание бензола окажется ниже требуемого, это не повлияет на конечную цену товарного бензина.

К какому минимуму измеренного запаса качества нужно стремиться? Искомый минимум определяется двумя обстоятельствами — погрешностью измерения показателя и риском повторного смешения (если показатель оказался вне нормы). При этом имеет значение не только точность измерения при оформлении товарного сертификата (паспорта) на НПЗ, но и измерения покупателя. Например, центральная заводская лабора-

Д. У. Менделеев жил в эпоху, когда людям снились периодические таблицы, нашим современникам снятся периодические процессы...

Журнал "Автоматизация в промышленности"

тория (ЦЗЛ) на НПЗ измеряет исследовательское октановое число по стандарту prEN ISO 5164 (сходимость 0,2; воспроизводимость 0,7), а покупатель пользуется измерениями по ГОСТ Р 8.580 — 2001 (сходимость 0,5; воспроизводимость 1 — с 95% доверительной вероятности). Тогда, если принять для системы оптимизации задачу качества 0,2 или даже 0,5, то можно получить рекламу от покупателя: бензин, отпущенный с завода с исследовательским октановым числом (ОИЧ) 95,5, может при проверке покупателем показать ОИЧ 94,5.

Скрытый "запас качества" — это разница стоимости смешения между используемым и оптимальным рецептом. Например, можно смешать точно по спецификации дешевый товарный бензин, направляя в него дорогие компоненты, что приведет к необоснованному превышению себестоимости продукта. Эти потери и отражают собственно скрытый "запас качества".

Таким образом, оптимальный рецепт смешения должен гарантировать получение качественного товарного продукта (удовлетворяющего всем спецификациям) с минимальной себестоимостью, то есть минимальным "запасом качества". Проблема расчета рецепта состоит в том, что большинство показателей качества смешиваются неаддитивно, то есть показатель качества смеси нелинейно зависит от соответствующих показателей качества компонентов смешения. 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. Также необходимо учитывать состояние резервуарного парка — объем, качество и стоимость начальных запасов компонентов и продуктов, стоимость хранения, требования к конечным запасам, что приводит к еще большему усложнению задачи.

Часто возникают и более сложные требования, например, нужно ограничить число возможных компонентов смешения или число 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, предназначенных для решения данной задачи в режиме off-line (BLEND — Honeywell, BPO — Foxboro, MBO — AspenTech).

Необходимо отметить, что наряду с задачей определения оптимальной рецептуры, существует также еще одна задача, связанная с построением расписаний смешения бензинов. 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 принимаются время отгрузки товарных бензинов, длительность сертификации партии, производительность смесителя и другие "динамические" факторы. Некоторые программные пакеты для расчета рецептур имеют встроенный модуль построения расписаний.

Необходимость on-line управления

Программные off-line продукты существуют достаточно давно и накоплен большой практический опыт их использования по всему миру. Тем не менее, использование только этих систем оказывается недостаточным, чтобы гарантировать отсутствие повторных смешений и минимизацию "запаса качества" готового продукта. Как уже упоминалось ранее, 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 (6...10 часов) 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 текущего рецепта смешения партии.

Развитие поточных анализаторов качественных характеристик нефтепродуктов, произошедшее в последние годы, позволяет в реальном времени отслеживать качество смешиваемого бензина и использовать эти данные в качестве обратной связи в системе управления. В случае обнаружения отклонения показателей бензина 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 (как правило, встраиваемой в PCY), максимально точно реализующей требуемый рецепт приготовления пар-

