

Передовые решения по эффективному смешению сырой нефти

Применение поточных анализаторов на базе ядерного магнитного резонанса в процессах смешения сырья для снижения затрат производства

ГРЕГОРИ ШАХНОВСКИЙ, ТАЛЬ КОЭН и РОННИ МАКМЮРРЕЙ
Modcon-Systems Ltd

В Прошлом, НПЗ строились для перегонки обычной легкой сырой нефти. Текущее состояние экономики, изменения в цене на сырую нефть и изменение спроса на дистилляты вынуждают НПЗ понижать стоимость сырья, используемого для дистилляции. Как правило, это достигается путем смешения дорогостоящей легкой нефти с тяжелой (нестандартной) нефтью низкого качества, или посредством закупок готовых смесей. Низкокачественные нефти включают тяжелую сырую нефть из известных месторождений, а также случайную нефть, поставляемую на рынок торговцами со всего мира. Эти сорта нефти более низкого качества можно приобрести по низкой цене. Их смешивают с дорогостоящей нефтью для получения нефтяных смесей, обладающих оптимальными для переработки свойствами при минимальных затратах.

НПЗ во всем мире строились по технологическим принципам, предусматривающим перегонку строго определенных сортов нефти. Эти заводы проектировались с учетом доступности определенных видов сырой нефти в соответствующих регионах, стоимости определенных видов нефти на рынке и преимущественного спроса на легкие дистилляты для производства бензина.

Перегонка сырой нефти в основном направлена на производство компонентов бензина, таких, как легкий и средний дистиллят. Совсем недавно спрос на топливо сместился с бензина на дизельное топливо, особенно в США и в Европе. Это означает, что если в прошлом перегонялись в основном легкие сорта сырой нефти, сегодня НПЗ должны быть способны перегонять более тяжелые сорта. Для многих заводов, которые не смогли адаптироваться к изменению ситуации, маржа переработки понизилась.

Технологические ограничения заставили многие НПЗ покупать дорогую легкую нефть, непригодную для производства некоторых дистиллятов, пользующихся наибольшим спросом на рынке. Для ряда заводов потери оказались слишком велики. Многие из них закрылись или переключились с перегонки на смешение.

Сегодня смешение сырой нефти производится либо на смесительных установках, либо самими НПЗ, которые покупают различные виды бюджетной сырой нефти.

Дополнительные затраты на переработку нефти с высоким показателем TAN находятся в пределах \$1.15-10.73/баррель, при этом экономия составляет \$43.54-62.7/баррель

Это позволяет с минимальными затратами изменить химические и физические свойства нефти, сделав ее пригодной для переработки на оборудовании НПЗ и производства ценных дистиллятов.

Характеристики сырой нефти

Качественные параметры определяют рыночную стоимость каждого вида нефти. Наиболее важными характеристиками качества являются плотность, общее кислотное число (TAN) и содержание серы. Удельный вес API варьируется от легкой нефти (высокий API, малая плотность) до тяжелой нефти (низкий API, высокая плотность). Сера присутствует в сырой нефти в виде сероводорода и полисульфидов.

Эти серосодержащие молекулы частично разлагаются при перегонке с выделением сероводорода. Сера и другие кислые компоненты, содержащиеся в сырой нефти, например, нафтеновые кислоты, обладают высокой коррозионной активностью и отвечают за кислотность нефти. Именно эти характеристики главным образом определяют цену различных видов сырой нефти.

Оборудование НПЗ

Сырая нефть с высоким показателем TAN характеризуется меньшим количеством легких компонентов, высокой плотностью и вязкостью, низкой температурой застывания, высоким содержанием азота, высоким содержанием асфальтенов, высоким содержанием солей и тяжелых металлов, а также низким выходом легких нефтяных дистиллятов. Сепарация такой нефти в обессоливающей установке является гораздо более сложной, чем обычной нефти. Перечисленные свойства также обуславливают низкое качество продуктов, получаемых из такой сырой нефти, и их высокую коррозионную активность. Как правило, сырую нефть с высоким показателем TAN называют "случайной сырой нефтью". Ее цена составляет около 80% от стоимости обычной сырой нефти.

Дополнительные затраты на переработку нефти с высоким показателем TAN находятся в пределах \$1.15-10.73/баррель, при этом в целом экономия составляет \$43.54-62.7/баррель по сравнению с переработкой обычной нефти. Таким образом, использование такой нефти любым возможным образом очень привлекательно для переработчиков.¹

В прошлом при проектировании и строительстве большинства НПЗ ориентировались на качество наиболее доступной для них сырой нефти. Это ограничивает маневренность многих НПЗ при закупке других видов нефти, с иными

