

Опыт оптимизации текущего и оперативного планирования на Российских нефтеперерабатывающих заводах с использованием программных продуктов корпорации ХОНЕВЕЛЛ

Л.Р. Соркин, А.С. Хохлов, Г.Л. Ефитов,
Ю.М. Цодиков, Е.Н. Хоботов (СП ПЕТРОКОМ)

Приводятся результаты многолетнего опыта внедрения, сопровождения и эксплуатации систем текущего и оперативного планирования производства нефтепереработки. Рассмотрены вопросы программной и организационной поддержки функционирования таких систем.

Задачи планирования производства

На нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) и в нефтяных компаниях России в течение длительного времени применяются системы оптимального планирования производства для расчета производственной программы завода и оперативного плана смесений нефтепродуктов. Компанией СП ПЕТРОКОМ накоплен большой опыт применения и развития таких систем. Планы производства рассчитываются в интервале от декады до года. Необходимость применения оптимизации определяется сложностью технологической схемы, наличием нескольких вариантов распределения потоков, различным качеством сырья, возможностью различных вариантов работы технологических установок и разной рецептурой смесения. Обычно требуется рассчитать ряд вариантов плана для их сравнения и экспертной оценки специалистами. Расчет производственной программы НПЗ формулируется как задача математического программирования (МП) и рассматривается с учетом того, что это одна из подзадач в общей задаче планирования работы вертикально интегрированной нефтяной компании (НК).

НК является централизованным оператором своих материальных и финансовых потоков — единым центром прибыли. Общая задача централизованного планирования деятельности НК включает, помимо расчета производственной программы всех НПЗ, планирование размещения сырья и поставки нефтепродуктов оптовым потребителям [1]. Последние две задачи учитывают доступные возможности транспортировки, логистики, время транспортировки и транспортные расходы. Кроме того, НК должна выполнять ряд других работ по планированию налогов, финансов и согласованию работы различных дочерних предприятий. Расчет производственной программы НПЗ выделяется из общей задачи планирования на основе декомпозиции. При этом обмен информацией между задачами обеспечивается при помощи корпоративной БД (КБД).

Ниже кратко рассмотрен опыт разработки и применения систем: *RPMS* (декадное, месячное, годовое планирование), *BLEND* (суточное планирование) и *Scheduler* (почасовое расписание смесительных операций).

Система *RPMS* — оптимизация производственной программы

В качестве инструмента решения задачи текущего планирования использована система *RPMS* (Refinery and Petrochemical Modeling System — моделирование и

оптимизация нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств). В *RPMS* задача расчета производственной программы НПЗ формулируется как нелинейная задача МП [2,3]. В качестве критерия оптимизации используется маржинальная прибыль (товарный выпуск продукции НПЗ минус затраты на сырье и переменные производственные затраты). Основные ограничения отражают технологические характеристики НПЗ, ограничения на количество сырья и товарных нефтепродуктов. Это ресурсные, ассортиментные, производственные и спецификационные ограничения. Учет в модели качества нефти, промежуточных пулов смесения и зависимостей выходов установок от качества сырья вводят в модель нелинейность. В системе *RPMS* указанная нелинейность разрешается методом последовательного линейного программирования [3]. Этот метод состоит в последовательном решении задач МП. Реальные модели планирования НПЗ на один период содержат около 5000 переменных, примерно столько же ограничений, в том числе около 1000 переменных входящих в нелинейные зависимости.

Опыт показал, что наиболее сложной проблемой является технологическая поддержка модели, т.е. обеспечение адекватности модели текущему состоянию производства. Решение этой проблемы возможно только при двухуровневой процедуре планирования, когда имеются две группы моделирования в системе *RPMS* — на НПЗ и в плановой службе НК. Группа моделирования на НПЗ осуществляет технологическую поддержку и верификацию модели. Затем скорректированная модель в виде файла поступает в НК. Группа моделирования в плановой службе НК уточняет ассортиментные ограничения, цены и проводит серию расчетов производственной программы для каждого НПЗ НК. Для обеспечения корректной поддержки модели на уровне НПЗ необходимо:

- иметь оперативные средства учета фактической деятельности НПЗ;
- отработать процедуру ведения модели с сервисным информационно-программным обеспечением.

На рисунке показан реализованный компанией СП ПЕТРОКОМ набор систем программной поддержки задачи расчета производственного плана, и далее дана краткая характеристика этих средств.

Оперативный контроль исполнения плана производства — система учета фактической (суточной) работы установок, которая позволяет ежесуточно отслеживать расхождение плана и факта и принимать необходимые решения по корректировке плана и/или модели.

*Лабораторный контроль сырья, промежуточных и товарных нефтепродуктов (система **ЛИНК**)* — система ведения БД нормативных документов и качества промежуточных и товарных потоков, анализируемых лабораторно в соответствии с графиками контроля, позволяет ежедневно и в среднем за плановый период отслеживать качество потоков и расхождение его с расчетным для потоков в RPMS-модели.

*Многопериодное планирование операций смешения топлив и масел (система **BLEND**)* — система оперативного расчета оптимального рецепта смешения компонент для приготовления топлив и масел. Здесь учитывается логистика, качество потоков, состояние резервуарного парка и плановый рецепт с RPMS. Система позволяет обеспечить эффективную реализацию в среднем оптимальных плановых рецептов, полученных на RPMS-модели.

Смета затрат — система по расчету полных затрат при реализации оптимального плана позволяет эффективно контролировать экономическую информацию в модели планирования и иметь значение полных затрат.

Моделирование нелинейных процессов и оценка качества — система детального моделирования конверсионных процессов и оценки качества на основе корреляционных зависимостей позволяет уточнить отборы для линеаризованных моделей и обеспечить расчет качества по косвенным показателям.