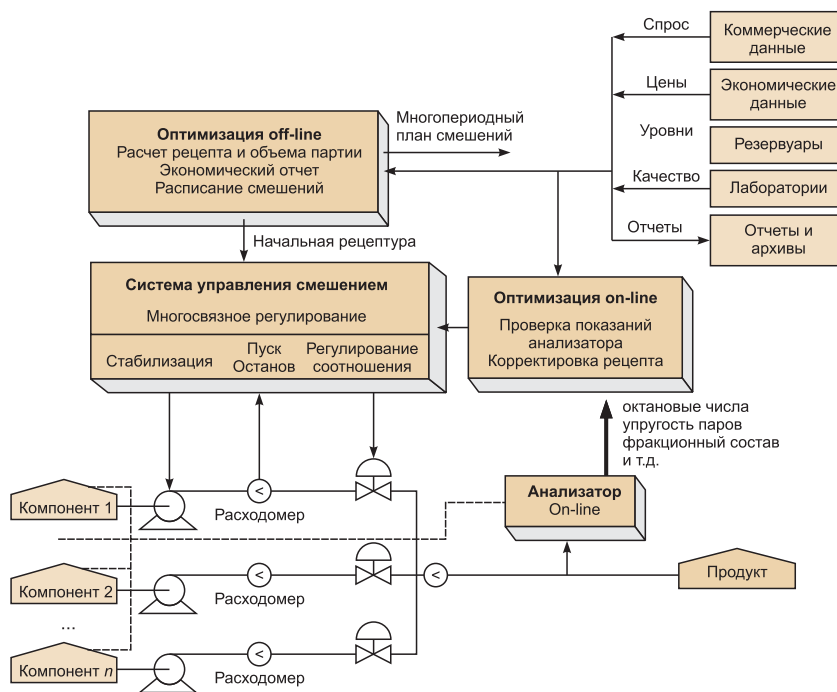


Рис. 1. Трехуровневая система управления

тии (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, а также нелинейных ограничений, так и необходимостью on-line управления, то есть отслеживания и реализации в РВ найденной заранее оптимальной рецептуры, минимизируя при этом норму текущего отклонения от нее или экономического критерий. Это приводит к построению трехуровневой системы управления (рис. 1):

- off-line оптимизация (начальный оптимальный рецепт);
- on-line оптимизация (оптимизация текущего рецепта);
- PCY (автоматическое ведение процесса смешения).

Модуль off-line оптимизации решает задачу нахождения экономически оптимальной рецептуры. При этом учитываются цены товарных бензинов, компонентов, имеющихся запасов, качество компонентов и запасов, требования к товарным бензинам, различные технологические ограничения, нелинейные эффекты смешения и др.

Рассчитанный в модуле off-line оптимальный рецепт поступает в систему управления смешением и модуль on-line оптимизации. PCY смешением при этом автоматически выбирает маршрут подачи каждого компонента (открывая/закрывая отсечные заслонки и клапаны), автоматически запускает насосы в заданной последовательности, управляет регуляторами потоков, осуществляет мониторинг смешения. При этом в процессе смешения модуль on-line опти-

мизации циклически (каждые 5...10 мин.) корректирует начальный рецепт в соответствии с текущим качеством смеси и компонентов, измеряемым поточным анализатором. Критерием оптимизации может быть минимизация отклонения от начального рецепта, минимизация отдачи качества и др. Этот скорректированный рецепт передается в РСУ, которая обрабатывает его. По достижении заданного объема партии РСУ автоматически останавливает смеситель. При этом гарантируется получение заданного объема смеси заданного качества.

Off-line модуль

Off-line модуль предназначен для нахождения начального оптимального (по критерию максимизации прибыли) рецепта смешения партии бензина. Прибыль рассчитывается как разность между доходом от продажи товарного бензина и затратами на производство компонентов смешения. Так как при этом должно учитываться большое число технологических ограничений, то каждое ограничение должно иметь свою "цену", то есть некий "штраф" (в денежном выражении) на нарушение. Эти "штрафы" должны также входить в затраты на смешение и уменьшать прибыль. Наличие "штрафов" определяет приоритетность задаваемых технологических ограничений, позволяет выявить "узкие" места производства, а в математическом отношении — обеспечить совместность решаемой задачи линейного программирования.

Задача нахождения оптимального рецепта представляет собой многомерную нелинейную оптимизационную задачу и off-line модуль должен обладать мощным решателем задач последовательного линейного и целочисленного программирования.

Основными исходными данными для оптимизации являются:

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

Модуль должен включать различные известные нелинейные модели смешения октановых чисел, индексы для нелинейного смешения давления насыщенных паров и наиболее универсальный аппарат нелинейного смешения — бонусы смешения. Необходимо также учитывать, что данные могут быть заданы как в объемном, так и в весовом базисе, и смешение может также происходить не только в объемных рецептурах, но и в весовых (например, по содержанию серы). Должна иметься возможность задавать не только любые измеряемые показатели качества, но и так называемые комплексные, то есть показатели, 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.