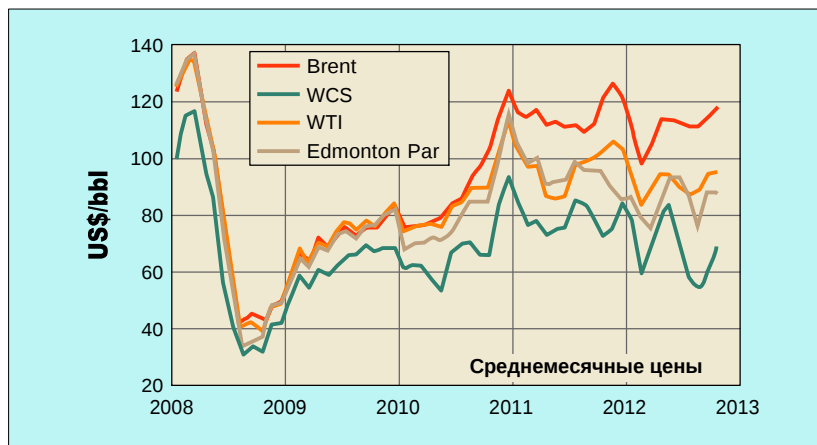


Рисунок 1 Динамика мировых цены на нефть (Bloomberg and TD Economics)

характеристиками. Многие из новых НПЗ, строящиеся в настоящее время, спроектированы для переработки легкой нефти с низким содержанием серы, ограничены в выборе сырой нефти.

Основные эксплуатационные затраты НПЗ включают в себя цену сырой нефти, по оценкам составляющую 80-90% денежного потока. Снижение стоимости сырой нефти без изменения ассортимента и объемов высокоценных дистиллятов увеличивает маржу переработки. Прибыли НПЗ являются прямым результатом его стратегии в приобретении дешевой сырой нефти и производстве дистиллятов с высокой рыночной стоимостью. Чтобы увеличить маржу переработки и оставаться конкурентоспособными, НПЗ должны минимизировать затраты на свое нефтяное сырье, не затрагивая при этом способности производить высокоценные дистилляты. В связи с тем, что тяжелые нефти труднее обрабатывать, и с увеличением потребления дизельного топлива по сравнению с бензином, легкие сорта нефти с низким содержанием серы продаются по более высокой цене, чем тяжелые. Снижение стоимости сырой нефти без изменения ассортимента и объемов высокоценных дистиллятов увеличивает маржу переработки.

Тяжелые виды топлива богаты асфальтенами и металлами, а также другими загрязняющими веществами, которые ухудшают качество работы обессоливающей установки.

Изменение продуктов

Спрос на некоторые дистилляты и продукты переработки меняется. Ожидается, что средние дистилляты составят около 45% мирового спроса на баррель к 2015 году, что означает 10% рост по сравнению с 2005 годом. Можно предполагать, что с 2009 по 2030 года производство дизельного газойля в развивающихся странах увеличится на 10 млн. баррелей в сутки.²

США является крупнейшим потребителем нефти. В то время как спрос в США остается стабильным, Китай сегодня занимает второе место с 4% годовым ростом спроса на сырую нефть.

Потенциальные объекты смешения сырой нефти

Смешением сырой нефти занимаются организации двух основных типов: НПЗ и производители смесей/торговые компании. Смешение сырой нефти выполняется непосредственно на НПЗ с целью приготовления недорогих смесей, пригодных для их внутреннего потребления или для торговли на рынке.

Эффективное смешение сырой нефти открывает для производителей смесей, терминалов и торгующих нефтью компаний возможность поставлять на рынок дешевые смеси. Высококачественные смеси могут продаваться НПЗ по высокой рыночной стоимости.

Смешение сырой нефти может выполняться на разных этапах поставки нефти, в процессе ее транспортировки от скважины к НПЗ через терминалы смешения. Нефть, подаваемая на перегонку, может быть комбинацией, полученной в результате ряда операций смешения.

Стратегия смешения сырой нефти основывается на нескольких параметрах. Каждый из них вносит свой вклад в общую конечную стоимость нефти, поступающей на перегонную установку, а также в маржу переработки:

- Технологические ограничения перегонных установок при переработке любых типов сырой нефти.
- Различия в стоимости нефтей в зависимости от их происхождения, химических и физических свойств. Расширенные возможности переработки нестандартной сырой нефти приводят к повышению маржи нефтепереработки.
- Смещение спроса на рынке от бензина к дизельному топливу. Рост спроса на дизельное топливо на европейском рынке заставил НПЗ увеличить выход дизельного топлива по отношению к выходу нафты.
- Высокая вязкость, особенно у более тяжелых нефтей, влияет на реологические свойства нефти при транспортировке. Для снижения вязкости и улучшения реологических свойств может потребоваться смешение этих сортов сырой нефти с разбавителями или обычной нефтью.

Экономика сырой нефти

Если ранее НПЗ перегоняли сырую нефть, получаемую из одного источника, то в настоящее время прибыль НПЗ является прямым результатом возможности создания смесей, которые включают меньшие количества дорогостоящих нефтей и большие количества нетрадиционных нефтей, таких как тяжелые и особо тяжелые нефти, кислая сырая нефть и битум, извлеченный из нефтеносных песков. Однако эти смеси должны обладать физическими и химическими свойствами, необходимыми для обеспечения стабильной и непрерывной работы перегонной установки при минимально возможных затратах.

Сырую нефть можно разделить на четыре основные группы:

- Легкая, с низким содержанием серы (API 30-40°, S ≤ 0,5% масс.)
- Легкая, с умеренным содержанием серы (API 30-40°, S = 0,5-1,5 % масс.)
- Тяжелая, с высоким содержанием серы (API 1-30°, S 1,5-3,1 % масс.)
- Особо тяжелая, с высоким содержанием серы (API = 15°, S ≥ 3 % масс.)