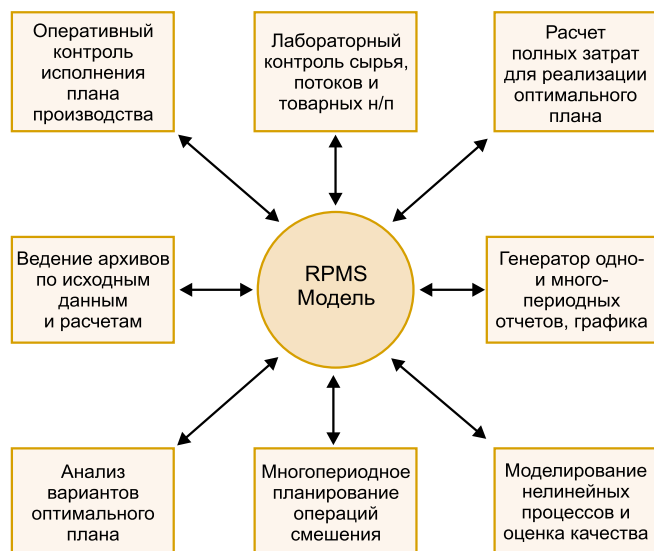
Ведение архивов по исходным данным модели и результатам расчета — система ведения архива по вариантам исходных данных, модификациям модели и получаемым решениям. Средство для оперативного сохранения и восстановления различных версий модели.

Сравнение вариантов оптимального плана — система ведения БД по вариантам оптимального плана. Позволяет руководству упростить процедуру выбора наилучшего плана и предоставить оптимальное решение для последующего использования в КБД.

Генератор одно- и многопериодных отчетов, графических схем — система по подготовке как стандартных, так и специализированных отчетов непосредственно пользователем в наиболее удобном виде и среде, выдача потоковых схем для технологических служб НПЗ.

Взаимодействие системы оптимального планирования на предприятии с другими подсистемами

Работа предприятия происходит в условиях взаимодействия различных технических и программных систем планирования, управления и учета. Рассмотрим вопросы взаимодействия моделей систем, которые необходимо учитывать при совместном функционировании технических систем на нефтеперерабатывающем и нефтехимическом предприятии. Взаимосвязь таких систем существует как на уровне алгоритмов и программ автоматического обмена информацией, так и на уровне решений, принимаемых специалистами и руководством предприятий.



Системы поддержки задачи расчета плана

1. *Поддержка и развитие модели производства вместе с развитием завода.* На заводе постоянно происходят изменения: обновляется ассортимент продукции, вводятся новые стандарты на продукцию, внедряются новые технологии, реконструируются установки, в связи с износом оборудования снижается производительность некоторых установок, изменяется организационная структура производственных подразделений. *Завод развивается, и важно, чтобы это развитие отражалось в модели предприятия с опережением.* Прежде чем что-то изменяется в производстве, осуществляется просчет на модели. Такое возможно, если у специалистов и руководителей сформировалось доверие к результатам расчетов с помощью модели, которое может возникнуть на основе опыта применения, сравнения расчетов и фактической работы предприятия, по экономическим результатам, по количеству и качеству продуктов. Система моделирования и оптимизации обеспечивает возможность внесения различных изменений в модель предприятия. Эти изменения вносятся в связи с изменением нормативов планирования. Обучение пользователей ведется так, чтобы они получили соответствующую квалификацию для моделирования работы предприятия, знали возможности программ для внесения изменений в модель. Кроме того, пользователи имеют необходимую консультационную поддержку для того, чтобы оперативно внести в модель расчета плана на текущий месяц любые изменения в рамках принятой методики планирования.

2. *Взаимосвязь модели планирования производства с различными моделями ТП,* применяемых в службах предприятия. Приведем три примера для иллюстрации такого согласования моделей. (1) Для каждой установки первичной переработки нефти на основе прогноза состава нефти с помощью модели рассчитывается выход нефтепродуктов в возможных режимах работы установок. Результаты расчета согласуются с технологами производства. Затем эти данные для всех режимов рабо-

ты установок автоматически вводятся в модель расчета плана производства предприятия на месяц. (2) В товарном производстве применяется система оптимального смешения нефтепродуктов BLEND. Модель смешения и оптимальная рецептура скоординированы с моделью оптимального планирования производства всего завода. (3) Модель для заказа присадок для масел по мере их использования может быть согласована с общей моделью расчета плана производства предприятия. Например, в первую очередь планируется производство масел с имеющимися присадками.

3. *Интеграция модели расчета бизнес-плана предприятия на год и плана производства на месяц.* Необходимо согласование модели плана на год и месяц. Работу предприятия в течение года рассчитывают для составления бизнес-плана и определения бюджета на следующий год. Применение системы моделирования и оптимизации позволяет для расчета бизнес-плана на год использовать те же модели планирования, которые применяются для расчета месячных планов. Модели планирования на месяц, как правило, дают более достоверные результаты расчета по сравнению с моделью расчета на год в целом. Последняя может давать завышенную прибыль, так как учитывает время ремонта установок, но не учитывает график их ремонта. Кроме того, модель расчета плана на месяц по существу проверяется в конце месяца по результатам выполнения плана. Выполнить многовариантные расчеты на год по месяцам можно только в том случае, если применяется система плановых расчетов удобная для пользователя. Для расчета плана на год на основе расчета плана по месяцам нужна достаточно гибкая система подготовки отчетов. Желательно также согласование методики расчета затрат на план производства на год и месяц.

4. *Согласование расчета планов на месяц и календарно по суткам.* На некоторых заводах составляют план работы установок и план отгрузки продукции по суткам. План работы по суткам обычно составляется после того, как план на месяц уже утвержден. При планировании по суткам учитываются некоторые требования к режимам работы установок и к смешению, которые при расчете плана на месяц не рассматривались. Основная цель календарного планирования: обеспечить необходимую равномерность производства и отгрузки нефтепродуктов в течение месяца.

5. *Мониторинг показателей качества нефтепродуктов.* Для системы планирования большое значение имеет достоверность показателей качества нефтепродуктов, которые учитываются в расчетах. Поэтому важно эффективно использовать информацию БД лабораторных анализов *ЛИНК*. Для плановых расчетов показатели качества берутся технологами на основе усредненных значений лабораторных анализов за месяц, квартал или другие периоды.

На усредненные данные влияют переходные режимы, нарушения нормального ТП. В таких ситуациях для получения оперативной информации о качест-

ве получаемых нефтепродуктов проводят лабораторные анализы. По этой причине усредненные данные не всегда отражают реальную ситуацию. В этом случае при усреднении необходимо исключить определенные временные периоды работы установок.