Off-line модуль должен также моделировать специфику смесительных операций, например:

- позволять производить группировку продуктов и/или компонентов для ограничения общего покупаемого или продаваемого объема;
 - позволять задавать время "задержки", необходимое для отгрузки продукции;
 - определять "смеситель в трубе", то есть смешение продуктов непосредственно в трубопроводе;
 - иметь возможность отслеживать влияние при-садок;
 - позволять производить предварительный пулинг (объединение) потоков, то есть направление нескольких компонентов в один резервуар для компонентов, варьировать во времени, какой поток идет в какой резервуар;
 - иметь возможность ограничения числа компонентов, используемых при смешении (возможности станции смешения);
 - учитывать специфику сертифицированного смесителя (производящего бензин только установленного качества);
 - иметь опцию использовать один резервуар компонентов из нескольких возможных;
 - иметь опцию использовать несколько продукто-вых резервуаров для одного и того же продукта;
 - учитывать минимальный объем смешения для каждого смесителя и периода;
 - использовать многопериодность, то есть учет потребностей последующих периодов работы товарного производства;
 - учитывать нелинейные эффекты смешения при расчете свойств товарных нефтепродуктов;
 - использовать в расчетах "бонусы" смешений и перерасчет их текущих значений для каждой смеси нефтепродуктов;
 - учитывать минимальный объем смешения для каждого продуктового резервуара;
 - учитывать минимальный и максимальный объем смешения для каждого смесителя;
 - генерировать диаграмму изменения качества для каждого показателя качества, каждого компонента, продукта или резервуара.
- Учитывая необходимость коррекции нелинейных моделей смешения и наличие поточного анализатора, который фиксирует качество смеси, модуль должен автоматически пересчитывать бонусы смешения для каждого показателя качества. Эта опция должна, используя алгоритмы регрессионного анализа, накопленную информацию по рассчитанным и фактическим рецептам и показателям качества, периодически пересчитывать бонусы, минимизируя невязку между расчетными и фактическими показателями.

Off-line модуль может включать также дополнительную программу для построения расписаний выполнения смесительных операций. Использование такой программы позволит заранее спланировать расписание работы технологического оборудования, график лабораторных анализов готовой продукции и операции по ее отгрузке.

On-line модуль

Рассчитанный в off-line модуле начальный рецепт поступает в систему on-line оптимизации. Другой важной исходной информацией для системы on-line оптимизации являются показания поточных анализаторов.

Поступающий рецепт содержит следующую информацию:

- смеситель, который будет использован;
- спецификации смешения, включая тип рецептуры компонента, марку смеси и режим управления;
- плановый объем смеси;
- плановый расход и связанные пределы расхода;
- оборудование места назначения смеси;
- объем остатка и значения его свойств в месте назначения при запуске смешения (если это применимо);
- первоначальная рецептура компонентов и связанные установки оптимизации (например, плановый процент от объема или расход, пределы и цена);
- первоначальные значения концентрации присадок;
- оборудования источника сырья, из которых будут поступать компоненты и присадки в смеситель;
- спецификации свойств, включая плановые значения свойств, для продукта смешения, связанные установки оптимизации и значения модели смешения.

Система on-line оптимизации должна в такте работы поточных анализаторов корректировать 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 и 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. Первый режим используется при отгрузке непосредственно в продуктопровод или танкер, второй — при подаче смеси в товарный резервуар.

Этот второй режим для российских НПЗ наиболее актуален, так как смесь всегда 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 которого смешанный объем будет удовлетворять спецификации. По умолчанию этот объем составляет, как правило, 80% от заданного объема смешения партии (целевого объема смешения). Задается также минимальный объем, по умолчанию 5% от целевого объема, ниже которого система вынуждена осуществлять агрессивную коррекцию небольших колебаний качества. Заданный (skonфигурированный) объем "управления качеством" используется на каждом шаге оптимизации, пока он не начинает превышать оставшийся объем смешения. После этого объем "управления качеством" постепенно уменьшается по ходу процесса смешения до минимального объема. Минимальный объем будет выдерживаться (не изменяться) до тех пор, пока не превысит в свою очередь оставшийся объем смешения. После этого он начнет уменьшаться до "физического" минимума — объема, смешиваемого за один шаг оптимизации.

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, зависание (неизменяемость значения ни на одну цифру 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 и компенсация динамики анализатора. Ведь 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 не сразу покажет адекватное значение. Эта динамика разгона анализатора описывается двумя конфигурируемыми значениями — временем чистого запаздывания и постоянной времени. 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.