Доля компонента в смеси определяется физическими свойствами, необходимыми для максимального выхода высокоценных дистиллятов, и конструкцией оборудования для переработки смеси.

Различия в текущих ценах легких нефтей марки Брент и несколько более тяжелых нефтей WTI составляют около \$10/баррель (см. **Рисунок 1**).⁴

Случайные нефти, разумеется, намного дешевле. Различные виды сырой нефти, например, некоторые венесуэльские и канадские нефти, являются очень тяжелыми и привлекательны для производства битума. Переработка таких нефтей ограничена их очень низким удельным весом API. Чтобы производить из этих нефтей другие дистилляты, их нужно обогащать путем разбавления легкой нефтью или керосином.

Еще одним недостатком является высокая вязкость многих тяжелых нефтей. Чтобы придать им реологические свойства, позволяющие транспортировку по трубопроводам без подогрева, также требуется их смешение с легкой сырой нефтью, керосином или другими разбавителями.

Для тяжелых нефтей характерен дефицит водорода и высокие уровни примесей, таких как сера, азот, органические кислоты, ванадий, никель, диоксид кремния и асфальтены. Способом обогащения тяжелых нефтей при относительно низких затратах является их разбавление богатой водородом легкой нефтью более высокого качества или богатыми водородом разбавителями для увеличения соотношения Н/С.

Целью каждого НПЗ является максимальное потребление случайной сырой нефти.

Процессы смешения

Смешение сырой нефти может осуществляться двумя методами.

Смешение в резервуарах (смешение партиями)

Конкретные объемы различных видов сырой нефти, хранящихся в отдельных резервуарах, загружают в смесительную емкость, где они

смешиваются до получения гомогенного состава. Содержимое резервуаров механически перемешивается. Необходимо отбирать пробы для проверки однородности смеси и ее соответствия установленным спецификациям. В случае несоответствия должна производиться коррекция смеси. Вся процедура смешения в резервуарах является очень трудоемкой и дорогостоящей.

Поточное смешение

В отличие от смешения в резервуаре, поточное смешение осуществляется путем одновременной подачи различных видов сырой нефти в резервуар конечной смеси при помощи статического поточного смешивающего устройства.

Чтобы эффективно и безошибочно управлять процессом смешения, необходимы поточные анализаторы

Заданное соотношение потоков различных нефтей дает смесь требуемого качества. Поточное смешение позволяет непрерывно корректировать качество смеси путем изменения соотношения подаваемых компонентов. Смесь производится мгновенно, и нет необходимости перемешивать ее в резервуарах смешения.

Чтобы эффективно и безошибочно управлять процессом смешения, необходимы поточные анализаторы, позволяющие незамедлительно измерять параметры смеси на выходе и предоставлять операторам смешения необходимую информацию о качественных параметрах получаемой смеси. Это позволяет корректировать смесь в режиме реального времени непосредственно в процессе смешения, обеспечивая получение продукта с заранее заданными свойствами.

При этом устраняется необходимость корректирующего повторного смешения в объеме целого резервуара, а также сокращается выход некондиционных продуктов.

Определение рецептов смешения

Программное обеспечение для моделирования, например, методом линейного программирования (LP), широко используется для прогнозирования соотношения отдельных компонентов получаемой смеси. Это программное обеспечение обычно применяется для расчета физических свойств смеси на базе параметров используемых нефтей и при помощи соответствующего алгоритма.

Программа вычисляет соотношение различных нефтей, дающее смесь с нужными свойствами, что приводит к получению желаемых дистиллятов с оптимальным выходом.

Для точного прогнозирования смеси с заданными физическими свойствами и потенциалом максимального производства высокоценных дистиллятов необходимо использовать большую базу данных, охватывающую широкий спектр нефтей. Адекватные модели смешения должны включать не только химию нефтеперегонки, но и ее экономику. Они должны быть способны рассчитывать состав различных нефтей для обеспечения наиболее эффективного смешения при самых низких затратах. Такие смеси содержат максимально возможные объемы нефти с наименьшей стоимостью, но по-прежнему обладают наиболее привлекательными свойствами для переработки. Эта стратегия позволит свести к минимуму переменные затраты и максимизировать прибыль.⁵

LP основано на анализе смешиваемых сырых нефтей. Любые изменения в анализе повлияют на прогнозируемую LP смесь.

По сути, эффективное программное обеспечение моделирования смешения сырой нефти должно учитывать следующие параметры:⁶

- Расчетное соотношение компонентов смеси
- Допустимые пределы соотношений
- Прогнозируемые температуры отгона фракций
- Ограничения параметров смеси
- Параметры фракций
- Пределы ограничений.