В плановых расчетах учитывается различие в режимах работы для установок первичной переработки нефти и ряда других установок. Например, для установок первичной переработки нефти в модели плановых расчетов обычно учитываются следующие режимы работы: производство компонента дизтоплива летнего, зимнего и компонента ТС.

Один режим работы установки в модели планирования отличается от другого отборами продуктов и показателями качества получаемых продуктов. Например, получаемый на АВТ компонент летнего дизтоплива по показателям качества будет зависеть от того, в каком режиме получен этот продукт: в режиме производства дизельного зимнего и летнего (тогда этот компонент имеет утяжеленный фракционный состав) или в режиме производства только летнего дизельного топлива. Необходимо учитывать, что в некоторых режимах установки работают только часть месяца, например, 5...10 дней. Часто установка работает в течение месяца в двух — трех режимах. По этой причине средние значения показателей качества продуктов за месяц не всегда характеризуют значения этих показателей в каждом режиме работы установки.

В модели плановых расчетов несколько режимов работы установки используются и для ряда установок помимо установок первичной переработки нефти, но эти режимы отличаются один от другого, как правило, видом сырья и отборами продуктов при одинаковых показателях качества получаемых продуктов.

В настоящее время на ряде заводов внедрена система компьютерной обработки лабораторных анализов *ЛИНК*. Создание компьютерного архива лабораторных анализов позволяет осуществлять мониторинг показателей качества продуктов и сырья установок, то есть выбирать показатели качества и рассчитывать средние отдельно для каждого режима работы установок. Для этого служит опция обработки информации из созданного архива. В нашей системе учитывается: в какое время, на каком режиме работала установка.

Мониторинг показателей качества нефтепродуктов позволяет:

- повысить достоверность средних значений показателей качества нефтепродуктов для каждого режима работы установки за счет исключения данных, относящихся к другим режимам;
- получить объективную информацию о различии значений показателей качества нефтепродуктов, получаемых в различных режимах работы;
- получить информацию о числе выполненных анализов нефтепродукта для данного режима работы установки;
- повысить достоверность плановых расчетов.

6. *Унификация модели расчета плана с моделями движения нефтепродуктов и моделями учета количества и качества нефтепродуктов.* Схема внутривозовских перекачек нефтепродуктов в резервуары и на установки, как правило, отличается от схемы, принятой для плановых расчетов. Схема, принятая для плановых расчетов является упрощенной. Реальная схема движения нефтепродуктов обычно является существенно более сложной, и включает резервуары, насосы, трубопроводы, задвижки, датчики расхода и другую аппаратуру. Если работает АСУ движением нефтепродуктов, то она имеет свою модель с реальной схемой движения нефтепродуктов. Количество нефтепродуктов и направления движения фиксируются в системе учета, а качество нефтепродуктов контролируется в лабораторной информационной системе. Однако, часто в системе учета не все потоки измеряются, и в результате информация на основе измерений собирается не по всем направлениям движения нефтепродуктов. Кроме того, технологические объекты системы учета могут не совпадать с объектами модели планирования. Желательна максимальная унификация по потокам двух моделей: планирования и учета. Но на практике может не быть полного совпадения схемы потоков модели планирования со схемой потоков модели учета, так как при планировании или в системе учета некоторые ТП и потоки объединяются. Тогда должно быть определено некоторое соответствие потоков для этих моделей, позволяющее сравнивать план производства и фактические потоки, определяемые в системе учета.

Наряду с достаточно сложной моделью для планирования, различным службам завода нужны упрощенные модели прогноза хода производства на основе плана, например, для диспетчеров завода, которые ведут оперативный учет, контролируют производство

в течение смены, управляют перекачками и отгрузкой. Такая упрощенная модель для контроля хода выполнения плана по дням должна быть согласована с моделью для плановых расчетов.

7. *Эффективное использование информации о ТП на предприятии.* В конечном итоге эффективность управления зависит от того, насколько полно службы завода и компании используют информацию о ТП, имеющемся опыте работы и рынке реализации продукции. У руководителей и специалистов должна быть ясность в вопросе о том, как производственный опыт отражен в применяемых моделях, и на какой информации основаны модели принятия решений. Интерпретация модели и полученных на ее основе решений предполагает разработку соответствующих программ для наглядного представления модели и решения в виде таблиц, графиков и схем. В результате у пользователей возникает понимание области применения полученных рекомендаций, возможностей и ограничений модели. Вопрос интерпретации решения связан с квалификацией специалистов на производстве в сфере моделирования технико-экономических задач. Повышение квалификации достигается обучением в процессе практического применения системы оптимального планирования и анализом возникающих ситуаций. Рост квалификации специалистов и руководителей является также одним из результатов применения систем моделирования и оптимизации производства.

Внедрение системы RPMS осуществлено более чем на 25 площадках, то есть практически на всех крупных НПЗ и НК России. За последние 10 лет разработаны четыре новых версии системы, каждая из которых существенно расширяет возможности предыдущей.

НОВОСТИ

Автоматизация менеджмента качества: решение для системы учебных учреждений ОАО "Газпром"

НПП СпецТек совместно с Центром компьютерных технологий и проектирования (ЦКТП – С.-Петербургский филиал НОУ "Учебный центр ОАО "Газпром") разработали решение по автоматизации менеджмента качества учебных учреждений и приступили к его внедрению в учебной сети ОАО "Газпром".

Работа над решением длилась около года. В основе решения – ПО TRIM разработки НПП СпецТек, адаптированное под образовательные учреждения, а также специальная БД, созданная ЦКТП с учетом специфики учебной сети ОАО "Газпром". При этом логическим завершением работы явилось его успешное внедрение в ЦКТП на 10 АРМах.

Очередным этапом стало тиражирование решения. К началу октября осуществлена его поставка еще трем учебным заведениям: Новоуренгойскому техникуму газовой промышленности, Отраслевому научно-исследовательскому учебно-тренажерному центру (г. Калининград) и Волгоградскому колледжу газа и нефти. При этом общий объем поставки составил 30 АРМов – по 10 каждой организации.

В комплект поставки вошли четыре модуля управления: процессами TRIM-QM, документацией TRIM-DOC, каталогами и справочниками TRIM-CAT и модуль администрирования системы TRIM-A.