Динамическая модель анализатора используется для оценки компенсации всей модели расчета качества смеси — товарного бензина. Это осуществляется на

каждом такте работы анализатора и начинается с вычисления разницы между измерением анализатора и расчетным значением качества. Затем эта разность фильтруется фильтром скользящего среднего (чтобы сгладить случайные ошибки измерения) и прибавляется к расчетному значению для получения откорректированной оценки модели. Эта откорректированная невязка используется в следующем такте для компенсации модели.

Распределенная система управления

Основные управляющие функции по реализации текущего рецепта, как конечной стадии решения всей задачи управления станцией смешения бензинов, выполняет специальная РСУ. 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 РСУ 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 РСУ повышает надежность всей системы управления.

Основные функции РСУ:

- автоматическое управление смесителем и связанным с ним оборудованием (насосами, регуляторами потока, анализаторами);
- проверка правильности задания рецептуры;
- поддержание соотношения компонентов в соответствии с рецептом;
- управление качеством на основе показаний точного анализатора;
- снижение скорости смешения при невозможности выдержать заданный расход для одного из регуляторов;
- оперативные (on-line) изменения рецепта, резервуаров источника и назначения смеси в процессе смешения;
- генерация отчетов о смешении.

В РСУ 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. РСУ автоматически ведет весь процесс смешения, начиная с запуска насосов и соответствующей установки заслонок и клапанов, выхода на режим, и заканчивая остановкой насосов после смешения заданного объема товарного бензина. Оператор имеет возможность следить за ходом ТП, показаниями анализаторов, можно изменять рецептуру, скорость и объем смешения и т.п., не останавливая процесс.

Как только оборудование готово, и подтверждена правильность рецептуры, оператор запрашивает запуск смешения, клапан обратного избыточного давления приемного коллектора (если используется) устанавливается в предоделенное положение. Насосы компонентов и присадок запускаются в установленной последовательности, и регуляторы расхода начинают открываться, все это происходит под управлением РСУ. Расходы потоков компонентов и присадок регулируются, чтобы гарантировать объемную точность смешения как в установившемся состоянии, так и в условиях кратковременного разгона.

РСУ контролирует смешение для регулирования изменения темпа, которое возникает, когда один регулятор расхода показывает, что он не может выдерживать требуемое значение расхода. Это заставляет снизить общий расход смеси до уровня приемлемого для всех регуляторов, гарантируя одновременное сохранение соотношения компонентов.

Данные по смешению, используемые в РСУ:

- 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 присадок;
- выбор контроллера — материал назначается для каждого контроллера (поздний старт и ранний останов тоже указываются здесь);
- выбор насоса — насос назначается для каждого контроллера 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;
- стратегия балансировки — если действует функция регулирования свойств, следует выбрать режим регулирования (смеситель в трубе или средний; одиночный или парный), следует также указать материалы, которыми можно регулировать свойства;
- стоимость смеси — соотносит вклад компонента в конечное качество смеси.

Поточный анализатор

В настоящее время используются инфракрасные спектрометры NIR (ближняя область спектра) и FTIR (ближняя и средняя область). FTIR использует интерферометр Майкельсона и преобразует спектрограммы в частотные спектры (Фурье преобразование). Оба типа приборов могут измерять все показатели качества бензинов, кроме содержания серы.

FTIR точнее измеряет содержание бензола, так как пик спектрограммы бензола лежит в средней области спектра.

Основной проблемой использования таких анализаторов является необходимость построения калибровочных моделей для каждого показателя качества и каждого потока, то есть определение соответствия спектрограмм измеряемому показателю. Хотя существуют уже наработанные БД, указанное соответствие зависит от углеводородного состава измеряемого потока и потому для каждого завода модель должна подстраиваться.

Анализаторы серы работают по принципу окисления всей серы до сернистого ангидрида, используется система окислительного пиролиза и далее детектор импульсной флюоресценции в ультрафиолете.

Чтобы избежать длительного процесса построения калибровочных моделей и повысить точность измерения иногда используют для измерения давления насыщенных паров и содержания бензола вместо универсальных инфракрасных спектрометров специальные поточные анализаторы (газовые хроматографы и др.)

Реализация и внедрение

Оптимизацией и управлением процессами смешения занимаются многие компании (таблица).

Компания Honeywell, которой принадлежит существенная доля мирового рынка в этой области, имеет собственные решения для всех уровней управления процессом смешения. Остановимся кратко на ее продуктах и опыте в СНГ.