Помимо физико-химических свойств смеси, программное обеспечение должно быть сфокусировано на возможной прибыли, получаемой от смешения. Для этого программное обеспечение должно принимать во внимание также:

- Стоимость различных сырых нефтей и их смесей
- Цены на конечные дистилляты и другие продукты нефтепереработки
- Объемы конечных дистиллятов, требуемые рынком

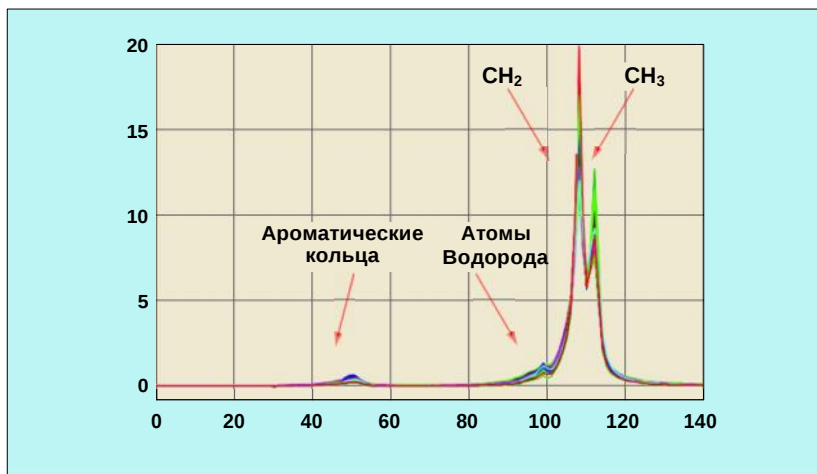


Рисунок 2 Типичный ЯМР спектр сырой нефти

Для контроля «реальных» физических свойств смеси нужны длительные и дорогостоящие лабораторные анализы. Если требуемые свойства не достигнуты, необходимо повторное смешение.

Эффективное смешение требует поточного мониторинга свойств смеси на протяжении всего производственного цикла.

Химический состав у каждой нефти разный. Независимо от того, является ли нефть чистой или представляет собой смесь нефтей, для поддержания стабильного качества продукции должна непрерывно проводиться поточная коррекция. Это требует отбора проб в режиме реального времени и проверки физических свойств смеси на всех этапах смешения.

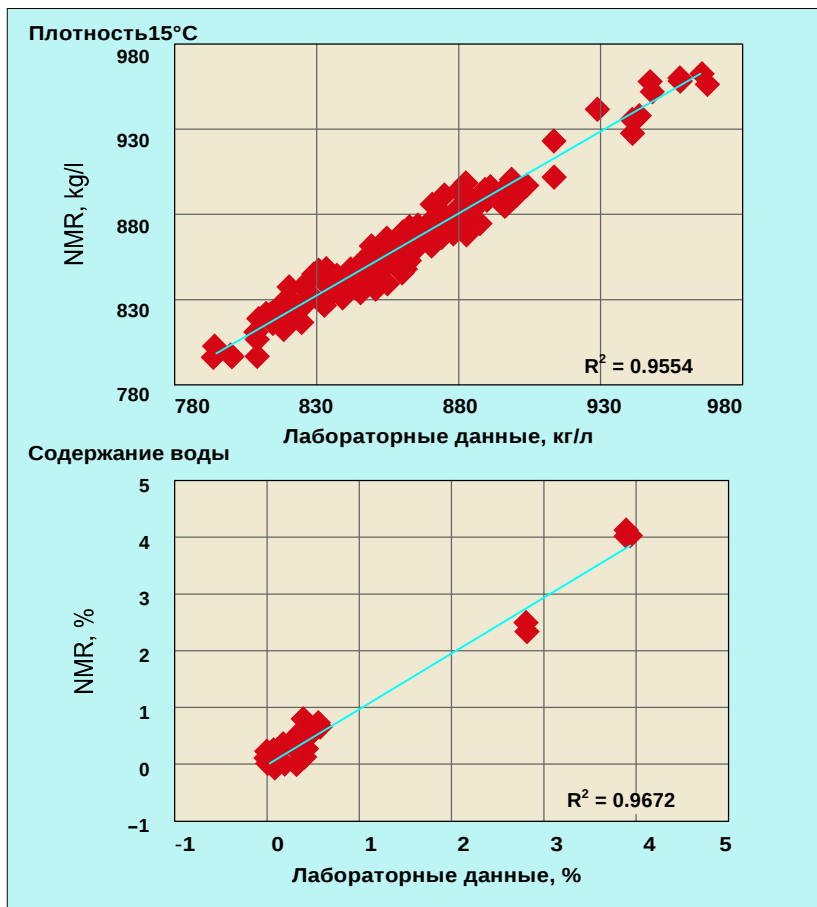


Рисунок 3 Корреляция между результатами ЯМР и лабораторными измерениями

Среди всех анализаторов, доступных на рынке, наиболее подходящими для этой цели являются поточные анализаторы ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

Первые поточные ЯМР анализаторы были выпущены в конце 1990 года. Ядра водорода во внешнем магнитном поле поглощают и повторно излучают электромагнитную энергию с определенной резонансной частотой. Принцип действия ЯМР анализаторов основан на ориентации ядер в магнитном поле. Подача внешнего радиочастотного импульса приводит к переориентации ядер. Резонансная частота зависит в основном от силы магнитного поля. По завершении радиочастотного импульса протоны релаксируют и возвращаются в исходное равновесное состояние, что приводит к затуханию сигнала свободной индукции (FID).

Сырая нефть представляет собой смесь органических химических соединений, молекулы которых состоят в основном из углерода и водорода. Соседние атомы, такие как углерод, кислород и сера, и соседние химические связи влияют на величину поглощения энергии и излучение, генерируемое ядрами водорода в магнитном поле.

Соответственно, сигнал каждого атома водорода дает отличный от других сдвиг в спектре ЯМР. Эти четко определенные химические сдвиги отражают химическую структуру молекулярных частиц. Линейная корреляция между интенсивностью сигнала и концентрацией водорода дает возможность оценить количество различных ядер водорода.

Физические свойства сырой нефти и дистиллятов зависят от их химического состава. Это позволяет использовать хемометрические методы для соотношения спектральных данных с физико-химическими свойствами.

Поскольку ЯМР спектроскопия позволяет различать молекулы и устанавливать линейную количественную корреляцию, для построения хемометрической модели требуется значительно меньше эталонных проб, чем в случае Рамановской и БИК спектроскопии.

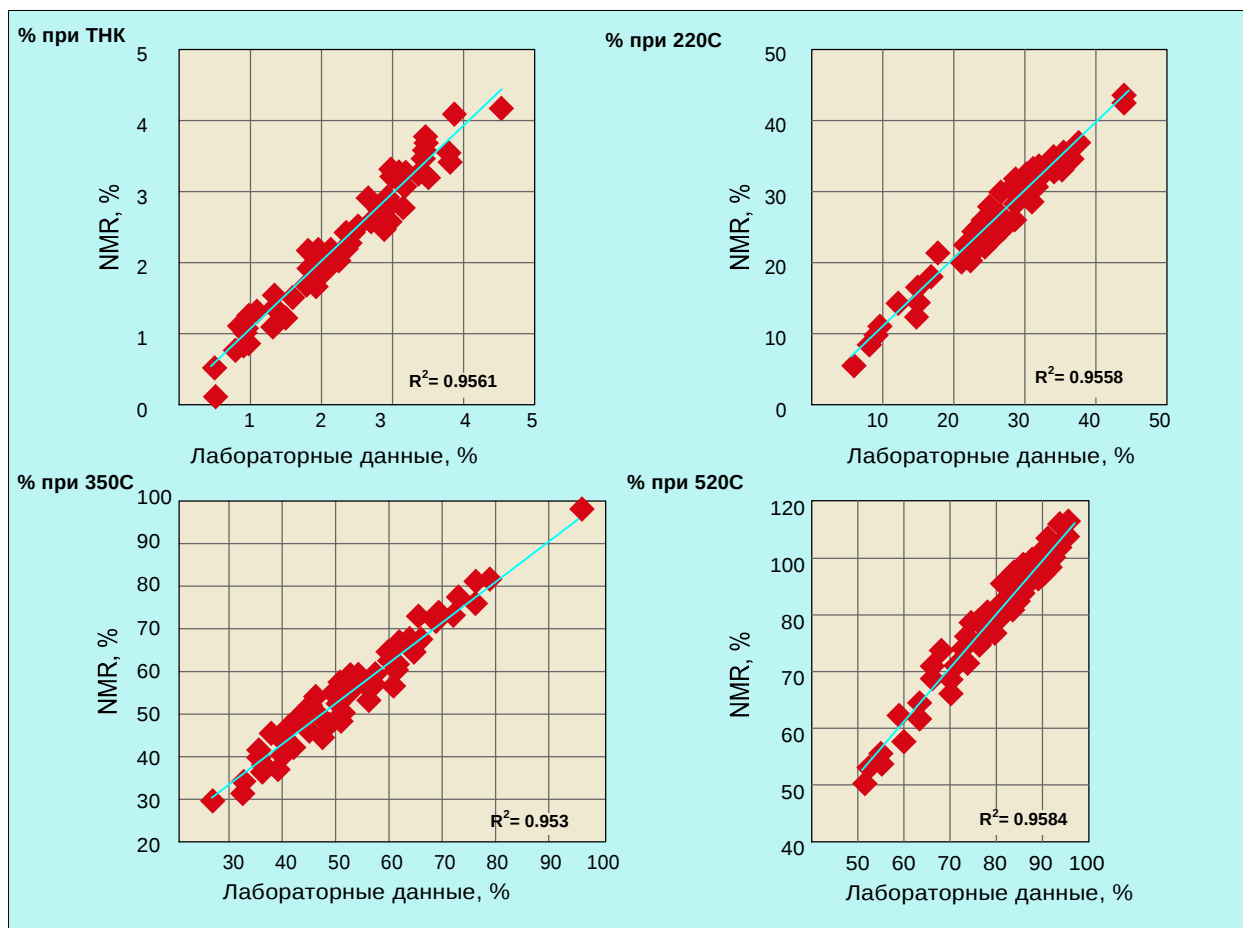


Рисунок 4 Корреляция между температурами кипения, прогнозируемыми ЯМР, и измеренными в лаборатории

Поточные спектрометры на базе ЯМР могут применяться для измерения как прозрачных, так и непрозрачных жидкостей. Сырая нефть содержит гетероатомные молекулы воды, которые легко различаются ЯМР спектрометрией.

Поточная спектрометрия ЯМР в сочетании с хеометрическими методами позволяет определять следующие свойства сырой нефти:

- Удельный вес
- Истинная точка кипения
- Ароматические соединения, %
- Олефины, %
- Температура потери текучести
- Вода, %
- Сера, %.

Отслеживание этих параметров является наиболее важным в процессе смешения сырой нефти. Их поточное измерение позволяет смешивать синтетическое сырье в соответствии с предварительно заданными критериями - как физико-химическими, так и экономическими.

Поточный мониторинг процесса смешения позволяет исключить производство смесей, не соответствующих требованиям НПЗ.

www.eptq.com

Предотвращение ошибок смешения и производства некондиционных продуктов приведет к ежегодной экономии миллионов долларов.

Точность анализов поточного ЯМР

ЯМР анализаторы нового поколения характеризуются высокой корреляцией измерений с результатами лабораторных исследований. Магниты чувствительны к изменениям температуры. Более ранние поколения анализаторов ЯМР были особенно чувствительны к колебаниям температуры из-за накопления тепла, генерируемого их электроникой и теплопроводящими измерительными пробоотборниками. В новом поколении анализаторов ЯМР общий дизайн исключает накопление тепла в магните или вокруг него при неконтролируемых колебаниях температуры. Это повышает стабильность анализаторов при изменениях температуры в пределах от $\pm 2^\circ\text{C}$ до $\pm 10^\circ\text{C}$. Это означает, что нагревание сырой нефти перед смешиванием или после установки обессоливания не влияет на результаты анализа, пока отклонение температуры не превышает $\pm 10^\circ\text{C}$.

Рисунки 3 - 5 сравнивают измерения

анализатора ЯМР с результатами лабораторного анализа различных сырых нефтей.

Графики демонстрируют высокую корреляцию между результатами, прогнозируемыми ЯМР, и лабораторными измерениями. Наряду с химическим составом (содержание воды и серы) измерялись физические свойства (кривая перегонки). Показано отличное совпадение между имитированной дистилляцией и аналитическими результатами ЯМР. С учетом времени, необходимого для проведения лабораторного анализа, стоимости проведения анализов сырой нефти, а также затрат на приобретение и техническое обслуживание лабораторного оборудования, использование поточных анализаторов ЯМР в процессах смешения нефти является весьма эффективным, особенно в случае поточного смешения. ЯМР позволяет точно контролировать параметры производимой смеси и при необходимости изменять соотношение различных сырых нефтей с целью получения и поддержания нужного качества конечной смеси.

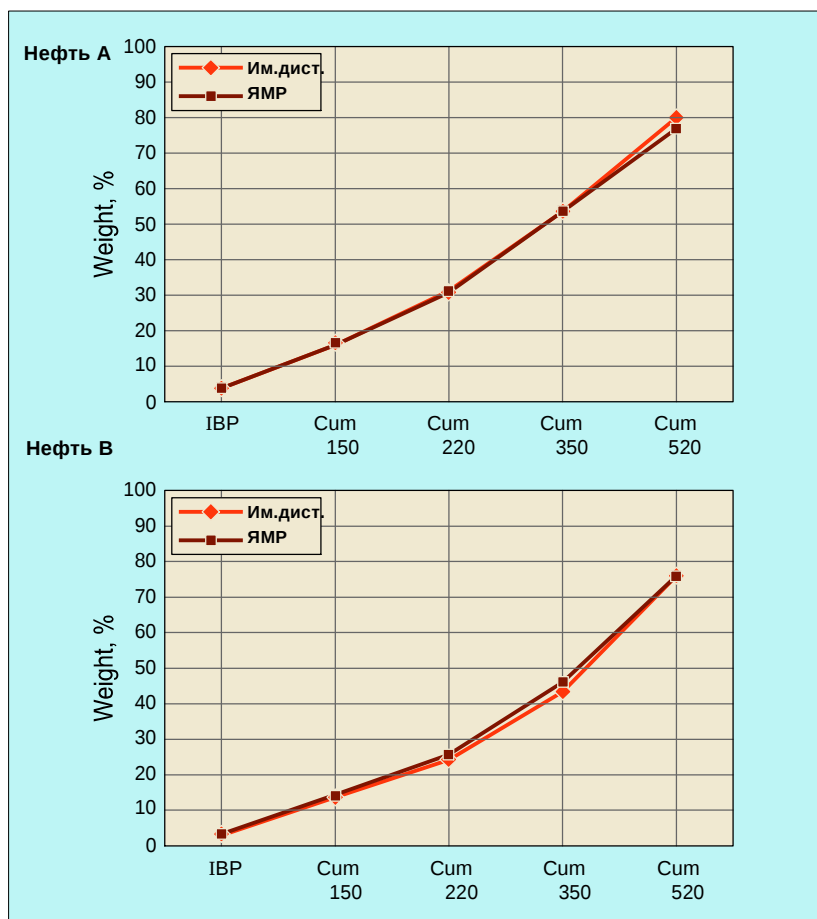


Рисунок 5 Наложение кривых ЯМР и имитированной дистилляции

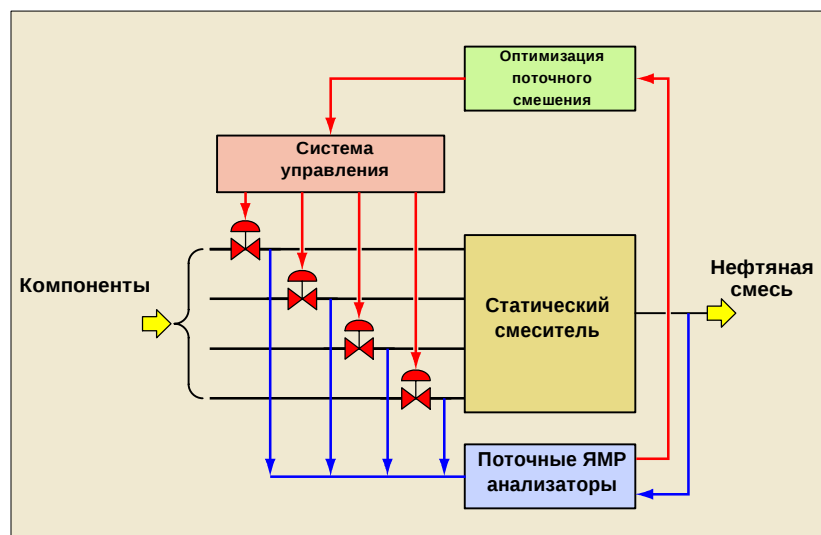


Рисунок 6 Схема станции смешения сырой нефти, включающей поточный анализатор ЯМР, имитационное моделирование и управление смешением. В числе компонентов может быть сырая нефть высокого и низкого качества, разбавители и/или природный газоконденсат (ГПК)

Оптимизированная станция смешения сырой нефти

Станция смешения сырой нефти состоит из платформы смешения, предназначенной для получения жидких или газовых потоков, программного обеспечения оптимизации и аналитического оборудования. Аналитическое оборудование должно обеспечивать поточное измерение параметров компонентов и продуктовых потоков, участвующих в операции смешения.

Эти данные передаются программному обеспечению оптимизации, целью которого является обеспечение производства смешанного продукта с минимальными производственными затратами, минимальным отклонением качества и минимальным отклонением свойств отдельных сырьевых материалов. Для достижения этой цели система оптимизации непрерывно получает качественные параметры готового продукта, полученные с применением поточных анализаторов. Используя данные, поступающие от поточных анализаторов, система оптимизации выполняет либо опережающий, либо основанный на обратной связи контроль сырья на базе качественных параметров проб продукта, отобранных из коллектора смешения.

LP моделирование и ЯМР анализ могут работать автономно, однако для лучшей оптимизации процесса смешения сырой нефти важно интегрировать эти две технологии.

Эффективная оптимизация смешения представляет собой динамический процесс, включающий смешение, непрерывный анализ смеси, регулирование имитационной модели и управление процессом. Все эти элементы должны быть приняты во внимание (см. **Рисунок 7**). Отсутствие любого звена в этой цепочке операций может негативно повлиять на эффективность всего процесса и уменьшить доходы.

Альтернативные области применения поточного анализа ЯМР

Помимо использования анализаторов ЯМР в процессах смешения различных сырых нефтей, представляют интерес также другие применения поточного анализа ЯМР.

Совместимость сырых нефтей во время смешения

Смешение разных нефтей, особенно при использовании нетрадиционных сортов сырой нефти, может вызвать осаждение асфальтенов, что является причиной загрязнения трубопроводов и технологических установок. Асфальтены растворяются в полярных ароматических соединениях, таких как толуол, но не растворяются в парафиновых неполярных растворителях. Поточный анализ содержания SARA (насыщенных соединений, смол, ароматических соединений и асфальтенов) может применяться для определения количественных соотношений различных сырых нефтей, подлежащих смешению, а также неочищенных сырых нефтей и полярных растворителей, с целью предотвращения осаждения асфальтенов.

Природный газоконденсат в смешении сырой нефти

Природные газоконденсаты (ПГК) производятся в процессах охлаждения и перегонки на газовых и нефтеперерабатывающих заводах и считаются побочными продуктами нефтяной и газовой промышленности. Газовые заводы извлекают ПГК непосредственно для продажи и/или для производства природного газа трубопроводного качества.

Цены на ПГК являются относительно низкими. Как и другие некондиционные материалы добычи природного газа, они используются НПЗ и компаниями смешения для обогащения тяжелых сырых нефтей. Кроме того, они могут применяться для снижения вязкости тяжелой нефти, чтобы облегчить ее течение по трубопроводам. Применение поточных анализаторов ЯМР предоставляет действенный инструментальный для эффективного смешения ПГК и сырой нефти с получением необходимых свойств при минимальных затратах.

Выводы

Существуют различные варианты смешения для обогащения нестандартной сырой нефти и получения более ценного сырья. Автоматическая станция смешения сырой нефти интегрирует моделирование методом LP с поточной аналитикой ЯМР. Она может использоваться как компаниями, специализирующимися на смешении нефти, так и непосредственно переработчиками. Затраты, рыночная стоимость, доступность и выбор технологий являются основными факторами, которые необходимо учитывать при планировании станции смешения, используемой для обогащения нестандартной нефти.

Для оптимизации смешения сырой нефти необходимо сочетать две основные технологии:

- Поточный анализ, который постоянно и на любом этапе контролирует качество сырой нефти и смеси
- Динамическое имитационное моделирование (имитационные модели смешения), которое обычно используется для определения требуемого состава смеси. Наилучшая оптимизация смешения может быть достигнута только с учетом данных качества сырой нефти и смеси, полученных в режиме реального времени.

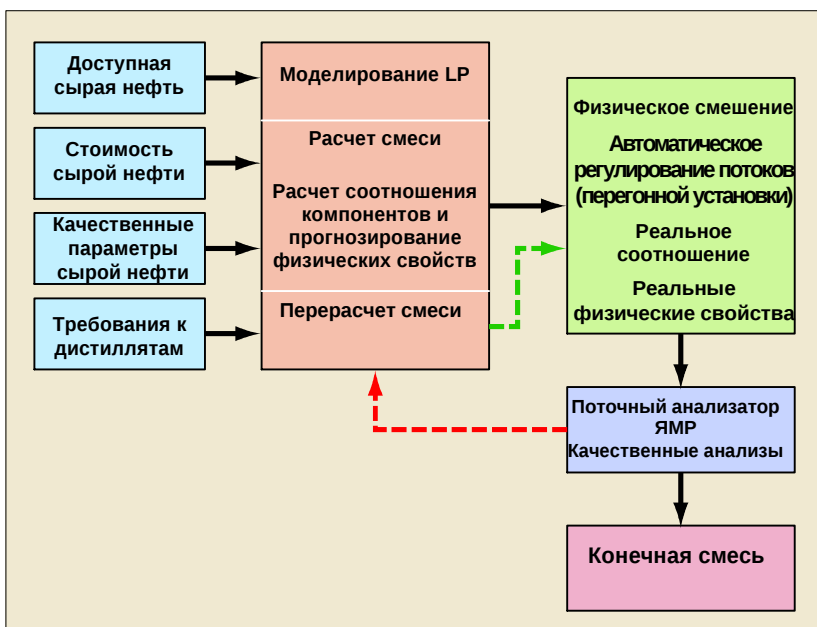


Рисунок 7 Динамический процесс смешения, непрерывные анализы смеси, регулирование имитационной модели и управление процессом

Анализаторы на базе ЯМР могут использоваться для определения химического состава и физических свойств темных и непрозрачных потоков.

Преимущество спектрометрии ЯМР заключается в ее способности устанавливать линейную корреляцию между атомами водорода в молекулах сырой нефти и химической природой ее компонентов. Хемометрические методы позволяют определять физические свойства нефтей и смесей на основе спектрометрических измерений.

Применение поточных анализаторов ЯМР предоставляет действенный инструментальный для эффективного смешения ПГК и сырой нефти

Эта технология обеспечивает получение данных о физических и химических свойствах смеси в режиме реального времени. На основе этих данных может выполняться поточная корректировка с изменением соотношения компонентов смешения для достижения требуемых физических параметров.

Благодарим компанию Aspect Imaging за сотрудничество в области ЯМР анализа сырой нефти.

Ссылки

- 1 Wu Qing, Processing high tan crude: part 1, Jan 2010, www.digitalrefining.com/article/1000524,Processing_high_TAN_crude_part_1.html#.UmUziHBkOsQ
 - 2 *Prospectus Opportunities Crude Report 2011*, Hydrocarbon Publishing Company, 2011 http://www.hydrocarbonpublishing.com/ReportP/Prospectus-Opportunity%20Crudes%20II_2011.pdf
 - 3 Stratiev D, et al, Evaluation of crude oil quality, *Petroleum & Coal*, 52 (1), 35-43, 2010.
 - 4 Drilling down on crude oil price differentials, *Observation*, TD Economics, 14 Mar 2013.
 - 5 Aldescu M, Challenges of heavy crude processing, *Sour and Heavy*, 2012.
 - 6 da Cruz D, et al, Optimization tool for predicting crude oil blending properties, 4th Mercusor Congress on Process System Engineering.
- Грегори Шахновский является Президентом Modcon-Systems Ltd, разработчиком решений в области поточных анализаторов, оптимизации и управления. Обладает опытом более чем 25-летней работы в химической и нефтехимической промышленности, имеет степень магистра в инженерии управления процессами и степень магистра в области делового администрирования.

E-mail: gregorys@modcon-systems.com

Таль Козн является Вице-президентом R&D, и Развития Бизнеса в Modcon-Systems Ltd. Ранее занимал должности Генерального Директора, Технического Директора и Вице-президента в области Исследования и Разработок в компаниях разработок высоких технологий.

E-mail: talc@modcon-systems.com

Др. Ронни МакМюррей Главным исследователем отдела R&D в Modcon-Systems Ltd. Обладает опытом работы в прикладных исследованиях и разработках, и в должности главного химика в химической и нефтяной промышленности. Имеет степень Доктора Химических Наук.

Email: ronnym@modcon-systems.com