В результате реализации проекта учреждения получили возможность автоматизировать планирование процессов системы менеджмента качества, контроль выполнения работ по процессам, регистрацию измерений процессов и несоответствий, планирование корректирующих и предупреждающих действий. Внедрение TRIM позволит организовать сбор, систематизацию и обработку данных о результативности процессов, автоматизировать создание необходимых документов и отчетов, автоматизировать мониторинг процессов для дальнейшего анализа и принятия решений, оценки эффективности корректирующих и предупреждающих действий.

Внедрение разработанного решения на базе TRIM позволит осуществлять все функции стандартизированной процедуры управления документами в электронном виде: создание и редактирование с отслеживанием версий, согласование и утверждение, подтверждение ознакомления, обеспечение оперативного доступа к необходимым действующим документам системы менеджмента качества и др.

В дальнейшем НПП СпецТек и ЦКТП планируют продолжить поставку решения другим образовательным учреждениям.

Контактный телефон (812) 329-45-60.

[Http://www.trim.ru](http://www.trim.ru)

Система BLEND –**оперативное планирование и оптимизация смешения**

Задача смешения. Конечной стадией получения товарных нефтепродуктов как топлив, так и масел являются операции смешения. Завершающий характер стадии смешения определяет жесткие требования к качеству смешиваемых продуктов (они отправляются непосредственно потребителю), а наличие многих возможностей для смешения различных компонентов обширного резервуарного парка и одновременного получения нескольких товарных продуктов различной стоимости определяют большие ресурсы оптимизации [4]. Что означает получение *дополнительной прибыли*. Основной задачей при смешении является получение нефтепродуктов с заданными спецификациями – показателями качества, удовлетворяющими техническим и экологическим требованиям к определенной марке нефтепродукта в соответствии с ГОСТами. Компоненты смешения имеют при этом различные значения показателей качества как выше, так и ниже соответствующих значений, требуемых ГОСТами для товарных нефтепродуктов, и соответственно – различную стоимость. Товарные продукты также имеют различную цену. Оптимизация должна заключаться в таком "ведении" процесса смешения, чтобы получать с максимальной прибылью требуемые товарные продукты, удовлетворяющие ГОСТам. Это, в частности, эквивалентно минимизации "запаса качества" товарных продуктов, т.е. минимизации превышения показателями качества значений, требуемых спецификациями. Какое-то превышение является неизбежным, так как число компонентов смешения ограничено, они обладают конкретными значениями показателей качества и даже при оптимальном смешении всегда будет некоторый лимитирующий показатель, который обеспечивает требуемый минимум спецификации, но при этом другие показатели будут, как правило, иметь небольшой "запас", то есть превышать минимальную спецификацию, что и составит потери процесса смешения.

Нелинейное смешение показателей качества. Практически все показатели качества нефтепродуктов (октановые числа, давление паров, фракционный состав, вязкость, температуры, вспышки, застывания и пр.) смешиваются нелинейно, и это требует применения специальных методов моделирования при прогнозировании качества товарных продуктов.

Одним из таких методов является использование так называемых *индексов смешения* для тех показателей, для которых эти индексы известны (давление паров по Рейду, высота некоптящего пламени, вязкость, температуры вспышки, застывания, помутнения, замерзания).

Структура формул индексов смешения получена из имеющихся физико-химических представлений о механизмах смешения соответствующего показателя, параметры являются усредненными и могут для каждого предприятия корректироваться в зависимости от его специфики.

Применение этих формул дает хорошие практические результаты. Проблемы с точностью возникают только при

моделировании вязкости (когда смешиваются гудрон и дизельное топливо), что связано, в основном, с техникой измерения (вязкость гудрона, например, измеряется в сек, а вязкость дизтоплива – в сСт) и очень большой разницей (в 1000 раз) вязкости гудрона и дизтоплива. Могут также возникнуть трудности при моделировании температуры вспышки, так как для части компонентов она может измеряться в открытом тигле, а для части – в закрытом. Эти проблемы решаются проведением специальных экспериментальных смешений и измерений, и корректировкой параметров формул индексов смешения.

Но для октановых чисел, например, индексы смешения неизвестны, коллоидно-химический механизм образования ассоциатов и различного рода надмолекулярных структур, являющийся причиной нелинейного смешения, в настоящее время недостаточно изучен, и в структуру формулы смешения чисто формально могут вводиться члены второго порядка. Для использования такой формулы в заводской практике необходимы достаточно доступные инженерные методы нахождения интерактивных коэффициентов. Учитывая весьма высокую стоимость каждого эксперимента по определению октанового числа, единственным целесообразным подходом здесь может быть планирование эксперимента. Проведя анализ известных методов в этой области, можно считать, что для моделирования октановых чисел бензинов наилучшим является использование так называемых симплекс-решетчатых планов Шеффе и планов Мак Лина и Андерсона. [5]. Однако определение интерактивных коэффициентов нужно проводить на каждом предприятии, так как они зависят от специфики технологических установок и качества сырья. Такой подход реализован для ряда НПЗ, что позволило достичь хорошей точности моделирования.

Другим подходом к моделированию смешения октановых чисел может служить метод, основанный на содержании ароматики и олефинов в компонентах смешения, предложенный в одном из отчетов корпорации ETHYL [6]. Применение этого метода на отечественных заводах также позволяет получать хорошие результаты: погрешность расчета октановых чисел составляет 0,2...0,4, а допустимая погрешность измерения октановых чисел (одним и тем же оператором на одной испытательной установке) – 0,5 (ГОСТ 8226, ГОСТ 511).

Универсальным методом учета нелинейностей смешения в системе BLEND является использование так называемых *линейных бонусов смешения*.

Моделирование операций смешения

Модель смешения должна содержать объекты нескольких типов:

- число периодов планирования (как правило, сутки);
- имена показателей качества (общих для всех объектов, как правило, это те показатели, которые нормируются для смешиваемых продуктов);
- компоненты (минимальная и максимальная точная производительность, показатели качества, стоимости);

Ключевой фактор, который определяет ваше финансовое будущее - не экономика; этот ключевой фактор - ваша личная философия.

Джим Рон

- компонентные и продуктовые резервуары (физические и безопасные объемы, показатели качества, начальные запасы, стоимости начальных и конечных запасов, привязка в каждом периоде к соответствующему компоненту или продукту);

- смесители ("в трубе", не имеющие объема, и смесительные резервуары с мешалками);

- продукты (минимальные и максимальные отгрузки в каждом периоде, спецификации, композиции, целевые рецепты, цены);

- пулы продуктов или компонентов (состав, суммарные ограничения);

- присадки (не имеют показателей качества, но повышают качество продукта).

При смешении должны учитываться ограничения различного характера: спецификации продуктов, композиции продуктов (ограничения на вовлечение того или иного компонента в смесь), физические объемы резервуаров, минимальные и максимальные подачи каждого компонента и отгрузки каждого продукта, требования к конечным остаткам в резервуарах и много других специальных ограничений. Например, многие смесители (станции смешения) ограничивают минимальную долю вовлечения любого компонента, компонент может вовлекаться в смесь не менее, чем долей в 5% или не вовлекаться вовсе. Или, например, могут быть взаимоисключающие компоненты, то есть в каждом периоде они не могут использоваться совместно (это нужно, в частности, для выбора режима риформинга — мягкий режим позволяет получить более дешевый продукт, но с меньшим октановым числом, а жесткий режим — более дорогой продукт, но с большим октановым числом).

Два последних примера иллюстрируют появление целочисленных переменных в задаче оптимизации.

Модель должна отражать специфические тонкости технологических операций смешения и, например:

- учитывать остатки в резервуарах смешения и резервуарах при определении рецептов смешения,
- 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", т.е. смешение продуктов непосредственно в трубопроводе,
- иметь возможность отслеживать влияние присадок,
- позволять производить предварительный пулинг (объединение) потоков, т.е. направление нескольких компонентов в один резервуар, варьировать во времени, какой поток идет в какой резервуар, а также моделировать многие другие технологические особенности.

Для каждого резервуара и смесителя, а также и каждого периода должны выполняться уравнения материальных балансов с учетом поступления свежих

компонентов, отгрузки товарной продукции, начальных и конечных запасов в компонентных и продуктовых резервуарах.

Модель должна отражать связи и ограничения и максимизировать целевую функцию, отражающую прибыль — разницу между выручкой от продаж полученных продуктов и затрат на компоненты, минус возможные штрафы за нарушение тех или иных ограничений. Штрафы являются важными переменными модели, так как позволяют задать цену нарушения каждого ограничения и тем самым задать приоритеты имеющихся ограничений. В вычислительном плане наличие штрафов позволяет избежать несовместности уравнений модели.

Специфику модели оптимизации смешения нефтепродуктов, и ее отличие от модели текущего планирования производства можно кратко свести к нескольким пунктам.

- Необходимость связи с диспетчерскими, информационными, плановыми системами (начальные уровни и качество в резервуарах, ограничения на суточную подачу компонентов, цены продуктов и другие данные должны импортироваться из соответствующих систем, а результаты в виде оптимальных рецептов каждого товарного продукта и планов отгрузки экспортироваться в системы нижнего уровня или на станции смешения). Необходимость такой интеграции объясняется большой оперативностью систем оптимизации смешения.

- Высокая оперативность реализации решения, что имеет следствием большую цену ошибки, чем в системах текущего планирования, так как здесь решение реализуется на суточных или сменных интервалах, а не рассчитывается на месяц.

- Большая роль качественных показателей и ограничений. Здесь отличие от систем текущего планирования выражается в нескольких пунктах:

- высокая чувствительность к качеству, так как период планирования меньше и удельный вес показателей качества больше;
- более широкие возможности задания индексных функций;
- использование линейных и нелинейных бонусов смешения;
- моделирование смесительных резервуаров, смесителей в потоке, сертифицированных смесителей (производящих продукт только заданного качества);
- зависимость числа рекурсий от качества в резервуарах.

- Большая степень "технологической свободы", так как отсутствуют технологические установки, описываемые жесткими математическими моделями.

- Большое число целочисленных переменных.
- Высокая размерность.
- Многопериодность, которая порождает дополнительные нелинейности, большее число рекурсий.

Система *BLEND* является самым современным, эффективным и востребованным в мире средством для решения задачи моделирования и оптимизации смешения нефтепродуктов и позволяет, в частности, полностью задать вышеприведенную модель и решить задачу оптимизации. В качестве решателя задачи оптимизации в последних версиях используется система *XPRESS* фирмы *Dash Association*. За последние семь лет вышло пять новых версий системы.

Показ on-line журнала прохождения решения осуществляется в окне системы *Sentinel*, где отражаются операции прохождения различных процессоров, ход рекурсий, значения целевой функции на каждой рекурсии и появляется сообщение о сходимости вычислительного процесса.

В системе *BLEND* реализованы все описанные выше методы нелинейного смешения показателей качества и имеется специальный процессор *BONCALC* для вычисления линейных и нелинейных бонусов смешения.

Результаты решения представляются в виде текстовых отчетов, отчетов *EXCEL* и диаграмм Ганта. В текстовом отчете *Summary*, например, приводится материальный баланс смешения, возможные сообщения об имеющихся нарушениях качества, штрафы за нарушения, начальные и конеч-

ные уровни в резервуарах, объемы продаж и смешений, а также расходы компонентов смешения и суммарная чистая прибыль. В рецептурном текстовом отчете приводятся объемные и весовые рецептуры каждого смешиваемого продукта в каждом периоде, рассчитанные и заданные значения всех показателей качества.

Отчеты *EXCEL* содержат детальную информацию о смешительных процессах, всех перетоках компонентов и продуктов, использовании смесителей и состоянии каждого объекта модели в каждом периоде, двойственные оценки переменных, имеющих ограничения, что позволяет оценить имеющиеся узкие места.

Внедрение. Специалистами компании СП ПЕТРОКОМ осуществлена поставка и внедрение системы *BLEND* различных версий на семи заводах в России, Украине и Болгарии. По данным Хоневелл использование системы позволяет экономить 15...45 центов на один баррель товарного бензина. При ежедневном смешении 50000 баррелей бензина экономия составляет 7500...22500 долл. США в день. На отечественных НПЗ ресурсы оптимизации выше (вследствие сравнительно низкого уровня автоматизации и организации производства), увеличение прибыли от операций смешения при использовании оптимальной рецептуры из системы *BLEND 2000* составляет 10...15% по сравнению с рецептурой, используемой до внедрения системы.

НОВОСТИ

Контроллер ThinkIO – минимальный размер и максимальная функциональность для построения современных АСУТП

Компания РТСофт, эксклюзивный партнер холдинга Kontron (www.kontron.com) в России и странах СНГ, представляет новый контроллер ThinkIO производства Kontron, предназначенный для построения распределенных систем АСУТП. Он является новой, в максимальной степени гибкой и настраиваемой системой управления. Малые размеры контроллера (толщина – не более 70 мм) обеспечивают его установку в малогабаритных промышленных коммутационных шкафах.

Новая система состоит из монтируемого на DIN-рельсе компьютера ThinkIO и модульной системы ввода/вывода компании Wago сер. 750. Для разработки прикладного ПО контроллера используется пакет CoDeSys Soft PLC, соответствующий стандарту IEC 61131-3.

Абсолютная совместимость и надежность подключения разъемов разнообразных систем ввода/вывода поддерживаются как на механическом, так и на программном уровне. Достаточно просто подключить необходимые модули ввода/вывода, и они будут автоматически распознаны ПО, а встроенные средства самодиагностики обеспечат

выявление нештатных ситуаций. Это позволяет создавать практически любые специализированные контроллеры с архитектурой x86 всего за несколько шагов.

Контроллер ThinkIO оснащен процессором с частотой 266 МГц, совместимым с Intel® Pentium® MMX, сторожевым таймером, всеми стандартными коммуникационными интерфейсами: двумя портами USB, цифровым DVI-интерфейсом, последовательным портом, а также разъемами для непосредственного подключения к системе ввода/вывода Wago. Два порта Fast Ethernet и порты подключения промышленных шин (Profibus, CAN и DeviceNet) дополняют конфигурацию контроллера, оптимальную с точки зрения подключения как к локальным промышленным сетям, так и сети Internet.

Контроллер ThinkIO работает под управлением ОС Windows CE и Linux. В состав Linux-версии входит лицензия на использование CoDeSys Soft PLC. Возможность конфигурирования и управления контроллером через Internet и локальную сеть обеспечивается интегрированной программной средой SOPH.I.A.

Контактный телефон (095) 742-68-28. <http://www.rtssoft.ru>

сРВ-4610 – высокозащищенный процессорный модуль

Компания "Родник Софт", официальный дистрибутор американской компании Diversified Technology в России и других странах бывшего СССР представляет плату сРВ-4610-процессорный модуль, выполненный по стандарту PICMG 2.16 (сРВ – системы с пакетной коммутацией), сочетающий высокую производительность и низкое энергопотребление. Модуль предназначен для систем, использующихся в военных, телекоммуникационных и Internet-ориентированных приложениях.

Модуль сРВ-4610 поставляется с процессором Intel Pentium М с малым энергопотреблением (процессор имеет тактовую частоту до 1,8ГГц и 2Мб кэш-памяти L2), выполнен на чипсете Intel 855PM с частотой системной шины 400MHz и может поддерживать 256Мб или 512Мб оперативной памяти ECC DDR200/266 SDRAM. На плате имеются интегрированные: контроллер Ethernet 10/100Мбит/с с автоматическим определением, контроллер SCSI, два разъема PMC (32-bit/33МГц),

Анализ использования системы показал, что периодичность ее использования, в основном, определяется динамикой изменения качества компонентов и уровней в резервуарах. Относительно точности моделирования качества и рецептуры товарных продуктов можно сказать, что качество моделируется очень хорошо (за 15 дней для октановых чисел и плотности разность между планом и фактом не превысила 1%), максимальное отклонение рецептуры бензина А-80 составило 6,4%, для бензина А-95 отклонение плановой рецептуры от фактической существенно меньше.

Можно указать и проблемы внедрения BLEND в России, подразделив их на организационные и технические. К организационным относятся:

- отсутствие ответственного специалиста-оператора (часто использование системы возлагают на инженера-технолога товарного производства или работников производственного отдела, загруженных обычными обязанностями, которые с них не снимаются);
- затруднено взаимодействие с существующими производственными структурами (отсутствуют организационные мероприятия по реализации регламента использования системы);
- отсутствие заинтересованности в оптимизации (весьма существенный выигрыш от оптимизации,

как правило, никак не отражается на оплате пользователей системы).

Технические проблемы, в основном, сводятся к следующему: низкий уровень автоматизации, отсутствие автоматических станций смешения и потоковых анализаторов; недостаточность резервуарного парка; отсутствие импорта данных из диспетчерских систем; отсутствие автоматической реализации решений; необходимость составления расписания смешительных операций, привязки к отгрузкам, учета динамики смешения и отгрузок

Некоторые из этих проблем в последнее время успешно решены — разработано ПО для импорта/экспорта данных из системы BLEND и *Scheduler* — планировщик почасового расписания смешения.

Несмотря на проблемы, *никакой альтернативы использованию системы BLEND предложить нельзя*. Согласно европейским нормам 228-99 (ГОСТ Р 51866-2002) нормируются такие показатели качества, как концентрации олефинов, ароматики, бензола, кислорода, конкретных оксигенатов, введены классы испаряемости в зависимости от сезона и региона: летние — А,В, зимние — С,Д,Е,Ф, переходные — С1,Д1,Е1,Ф1, нормируется рассчитываемый показатель — максимальный индекс паровой пробки (как функция давления паров и 70% точки фракционного состава) в за-

разьем для установки flash-накопителя Mini-IDE, интерфейсы PS/2 для подключения клавиатуры и "мыши", порты USB, COM и LPT, а также интерфейсы для подключения IDE- и флоппи-накопителей. Этот модуль может использоваться в качестве системного процессорного модуля в системах, построенных согласно требованиям спецификации PICMG 2,16 (сPSB).

Очень важно, что модуль сPB-4610 не требует вентилятора для охлаждения процессора — он охлаждается конвекционным способом и при этом работает в диапазоне температур -40...55°C при влажности до 95%. Кроме того, модуль сохраняет работоспособность при ударах силой до 40G (11 мс) и вибрациях в диапазоне частот 5 Гц...1 кГц при интенсивности до 0,06g2/Гц продолжительностью до 4 ч. Параметры устойчивости модуля к неблагоприятным внешним воздействиям соответствуют требованиям военных стандартов США и стран НАТО.

Однако — как и все семейство PlexSys, разработанное и производящееся компанией Diversified Technology — процессорный модуль сPB-4610 может применяться и в коммерческих приложениях, особенно для построения

систем высокой надежности, где вопрос безвентиляторного охлаждения имеет особенно большое значение. Этому способствуют и включенные в комплект поставки системное ПО для ускорения загрузки и увеличения скорости ввода/вывода и программируемый двухступенчатый сторожевой таймер для повышения надежности функционирования. Модуль поставляется с двухлетней фирменной гарантией.

Разработанный и серийно выпускаемый компанией Diversified Technology процессорный модуль сPB-4610 является удачным выбором для тех разработчиков вычислительных систем, которым требуется высокопроизводительное и рассчитанное для работы в неблагоприятных условиях решение для построения систем для работы в нестационарных условиях. Передвижные узлы связи, корабельные навигационные системы, узлы интегрированных систем управления для самолетов и вертолетов — вот далеко не полный список приложений, в соответствии с требованиями которых проектировался этот уникальный модуль на основе процессора Pentium M.

Контактные телефоны ОАО "Родник Софт": (095) 113-70-01, 113-26-88. [Http://www.rodnik.ru](http://www.rodnik.ru)

Маленький, но удаленный модульный выпрямитель

Фирма Nemic-Lambda объявила о начале поставок компактных модульных выпрямителей (AC/DC Front-End power supply) серии FPS с выходной мощностью 1000 Вт, предназначенных для применения в аппаратуре связи и передачи данных. Модули высотой 1U (41 мм) устанавливаются в каркас 1U 19" стойки, что обеспечивает экономию пространства при монтаже. Горизонтальное объединение трех модулей позволяет получить полную мощность 3000 Вт. В настоящее время компания ПРОСОФТ предлагает модули с выходным напряжением 48 В. В

перспективе планируются поставки модулей с выходными напряжениями 24 и 12,5 В.

Основные достоинства: компактность (127x290x41 мм), высокая удельная мощность 671 Вт/дм³, универсальное питание ~85...265 В, по ширине стойки монтируются три модуля высотой 1U, возможны замена под напряжением и параллельная работа для обеспечения резервирования, по специальному заказу поставляется модель с коммуникационным интерфейсом I2C для передачи сигнала о состоянии системы.

Контактный телефон (095) 234-06-36, факс 234-06-40. [Http://www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

висимости от класса испаряемости. Учесть эти требования без моделирования процессов смешения практически невозможно, а если еще принять во внимание и максимально возможную прибыль, которую дает использование системы, то нет другого пути совершенствования оперативного управления процессами смешения, как внедрять систему BLEND.

Scheduler – построение почасовых расписаний смесительных операций

Получаемое в системе BLEND решение носит статический характер, то есть минимальный рассматриваемый интервал времени – это сутки. Реализация решения многопериодных (на несколько суток) моделей требует учета уровней резервуаров в начале и конце каждого периода, подачи свежих компонентов и отборов из компонентных резервуаров, предварительного смешения компонентов и других факторов. Нужно также принимать во внимание существенную разницу между "производственными" и "транспортными" сутками. Поэтому реализация полученного суточного плана производства и оптимальных рецептур требует создания систем более низкого уровня управления, которые строили бы почасовые расписания смешений и учитывали бы динамику смесительных операций, то есть производительность смесителей, станций смешения, линий перекачки, время сертификации готового продукта в продуктовом резервуаре и компонентов в компонентных резервуарах и, кроме того, график отгрузки продукции, то есть обеспечение наличия сертифицированной партии продукции к заданному времени.

Моделирование смесительных операций в непрерывном времени. Решение таких задач должно обеспечиваться разрабатываемой СП ПЕТРОКОМ системой построения оптимальных почасовых расписаний смешения нефтепродуктов Scheduler – планировщик.

В системе разработаны оптимизационные модели, предназначенные для построения расписаний смешения нефтепродуктов, в которых процесс смешения моделируется в соответствии с событийным подходом [7]. Это позволяет существенно уменьшить размерность и создавать оптимизационные модели, которые обеспечивают построение многопериодных расписаний смешения в соответствии с одним или несколькими критериями. Кроме того, такие модели позволяют управлять процессом приготовления нефтепродуктов так, чтобы все физические и технологические ограничения на смесительные операции и объекты смешения были выполнены, а отклонения возможной отгрузки приготовленной продукции от заданного графика отгрузки были бы по возможности минимальными.

Основные допущения при моделировании состоят в следующем.

Скорости поступления компонент во все резервуары и их отгрузки из резервуаров, а также скорости отгрузки готовой продукции из продуктовых резервуаров в процессе построения расписания считаются постоянными и известными.

Скорости поступления компонент в смеситель для приготовления готовой продукции определяются рецептурой смешения соответствующего продукта и считаются известными. Под скоростями здесь понимается количество продуктов, поступающих в резервуар или смеситель и отгружаемых или исходящих из этих установок в единицу времени.

Скорость смешения продуктов в каждом смесителе принадлежит заданному диапазону скоростей, т. е. должна быть меньше $W_{\max}$ и больше $W_{\min}$, и не зависит от типа смешиваемого продукта.

Размеры всех резервуаров известны и количество продуктов, которое находится в каждом резервуаре не должно выходить за его рабочие объемы, т. е. быть меньше минимально допустимой величины и больше максимально допустимой.

Переназначение компонентных и продуктовых резервуаров на горизонте построения расписания считается нежелательным.

Процесс функционирования системы смешения в модели представляется состоящим из повторяющихся этапов и шагов. Длительность этапа определяется переключением какого-либо компонентного резервуара, а длительность шага – сменой смешиваемого продукта на каком-либо смесителе. На любом этапе с каждым компонентным резервуаром может быть связана только одна операция по его заполнению или отгрузке, или же резервуар может простаивать в ожидании выполнения операции, которая будет выполняться уже на следующем этапе процесса. То есть этап начинается с операции заполнения компонентного резервуара или откачки из него соответствующего компонента и заканчивается, когда какой-либо резервуар заполнится до допустимого уровня, либо опорожнится до такого уровня, при котором для выполнения следующего смешения в нем осталось недостаточно компонента.

Это обеспечивает возможность проведения смешения на каждом этапе с постоянной рецептурой, поскольку при построении модели считается, что состав компонента в резервуаре, в который на этом этапе компонент не поступает, остается постоянным и измениться не может. Замена какого-либо резервуара, из которого компонент поступает на смешение, в течение этапа считается невозможной, то есть ситуация, когда в начале этапа для подачи какого-либо компонента на смешение использовался один компонентный резервуар, а затем на этом же этапе для подачи этого же компонента стал использоваться другой резервуар, считается недопустимой.

Для построения расписания смешения используется оптимизационная модель, расчеты которой сводятся к решению задачи линейного программирования с частью целочисленных переменных.

В результате расчета модели определяется:

- последовательность смешений производимой продукции на каждом смесителе, время начала и окончания каждого смешения, а также количество

продукта, которое должно быть приготовлено в течение каждого смешения;

- время пополнения каждого компонентного резервуара и число компонентов, поступающих в эти резервуары в течение каждого пополнения;

- время работы каждого смесителя для выполнения каждого смешения готовой продукции.

Время выполнения всех смешений и число поступающих и отгружаемых компонентов и продуктов определяются таким образом, чтобы в:

- любые моменты времени не было переполнения резервуаров компонентных и готовой продукции;

- соответствующие моменты времени в компонентных резервуарах было достаточное число компонентов для смешения согласно построенному расписанию выпуска товарной продукции, а в продуктовых резервуарах места для ее приема;

- течение заданного интервала времени потребителям было отгружено заданное число тонн готовых продуктов каждого типа. Количество отгружаемых продуктов в некоторых постановках задач должно соответствовать заданному графику отгрузки;

- общее время задержек и нарушений заданного графика отгрузок должно быть по возможности минимальным.

Для участка смешения это означает, что к началу каждой отгрузки в продуктовых резервуарах должно находиться, по крайней мере, требуемое количество заказанного продукта. Причем к началу отгрузки все приготовленные для отгрузки продукты уже должны пройти "паспортизацию" (измерение характеристик приготовленного продукта и проверку их соответствия заданным стандартам). Поэтому любой продукт одновременно не может поступать в резервуар после смешения и отгружаться из него потребителям. Если характеристики продукта удовлетворяют имеющимся стандартам, то возможна его отгрузка потребителю, иначе продукт считается некондиционным и отгружаться не может.

К основным критериям оптимизации в таких моделях относятся:

- минимизация отклонения количества приготовленного бензина от заданного количества в соответствии с планом и графиком отгрузки готовых продуктов, если полностью заказ выполнить невозможно;

- максимизация заполнения продуктового резервуара с учетом последующей отгрузки бензина данного типа, что позволяет обеспечить сокращение числа измерений качества приготавливаемых товарных продуктов для оформления паспорта бензина;

- минимизация отклонения по времени сроков полного выполнения заказа от заданного графика отгрузки, если заказ в заданное время выполнен быть не может;

- минимизация количества использования смеси-теля для выполнения заданного заказа;

- комбинация приведенных выше критериев.

Предложенный подход может быть также использован для построения расписания смешения масел, специфика которого по сравнению со смешением топлив состоит в том, что смешение происходит не в потоке, а в небольшом числе смесителей ограниченного объема (например, в станции смешения Siemens — четыре смесителя), а приготовить за месяц нужно заданное количество каждого масла, ассортимент которых может составлять несколько десятков. Причем, нужно учитывать как время перемешивания, так и время паспортизации, которое для разных типов масел является различным, и в течение которого смеситель недоступен для следующего смешения. Кроме того, имеет значение последовательность смешений в каждом смесителе, так как после некоторых масел смеситель должен подвергаться чистке, а после некоторых других — нет. Учитывая эти обстоятельства, задача составления суточных планов смешения масел является далеко не тривиальной, и ресурсы экономии при этом даже больше, чем при смешении бензинов.

Система Scheduler защищена патентом Российской Федерации [7].

Таким образом, рассмотренные выше системы — инструментальный, позволяющий эффективно решать задачи оптимального планирования на НПЗ в диапазоне горизонта планирования от года до почасовых расписаний. Многолетняя практика использования систем RPMS и BLEND на российских заводах и компаниях позволила разработать и реализовать целостную систему программной и организационной поддержки их промышленной эксплуатации, добиться доверия специалистов и, главное, показала — без них уже работать нельзя.

Список литературы

1. Соркин Л.Р., Хохлов А.С. Оптимальное планирование в вертикально интегрированных нефтяных компаниях // Приборы и системы управления. 1999. № 9.
2. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука. 1983.
3. *Optimization in Industry 2. Mathematical programming and Modelling Techniques in Practice.* Edited by Tito A. Ciriani and Robert C. Leachman — JohnWiley & Sons Ltd, 1994.
4. Дозорцев В.М., Ефитов Г.Л., Шестаков Н.В. Современные компьютерные системы управления как средства снижения потерь в нефтепереработке // Приборы и системы управления. 1998.
5. Ефитов Г.Л., Овчинникова Т.Ф. Использование D-оптимальных планов Шеффе для моделирования октановых чисел бензинов интерактивным методом Дюпона // Тезисы докладов IX междунар. конф. "Математические методы в химии и технологиях". 1996.
6. Healy W.C., Maassen C.W., Peterson R.T. A New Approach to Blending Octanes. ETHYL's report RT205, 1969.
7. Аносов А.А., Ефитов Г.Л., Любимов Ю.Б., Хоботов Е.Н. Способ автоматизированного управления смешением нефтяных топлив путем построения расписания смешений во времени. Патент на изобретение №2235350.

Соркин Л.Р. — д-р техн. наук, председатель совета директоров,

Хохлов А.С. — д-р техн. наук, директор департамента производственного и корпоративного планирования,

Ефитов Г.Л. — канд. техн. наук, руководитель проекта, Цодиков Ю.М. — канд. техн. наук, старший эксперт,

Хоботов Е.Н. — д-р техн. наук, эксперт СП ПЕТРОКОМ.

Контактный телефон (095) 334-87-71.