В качестве off-line оптимизатора Honeywell использует систему BLEND – программный комплекс для многопериодного (на несколько дней) оперативного планирования производства и оптимизации рецептов смешения нескольких продуктов. В качестве решателя задач линейного и целочисленного программирования используется один из наиболее мощных коммерческих пакетов – Xpress (компания FICO). Система BLEND удовлетворяет всем требованиям off-line оптимизации, имеет много дополнительных (к вышеописанным) опций, постоянно развивается и дополняется новыми возможностями. В России используется, начиная с 1993 г., и установлена на девяти НПЗ. Это достаточно сложная оптимизационная система, и в Honeywell разработаны методики ее поэтапного внедрения, обучения персонала и соответствующие учебные материалы, учитывающие опыт внедрения в России.

Для on-line оптимизации применяется пакет Open BPC (Open Blend Property Control), который использует решатель задач нелинейной оптимизации MINOS. Функции PCY выполняет программный пакет Experion Blend Controller и система Experion.

В 2008 г. компания Honeywell внедрила первую на территории России (Лукойл-Волгограднефтепереработка) автоматическую стацию смешения бензинов

(АССБ) с использованием всех перечисленных программно-технических средств. Станция смешения производит до 1,2 млн. товарных бензинов в год по стандартам Евро 3, имеет два смесителя производительностью 500 м³/ч, массовые расходомеры, поточный анализатор NIR. Структурная схема системы управления представлена на рис. 2.

Система off-line оптимизации BLEND установлена на двух станциях (ПК). Первая станция BLEND1 установлена в отделе производственного планирования для составления декадных планов операций смешения бензинов, основываясь на результатах расчетов системы месячного планирования RPMS. Вторая станция BLEND2 установлена в производственном отделе (на станции смешения) и используется для составления суточных планов производства, а также для окончательного расчета смешения партии бензина с использованием текущих данных о качественных характеристиках компонентов и уровнях начальных запасов непосредственно перед запуском процесса смешения этой партии.

Для сбора текущих данных об уровнях резервуаров и качествах из OpenBPC, LIMS, а также о текущей производительности по потокам компонентов применяются специализированные программы и процедуры. Данные об отгрузках продукции вводятся вручную.

Система BLEND2 обеспечивает интерфейс для передачи в электронном виде информации о рецептах и заказах на смешение на оптимизатор OpenBPC и в систему управления смешением EBC (Experion Blend Controller).

Поточный многоканальный анализатор NIR измеряет качество семи компонентных потоков (тяжелый изомеризат, прямогонный бензин, рафинат (2), риформинт + изомеризат (2), изопентан) и на выходе каждого их двух смесителей. Измеряемые показатели: ИОЧ,

Таблица

Наименование фирмы	PCY	On-line модуль	Off-line модуль
ABB	RBC (Regulatory Blend Control)	ABC (Advanced Blend Control)	–
Foxboro	DBS (Digital Blending System)	BOSS (Blend Optimization and Supervisory System)	BPO (Blend Planning Optimizer)
Honeywell	EBC (Experion Blend Controller)	Open BPC (Open Blend Property Control)	BLEND
Siemens	ILB (Inline Blending, Baustein für PSC7)	–	–
Emerson	Delta Blend Control	Advanced Blend Control Modules	–
Yokogawa	fitOMS Blend	fitOMS BPC/Optimizer	–
Aspen Tech	–	Aspen-Blend	MBO (Multi Blend Optimizer)

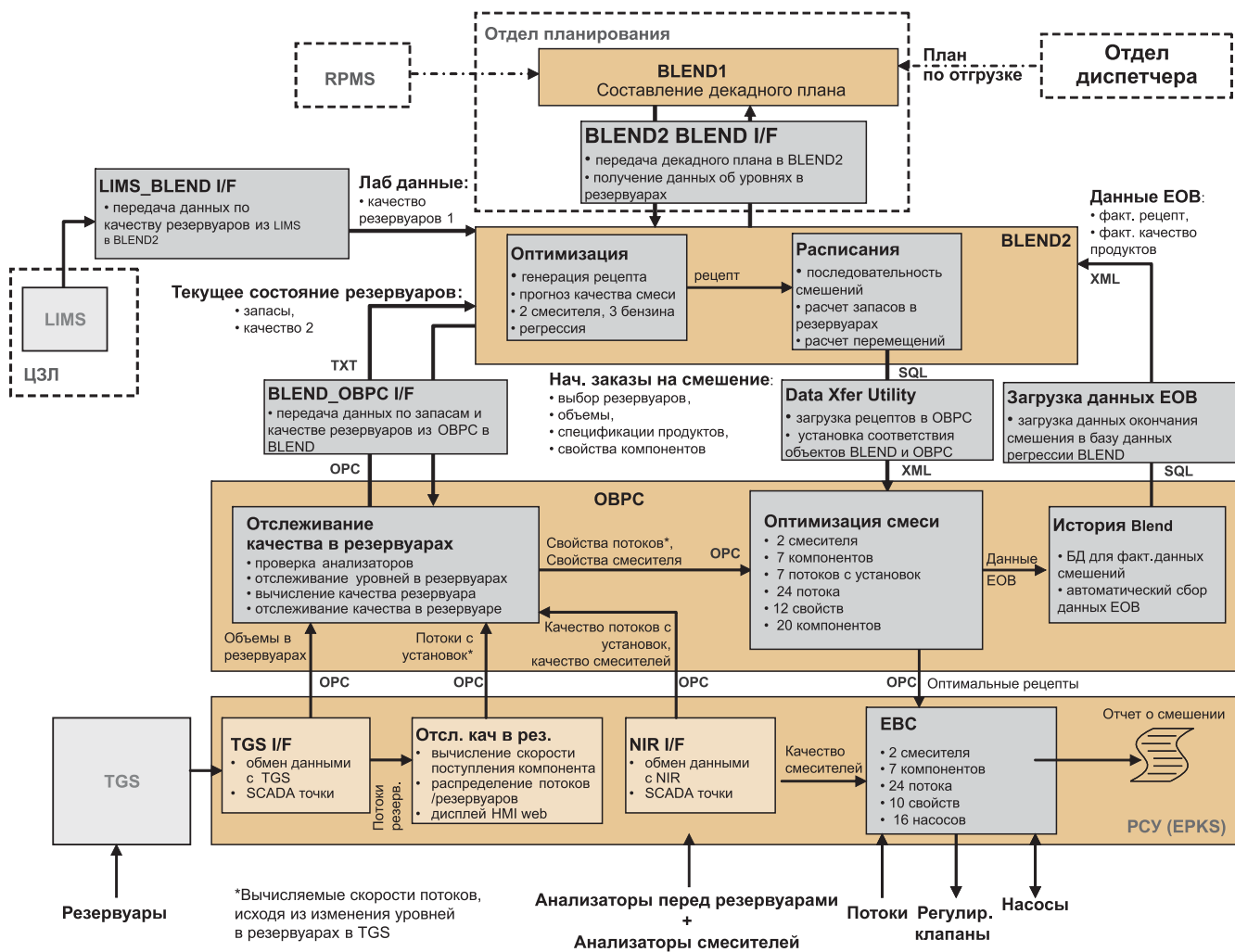


Рис. 2. Структура системы управления ACCB

МОЧ, точки фракционного состава (НК, 10%, 50%, 90%), давление насыщенных паров, содержание ароматики, олефинов, бензола, содержание оксигенатов (только для продуктов), плотность. То есть для семи компонентов измеряются 11 показателей, для двух товарных потоков – 12 показателей, таким образом, потребовалась калибровка 101 модели NIR анализатора.

Фактические результаты смешения, включая результаты поточного анализатора для каждой операции смешения, вводятся в БД управления процессами смешения. Эти данные могут быть использованы пользователем BLEND2 для реализации специальных алгоритмов регрессионного анализа, встроенных в программу BLEND с целью повышения точности моделирования свойств товарных бензинов этой программой.

Необходимо отметить следующую особенность Волгоградского НПЗ: поточным анализатором NIR измеряется качество компонентных потоков с установок, а не на входе в смеситель. Поскольку далее эти потоки поступают в компонентные резервуары, то для определения качественных характеристик потоков в смеситель необходимо проводить ряд вычислений. Компания Honeywell предоставила модуль от-

слеживания качества в резервуарах, который непрерывно рассчитывает качество для каждого из резервуаров, основываясь на:

- качественных характеристиках поступающих компонентов (поточные анализаторы или данные лаборатории);
- объемах поступающих компонентов (импортируются из системы измерения уровней);
- текущих объемах запасов в резервуарах;
- качественных характеристиках текущего запаса в резервуаре;
- назначениях потоков компонентов / резервуаров.

Используя описанные данные и информацию о качественных характеристиках, измеренных поточным анализатором, система управления вычисляет итоговые качественные характеристики компонентного резервуара. Эти результаты затем используются оптимизатором смеси как текущие данные о качестве компонента.

Для компонентов, не измеряемых поточным анализатором, модуль использует лабораторные данные, поступающие из LIMS или вводимые пользователем в модель BLEND. Затем эти данные поступают в OpenBPC вместе с рецептом смешения.

Экономический эффект

Экономический эффект от внедрения автоматизированной системы оптимального управления процессом смешения товарных бензинов на НПЗ определяется следующими факторами:

- гарантированный выход смесей, удовлетворяющих нормативам;
- оптимальное и гибкое ведение процесса смешения (оптимизация на всей вертикали управления);
- минимальный уровень измеренной и скрытой отдачи качества;
- уменьшение потерь из-за повторных смещений;
- уменьшение объема запасов;
- более высокая производительность смесительной системы;
- оптимальный оперативный план (меньший выход низко октановых бензинов);
- увеличение производительности труда;
- увеличение безопасности;
- сокращение числа внештатных ситуаций.

*Аносов Андрей Александрович — канд. техн. наук, старший инженер,
Ефитов Григорий Леонидович — канд. техн. наук, старший консультант ЗАО "Хоневелл",
Пузин Дмитрий Геннадьевич — ведущий инженер АССБ ООО "ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка".
Контактные телефоны: (495) 334-85-81/334-90-41. E-mail: grigory.efitov@honeywell.com*

По данным Honeywell суммарный экономический эффект может составлять до 70 центов на баррель товарного бензина.

Для НПЗ "Лукойл-Волгограднефтепереработка" подтвержден годовой экономический эффект 6,7 млн. долл. США. Основными составляющими экономии при этом являлись уменьшение расхода высокооктановых компонентов и уменьшение отдачи качества.

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 корпорации 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.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ АСУ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ISA-88**А.А. Рогачев (ООО "Аксон")**

Показаны преимущества от использования стандарта ISA-88 в рецептурном производстве. Отмечено, что применение этого стандарта на российских предприятиях встречается достаточно редко. Кратко приведен пример проекта по автоматизации линии для производства сухих смесей на основе ISA-88.

Ключевые слова: стандарт, линия для производства сухих смесей, рецептурное производство, технолог.

Стандарт S88.01 (Batch Processing Models and Terminology) (ANSI/ISA-88.01-1995 или IEC 61512-1) создан для определения единой терминологии и единого подхода к созданию физических моделей при разработке систем управления периодическими производственными процессами. В настоящее время наиболее широкое распространение данный стандарт нашел в пищевой, химической, фармацевтической промышленности.

Стандарт определяет принцип проектирования, состоящий из: конфигурирования физической модели технологического оборудования; создания рецептов и процедурной модели производимой продукции.

Физическая иерархическая модель описывает оборудование, используемое для операций групповой обработки. В системе на базе стандарта S88.01 предусматривается возможность определять ресурсы для самостоятельного или совместного использования. Ресурсы для самостоятельного использования могут применяться только одной единицей оборудования. Ресурсы совместного использования могут применяться несколькими единицами оборудования, что позволяет обеспечить высокую загрузку наиболее "дефицитного" оборудования. Как правило, в системе на базе S88.01 заложено автоматическое распределение ресурсов совместного использования.

В физической модели представлены семь уровней управления:

- три верхних уровня — организационные, включают предприятие, цех, участок;
- четыре нижних уровня — технические, включают сегмент процесса (process cell), блоки (units), модули оборудования (equipment modules), модули управления (control modules).

Работу по конфигурированию физической модели обычно выполняет инженер АСУТП.

Процедурная модель определяет последовательность выполняемых оборудованием операций. Рецепты содержат описание, необходимые данные, требования к оборудованию и процедуры для изготовления партии продукции. В процедурной модели можно выделить следующие элементы: процедуру (procedure), блок процедуры (unit procedure), операцию (operation), стадию (phase). При этом существует связь физической модели с процедурной моделью (рис. 1).

Такая связь позволяет использовать рецепты для изготовления продуктов без необходимости жесткой привязки к оборудованию. Как правило, написанием рецептов приготовления продукции занимается технолог.

Применение стандарта S88.01 дает предприятию следующие преимущества: