

Изучение возможностей эффективного применения мазута в России и перспектив японо-российского сотрудничества в данной сфере

ЯМАМОТО Кадзуэ/ЙОСИДА Дзиро

Группа развития маркетинга
Департамента глобального маркетинга
JGC Корпорэйшн

1. История вопроса

Среди производимых в настоящее время в России нефтепродуктов первое место по экспортным объемам занимает мазут. Это объясняется более низкой, по сравнению с сырой нефтью и светлыми нефтепродуктами, ставкой экспортной пошлины (если ставку экспортной пошлины на сырую нефть принять за 1, ставка на светлые нефтепродукты составит 0,7, на мазут – 0,4), значительно повысившей рентабельность экспорта мазута. Данные условия подтолкнули российские компании отдавать предпочтение производству и экспорту мазута. Однако Правительство России, видя проблему в подобном дисбалансе производственной и экспортной структуры, рассматривает вопрос об унификации ставки экспортной пошлины на мазут и светлые нефтепродукты. Введение единой ставки экспортной пошлины запланировано на 2012 г., и в настоящее время всеобщее внимание направлено на методы внедрения оборудования по производству светлых нефтепродуктов из мазута.

В ходе данного семинара, посвященного эффективному применению мазута в сложившихся условиях, с помощью примеров из японского опыта, а также японских технологий эффективного применения, будет рассматриваться схема применения мазута на основе повышения его добавленной стоимости.

2. Мировые тенденции рынков мазута и светлых нефтепродуктов

Ожидается, что внедрение единой ставки экспортной пошлины будет способствовать производству светлых нефтепродуктов на базе мазута, однако мировые тенденции баланса спроса-предложения на мазут и светлые нефтепродукты также являются фактором, воздействующим на внедрение схемы эффективного применения мазута в России. В данном материале будут рассматриваться будущие перспективы мирового баланса спроса-предложения на эти нефтепродукты. Фактические показатели спроса на различные виды нефти, а также прогноз спроса приводятся на основе «Энергетической статистики МЭА за 2009 г.», «Прогноза мировой энергетики МЭА», ряда материалов компании FACTS и пр.

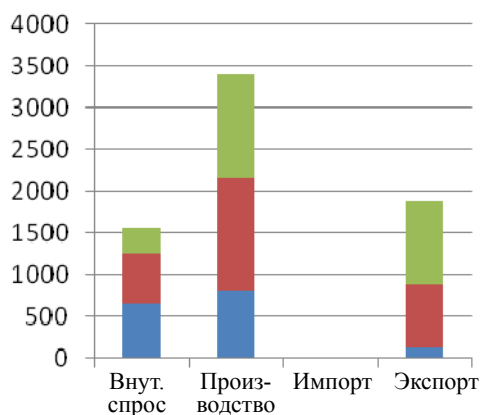
(1) Баланс спроса-предложения на нефтепродукты в России

Ниже приведены фактические показатели за 2007 г. (рис. 1) и прогноз на 2020 г. (рис. 2). Внутренний спрос на нефтепродукты ниже объемов их производства, причем резкого увеличения внутреннего спроса в будущем не предвидится. Однако экспорт мазута и дизельного топлива отличается значительно большими объемами, которые, согласно прогнозам, будут увеличиваться.

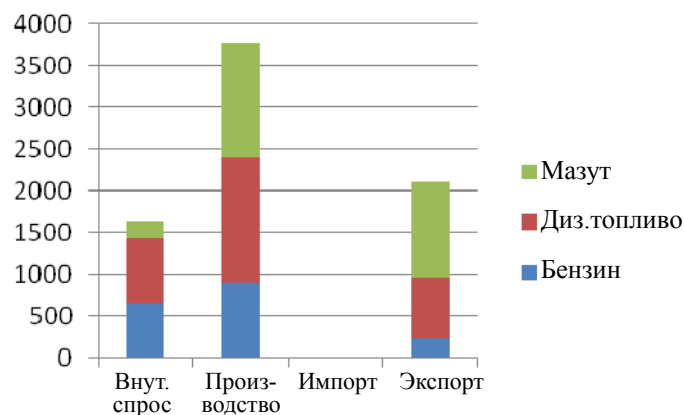
Рис. 1 Фактические показатели за 2007 г.

Рис. 2 Прогноз на 2020 г.

(тыс.бarr./сутки)



(тыс.бarr./сутки)



(2) Мировые тенденции спроса и предложения на нефтепродукты

Далее рассмотрим будущие тенденции экспортно-импортного баланса в российской внешнеторговой зоне (под которой понимаются **все регионы, за исключением Южной Америки и Африки**).

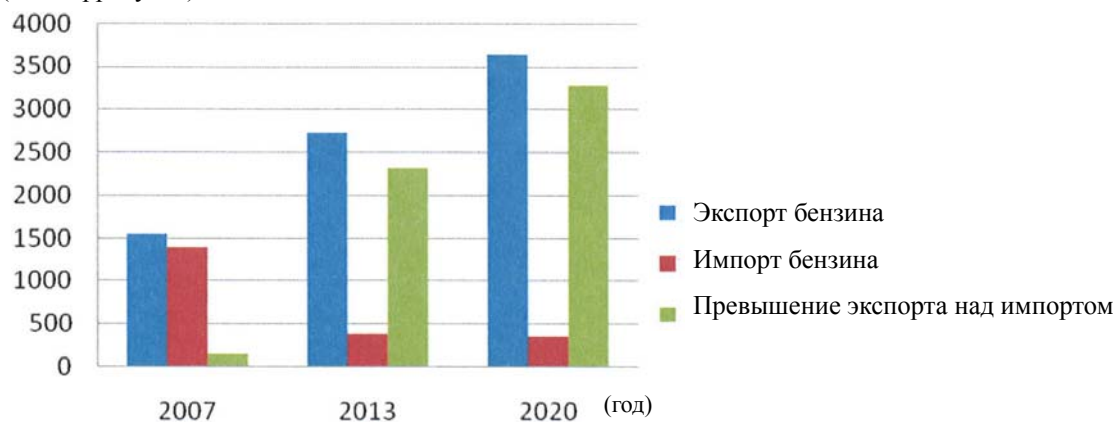
① Данные экспортно-импортного баланса по бензину (рис. 3)

В 2007 г. во многих регионах отмечается превышение предложения над спросом, что свидетельствует о тенденции избыточного предложения (избыток экспорта – 150 тыс. бarr./сутки). Дефицит на нефтепродукты отмечается только в таких регионах, как США, ЮВА, Средний Восток и пр.

Значительное сокращение дефицита импорта в таких зонах-импортерах, как США и ЮВА в 2013 и 2020 г. обусловлено снижением спроса на автомобильный бензин. В этой связи ожидаемый избыток поставок превысит 2-3 млн. бarr./сутки.

Рис. 3 Экспортно-импортный баланс по бензину

(тыс.бarr./сутки)



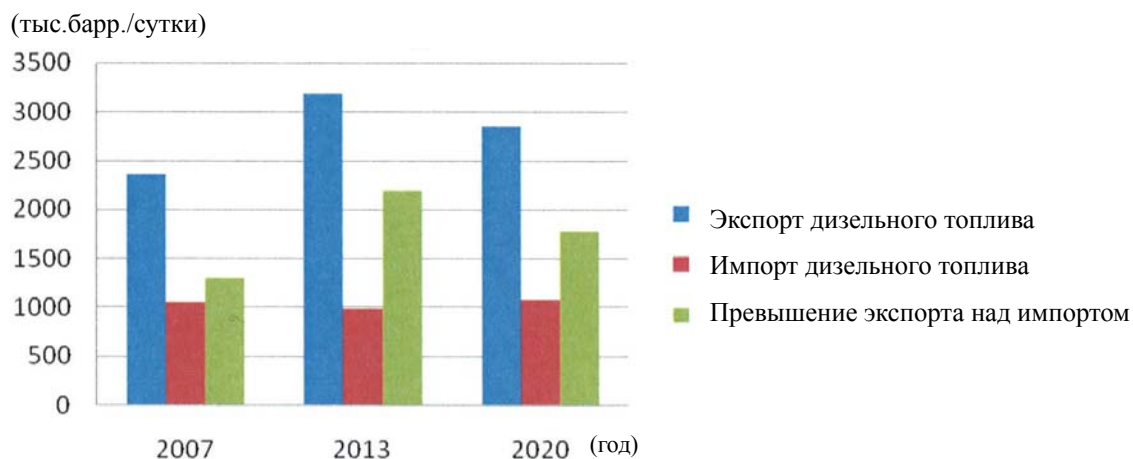
② Данные экспортно-импортного баланса по дизельному топливу (рис. 4)

В 2007 г. большинство стран и регионов являлись нетто-экспортерами, а

нетто-импорт ограничился отдельными регионами – Европой, ЮВА, Австралией и пр. Крупнейшими поставщиками являлись Россия и страны СНГ, на долю которых приходится 40% общего объема нетто-экспорта.

В 2013 и 2020 г. в связи со значительным ростом экспортных резервов на Среднем Востоке, в Индии, Корее и Японии, ожидаемый избыток поставок составит ок. 2 млн. барр./сутки. Объем нетто-импорта стран Европы сохранится на высоком уровне, однако ожидается постепенное его сокращение.

Рис. 4 Данные экспортно-импортного баланса по дизельному топливу

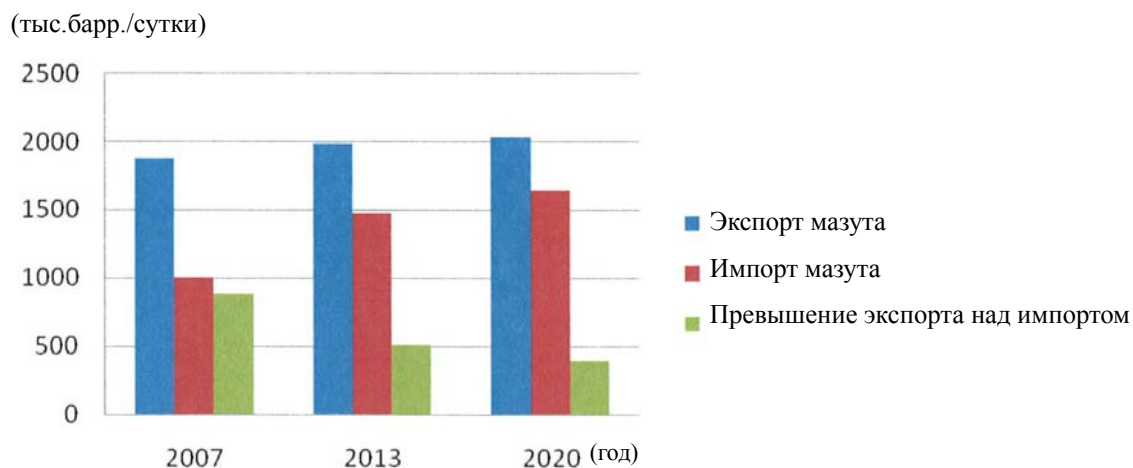


③ Данные экспортно-импортного баланса по мазуту (рис. 5)

В 2007 г. сбалансированность спроса и предложения в зоне российской внешней торговли была достигнута путем экспортирования 880 тыс.барр./сутки за пределы своей внешнеторговой зоны (Южная Америка, Африка). Основными нетто-экспортерами являются Россия, СНГ, Европа, Средний Восток и Корея, причем на долю России и СНГ приходится 75% от всего объема нетто-экспорта.

В 2013 и 2020 г. в связи с увеличением спроса на мазут, используемый для выработки электроэнергии на Центральном Востоке, ожидается, что данный регион перейдет из разряда нетто-экспортеров в нетто-импортеры. Это позволяет прогнозировать сокращение экспортного потенциала и возникновение напряженности в сфере баланса спроса-предложения.

Рис. 5 Данные экспортно-импортного баланса по мазуту



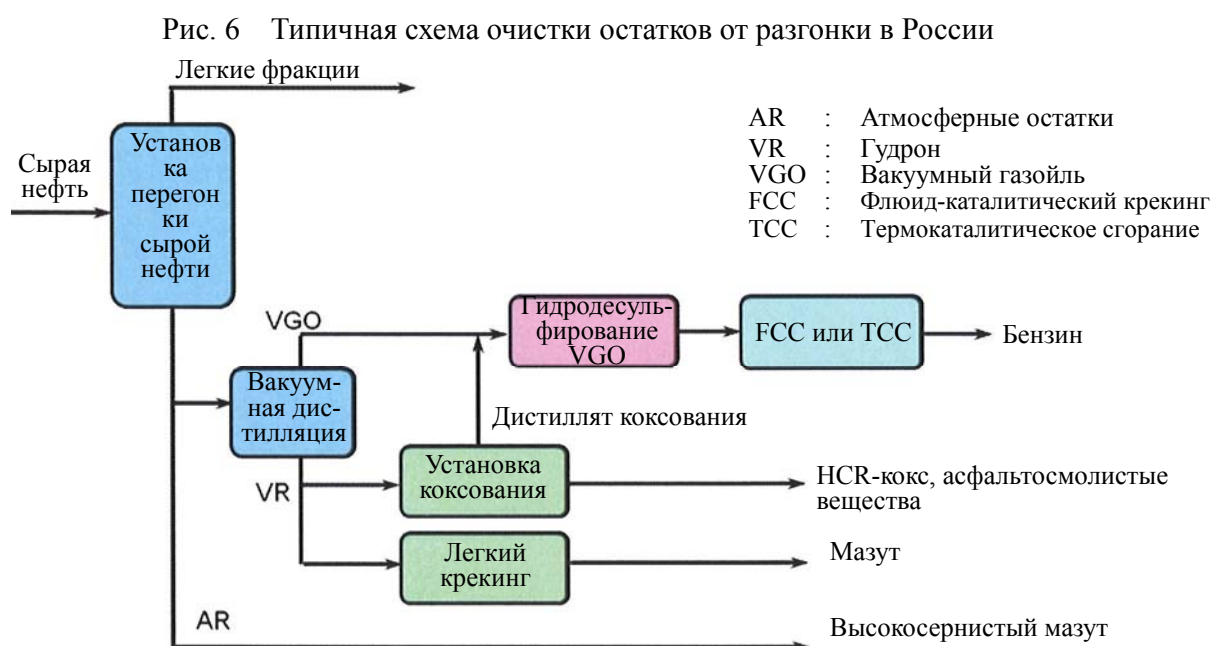
В качестве глобальной тенденции можно отметить некоторый дефицит поставок мазута и избыток поставок бензина и дизельного топлива. Ожидается, что экспорт дизельного топлива в Европу будет продолжаться, однако сокращение спроса приведет к постепенному снижению экспортных объемов. С учетом сохранения высокого потенциала экспорта российского мазута, в будущем необходимо уделять внимание вопросу соответствия качества мазута рыночным требованиям.

3. Традиционная структура нефтеперерабатывающих заводов в Японии и России

Как указывалось выше, в будущем ожидается сохранение высокого потенциала производства и экспорта российского мазута, однако прогнозируемое усиление ограничений Международной морской организации (ИМО, ИМО) на содержание серы в топливе для судов создает необходимость производства мазута с низким содержанием серы. Основные моменты данных ограничений:

- Действующая норма содержания серы в топливе судов в зонах контроля выбросов (ЕСА) Балтийского и Северного морей составляет $\leq 1,5\%$, однако в рамках поэтапного усиления ограничений в 2010 г. она будет сокращена до 1,0%, в 2015 г. – до 0,1%.
- Норма содержания серы для всей остальной мировой акватории (т.е. кроме акваторий ЕСА) в настоящее время составляет $\leq 4,5\%$, однако в 2012 г. данный показатель будет снижен до 3,5%, а с 2020 г. планируется крупномасштабное снижение вплоть до 0,5%.

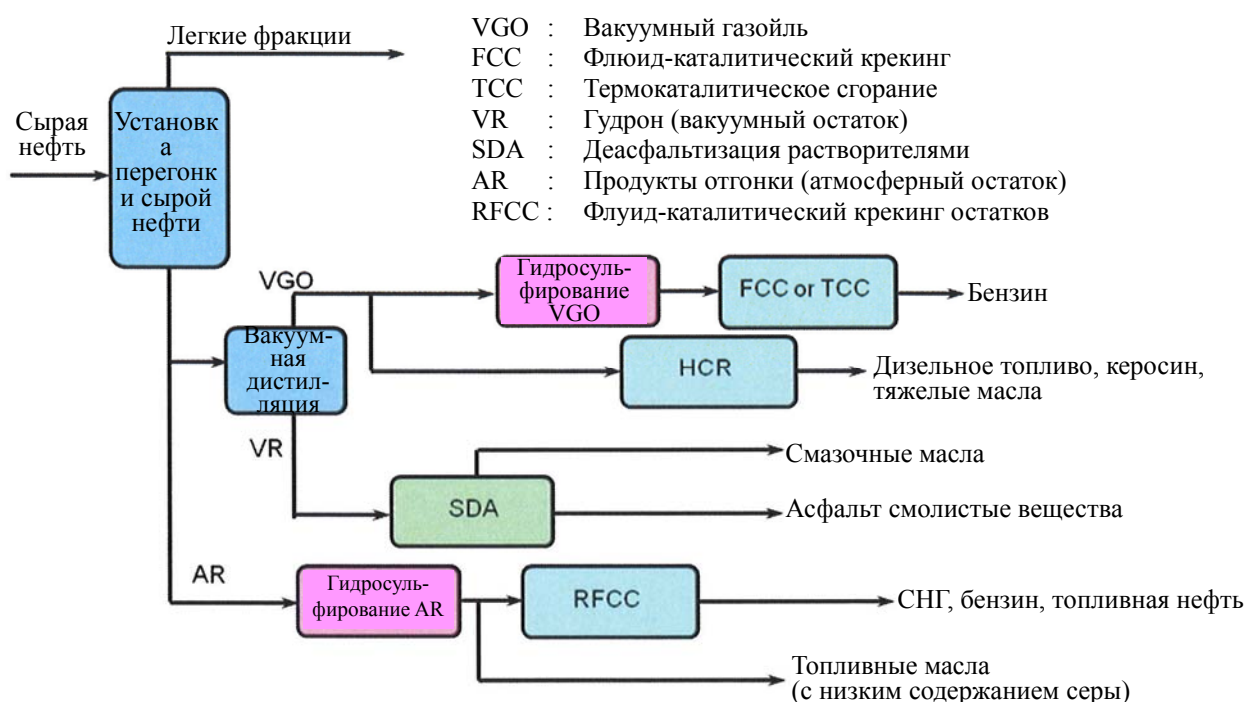
На рис. 6 приведена схема типичного российского нефтеперерабатывающего завода. Из нее очевидно, что в настоящее время Россия экспортирует нефть, практически не подвергавшуюся вторичной переработке. Имеющиеся данные о том, что на долю мазута с содержанием серы более 1,5% приходится 87% от всего российского мазута (фактические показатели за 2009 г. приведены из журнала «Нефтегазовая вертикаль» за апрель 2010 г.), свидетельствуют о необходимости принятия мер в связи с усилением ограничений ИМО.



В Японии уже со второй половины 1960-х годов впервые в мире было начато производство низкосернистого топлива для генерации электроэнергии, а с 2005 г. ведется производство топлива и дизельного топлива с содержанием серы менее 10 ppm. Построенные в большом количестве в Японии установки прямой обесеривания мазута представляют собой преимущественно оборудование гидроочистки, предназначенное для десульфирования продуктов отгонки (атмосферных остатков = остатков от разгонки под атмосферным давлением). Среди перерабатываемой в Японии сырой нефти значительная доля приходится на нефть из Средней Азии, отличающуюся высоким содержанием серы (от 3 вес.%), однако при обработке продуктов отгонки содержание серы на выходе сокращается до 0,3% и менее. Оборудование прямой очистки привлекает к себе внимание благодаря возможности осуществления не только десульфирования, деазотирования и прочих способов гидрирования, но и устранения металлов и гидрокрекинга асфальтенов. Благодаря этому оно используется в комплексе с флуид-каталитическим крекингом остатков (RFCC), коксованием, деасфальтизацией растворителями (SDA) и прочими процессами модифицирования нефтяных остатков для производства низкосернистого бензина, керосина и легких масел.

На схеме рис.7 приведен пример комбинирования установки прямой очистки мазута с процессом модифицирования мазута на нефтеперерабатывающем заводе Японии.

Рис. 7 Типичная схема очистки остатков фракционирования в Японии



В будущем для производства низкосернистого мазута в России может внедряться процесс гидродесульфирования продуктов отгонки (атмосферного остатка), осуществляющий непосредственную очистку от серы (AR HDS), однако тот факт, что внедрение данного процесса повлечет за собой производство огромных объемов серы, говорит о необходимости поисков способов ее эффективного применения. Далее мы рассмотрим каталитические технологии, играющие значительную роль в производстве малосернистого мазута, а также имеющуюся в Японии новую технологию применения серы – технологию серного бетона.

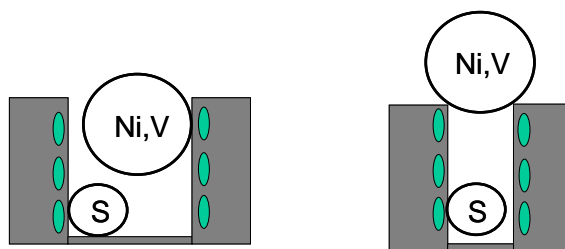
4. Знакомство с японскими технологиями

4.1 Катализаторные технологии, предназначенные для производства малосернистого мазута

Процесс AR HDS - гидродесульфирования продуктов отгонки, осуществляющий прямую очистку от серы, является значимым механизмом для модифицирования мазута, и в сочетании с производством высококачественного топлива или установкой окончательного этапа флюид-каталитического крекинга (FCC) обеспечивает возможность производства нефтепродуктов с высокой добавленной стоимостью. Опережающее внедрение установок прямой очистки от серы японскими нефтеперерабатывающими компаниями позволило Японии стать одним из мировых лидеров по количеству установок прямой очистки от серы. В этой связи расположенные в Японии катализаторные заводы занимались разработкой, производством и реализацией различных катализаторов для установок гидроочистки. Далее мы рассмотрим технологии проектирования прямого обессеривания крупнейшей нефтеперерабатывающей и каталитической компании «JGC Каталист энд Кэмикалс» (далее – JGC C&C), разработанные на их основе катализаторы, а также новые катализаторы.

4.1.1 Катализаторные технологии прямой очистки от серы

Обычно в установках прямого обессеривания несколько видов катализатора комбинируются послойно. Значительное содержание в мазуте тяжелых металлов (никель, ванадий и пр.), являющихся каталитическими ядами, обуславливает необходимость минимизации воздействия этих ядовитых веществ. В случае применения установки прямого обессеривания в качестве предварительной очистки флюид-каталитического крекинга остатков (R-FCC) возникает необходимость устранения не только серы, но и тяжелых металлов. Таким образом, наиболее эффективный способ очистки заключается в комбинировании катализатора, очищающего мазут преимущественно от тяжелых металлов (катализатор демееталлизации) с катализатором, основным действием которого является очистка мазута от серы (обессеривающий катализатор). Кроме того, с учетом неодинаковой реакционной способности содержащихся в мазуте углеводородных соединений, для достижения высокого уровня очистки эффективно применение комбинации катализаторов с различными характеристиками. Для оптимизации реакционной способности катализаторов большое значение имеет оптимизация структуры пор и силы активности обессеривания. На рис. 8 приведено схематическое изображение взаимосвязи между средним диаметром пор катализатора и реакцией. Известно, что содержащиеся в мазуте никель, ванадий и прочие соединения тяжелых металлов находятся во фракциях с высокой точкой кипения, и размер их молекул больше, чем у серосодержащих соединений. Изменение среднего диаметра пор катализатора путем использования разницы среднего размера молекул таких соединений обеспечивает возможность регулирования реакционной способности при очистке от серы и металлов. Иными словами, в катализаторе с мелким размером пор соединения тяжелых металлов, средний размер молекул которых достаточно велик, не могут достигнуть точки активности, что создает благоприятные условия для реакции обессеривания. Увеличение среднего диаметра пор позволяет соединениям с тяжелыми металлами легко достичь точки активности в порах, что облегчает развитие реакции демееталлизации.



Средний размер молекул
 Серосодержащие соединения < Металлосодержащие соединения
 (Сера в асфальтене < Металлы в асфальтене)

Селективность

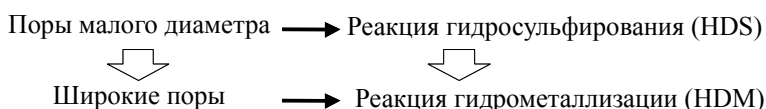


Рис. 8 Влияние среднего размера пор на катализатор гидродесульфирования остаточной нефти (RDS)

Таким образом, при проектировании катализаторов, предназначенных преимущественно для деме­таллизации, средний размер пор увеличивается, а при проектировании катализаторов для обес­серивания – уменьшается. При комбинировании данных катализаторов в верхней части реактора размещают катализатор с высокими способностями к деме­таллизации (т.е. с широкопористый), а в нижней части – катализатор с высокими способностями к устранению серы (т.е. с мелкопористый). Установка проектируется таким образом, чтобы на начальном этапе осуществлялось преимущественно устранение тяжелых металлов с помощью деме­таллизирующего катализатора, а на последующих этапах – предупреждение разрушения обес­серивающего катализатора и обеспечение стабильности его функций в течение длительного времени.

На рис. 9 приведены примеры устойчивости катализаторов к металлам и распределение скапливающихся при эксплуатации установки тяжелых металлов в двух вариантах – при использовании только обес­серивающего катализатора и при его комбинировании с деме­таллизирующим катализатором.

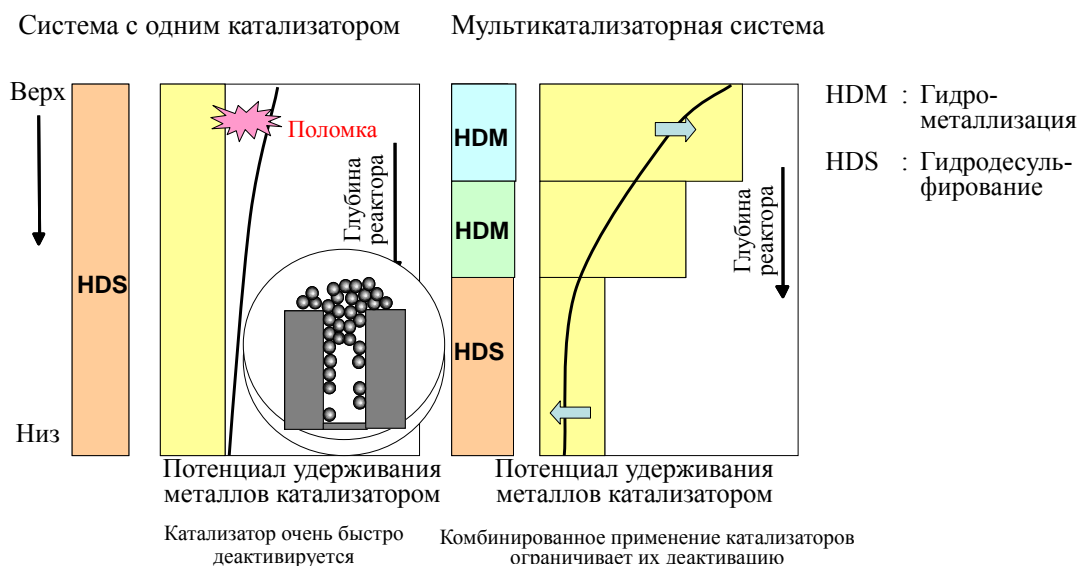


Рис. 9 Схема катализаторных систем

Структура пор катализатора определяет объем тяжелых металлов, которые могут содержаться в катализаторе. Избыточное скопление тяжелых металлов в катализаторе приводит к непроходимости пор, вызывающей значительное повреждение функций и влекущее за собой невозможность их сохранения. Ввиду того, что для оптимизации процесса устранения серы средний диаметр пор обессеривающего катализатора невелик, он не обладает устойчивостью к большому объему скапливающихся тяжелых металлов. Таким образом, наличие только обессеривающего катализатора приводит к дестабилизации функций ввиду превышения предельно допустимого объема скопления тяжелых металлов во время эксплуатации (см. левую часть рис. 9). Однако внедрение в верхнюю часть установки деме­таллизирующего катализатора обеспечивает возможность направленного устранения тяжелых металлов, сокращая объем скапливающихся на обессеривающем катализаторе тяжелых металлов, что создает условия для длительного функционирования обессеривающего катализатора. Кроме того, значительный потенциал удерживания металлов, которым обладает деме­таллизирующий катализатор, обеспечивает стабильность функций даже в условиях скопления большого количества тяжелых металлов (см. правую часть рис. 9), способствуя тем самым стабильному функционированию катализатора.

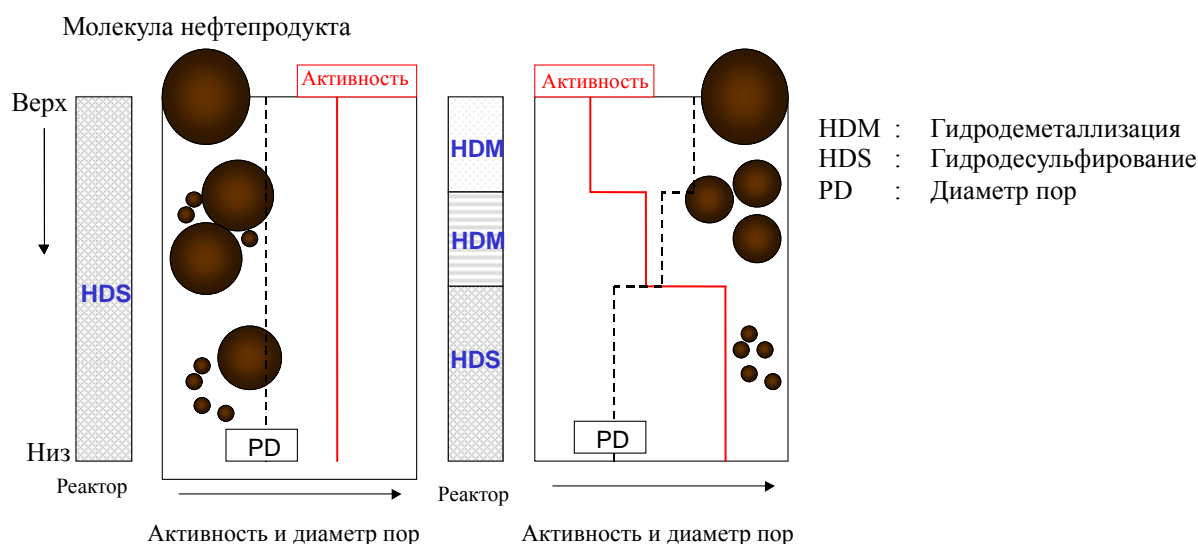


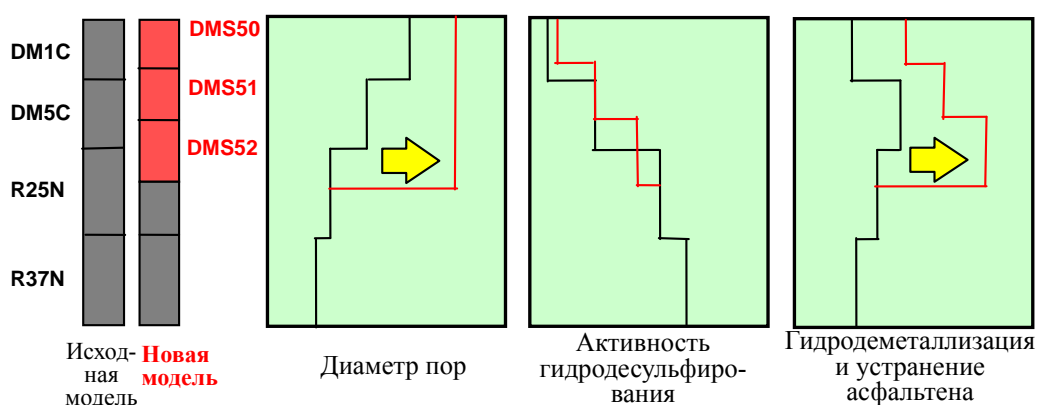
Рис. 10 Схема распределения активности и диаметра пор в реакторе

Для обеспечения стабильности каталитических функций большое значение имеет не только оптимизация структуры пор, но и баланс реакционной способности катализатора. Необработанный мазут содержит примеси углеводородных соединений с молекулами различного размера, которым присущи разнообразные реакционные способности. При придании деме­таллизирующему катализатору активности, эквивалентной обессеривающему катализатору, отличающийся высокой реактивностью углерод незамедлительно вступит в реакцию с самим катализатором, что приводит к избыточному коксованию, отравляющему весь катализатор. Это свидетельствует о нежелательности сильных реакций в верхней части установки, отличающейся высокой реактивностью. Напротив, в нижней части установки зачастую быстрореагирующие нефтепродукты вступают в реакцию, оставляя только плохо реагирующие остатки, поэтому в нижней части требуется более сильная активность. С учетом вышесказанного, катализаторные установки прямой очистки JGC S&C проектируются таким образом, чтобы сократить активность находящегося в верхней части катализатора (уменьшая

объем активного металла) и повышать активность (увеличивая объем активных металлов) по мере приближения к дну установки. На рис. 10 приведена схема распределения средних диаметров пор и активности катализатора. С учетом оптимизации двух данных параметров ведутся разработки прямых десульфурирующих катализаторов мазута, отличающихся стабильно высокими функциональными характеристиками.

4.1.2 Катализатор прямого обессеривания JGC C&C

Катализаторы серий CDS-DM и CDS-DR, разработанные во второй половине 1990-х гг., являются катализаторами прямого обессеривания мазута, и в процессе применения на многих нефтеперерабатывающих заводах положительно зарекомендовали свои выдающиеся функции. Однако в последние годы такие факторы, как увеличение доли тяжелых фракций в нефтяном сырье и повышение реакционной способности R-FCC обусловили возникновение необходимости усовершенствования функций катализаторов прямого обессеривания. Компания JGC-C&C, опираясь на базовую концепцию катализаторов прямого обессеривания, ведет неустанные разработки еще более функциональных катализаторов, разработав и начав производство новой серии демецализирующих катализаторов CDS-DMS. На рис. 11 приведена концепция разработки серии DMS.



- Более широкий диаметр пор по сравнению с общепринятым катализатором гидродемецализации
- Активность гидродесульфирования соответствует уровню содержания активных металлов
- Более высокий уровень устранения асфальтена и гидродемецализации по сравнению с общепринятым катализатором гидродемецализации обеспечивается за счет размера пор и активного контроля за уровнем металла.

Рис. 11 Проектная схема нового катализатора гидродемецализации

Создание новых технологий подготовки оксида алюминия обеспечило возможность подготовки носителей катализаторов с более широкими порами, чем у общепринятых катализаторов демецализации. В серии CDS-DMS задействована именно эта новая технология подготовки оксида алюминия. Вместо применяемой до сих пор двухэтапной активности была внедрена трехэтапная активность с 3 видами катализаторов, обеспечивающая более точный баланс активности. На рис. 12 приведены виды работы серии CDS-DMS – десульфирование, демецализация, устранение асфальтена (под асфальтеном понимается конденсированный углеводород, нерастворимый в н-гептане), а также устранение остаточного кокса.

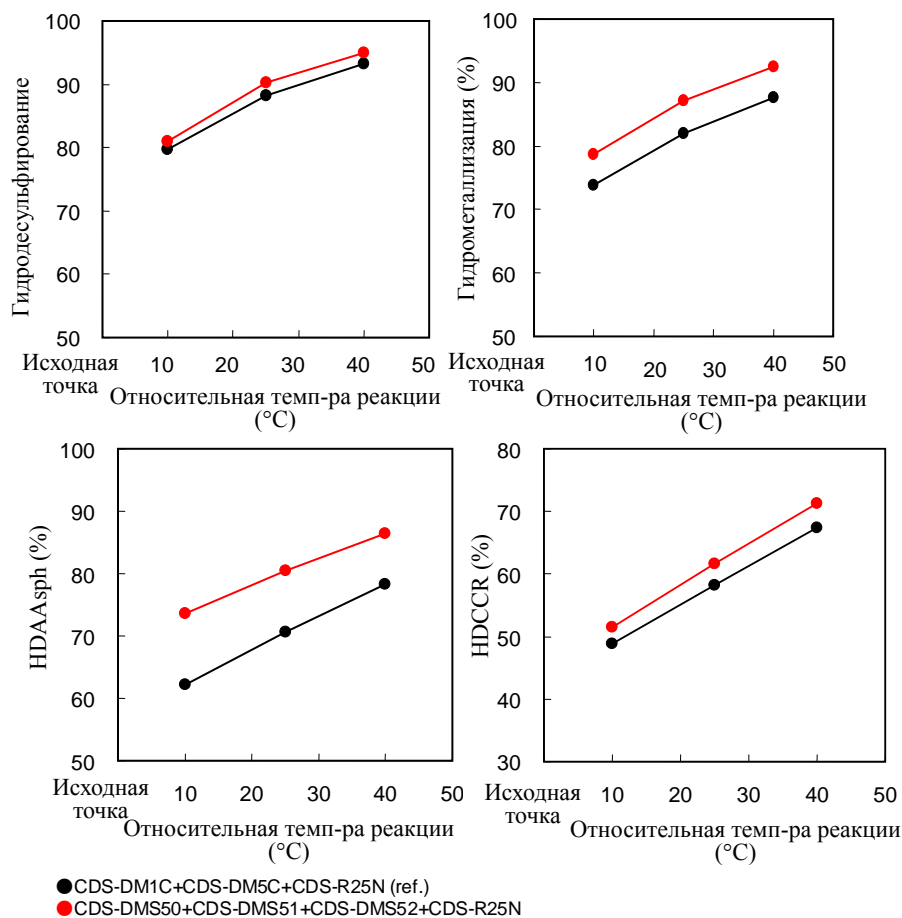


Рис. 12 Активность новых катализаторных систем

Как очевидно из рисунка, серия CDS-DMS отличается более высокой эффективностью, чем существующая серия CDS-DM, по таким характеристикам, как деметаллизация, устранение асфальтена и устранение остаточного кокса. Функция глубокой деметаллизации, сокращающая разрушение катализатора R-FCC на последних этапах очистки, имеет большое значение для эффективного производства бензина и прочих легких продуктов на основе мазута. Кроме того, более глубокая очистка от асфальтена важна для получения высококачественных нефтепродуктов, т.к. асфальтен и другие тяжелые углеводороды концентрируются в производимых нефтепродуктах, способствуя образованию осадка.

4.2 Технологии применения серы

В качестве распространенных изделий, получаемых из серы, можно назвать серную кислоту, сульфат аммония, средство для повышения эластичности резины и пр. Однако в настоящее время объектом всеобщего внимания является новый способ применения серы – изготовление серного бетона, применяющегося вместо бетона и использующего серу в качестве связующего вещества. Далее мы познакомимся с особенностями серного бетона и технологиями его производства.

Крупнейшая японская нефтеперерабатывающая компания JX Nippon Oil and Energy Corporation (далее - JX NOE) разработала технологию безопасного стабильного

материала (модифицированного серного бетона) путем внесения самостоятельно разработанных добавок в серу, являющуюся побочным продуктом процесса устранения серы при нефтепереработке (данная технология запатентована в Японии, России и других странах). Ниже мы рассмотрим суть данной технологии и ознакомимся с практическим опытом ее применения.

(1) История разработки модифицированного серного бетона

Ввиду того, что при сгорании серы вырабатывается загрязняющее атмосферу вещество (SO_x), в настоящее время сера, выделяемая при нефте- и газопереработке, производится в качестве побочного продукта в больших количествах. Только в Японии годовой объем производства серы достигает 2 млн. тонн, причем половина этого объема считается избыточной. С учетом данных условий компания JX NOE обратила внимание на вяжущие функции серы, начав в 1996 г. разработку технологии серного бетона. Серный бетон производится путем добавления в расплавленную при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ серу песка, щебенки и прочих материалов, и последующего охлаждения и затвердевания. Данное изделие обладает следующими особенностями:

- Обеспечивает эффективное применение серы как вторичного продукта
- Обладает еще большей прочностью, чем цементобетон
- Отличается великолепной водонепроницаемостью, кислотоупорностью и солестойкостью
- В отличие от бетона, в производственный процесс серного бетона не включается энергозатратный процесс обжига
- Вносит вклад в создание безотходного циклического общества, обеспечивая применение угольного пепла и шлака в качестве наполнителя для бетона
- Благодаря термопластическим свойствам может вторично использоваться даже в отвердевшем виде
- Быстро затвердевает, обеспечивая высокоэффективное производство

(2) Особенности технологии JX NOE

Для того, чтобы использовать серный бетон в качестве строительного материала, подобно цементобетону, необходимо повысить его прочность и стабильность. Это достигается с помощью такой модифицирующей технологии, как полимеризация. Модифицирование серы производится путем добавления в расплавленную серу олефиновых добавок и проведения реакции полимеризации. Однако при использовании обычных добавок управлять экзотермической реакцией было практически невозможно, кроме того, получаемый таким образом модифицированный серный бетон легко воспламенялся и попадал в разряд опасных веществ по Закону о пожарной безопасности. По вышеуказанным причинам данное изделие в Японии не применялось. Однако компания JX NOE разработала новый вид добавок, не только улучшающий прочность, стабильность и качество готового изделия, но и повышающий устойчивость к воспламенению и обеспечивающий его признание в качестве безопасного материала.

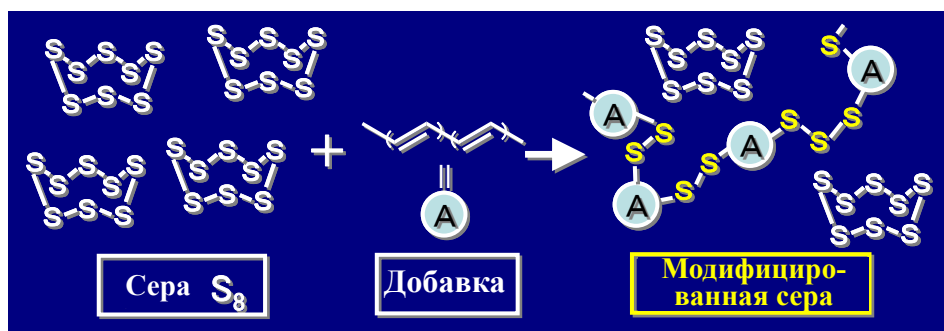


Схема модифицирования серы

(3) Сферы применения технологии улучшенного серного бетона

Как уже упоминалось выше, по сравнению с цементобетоном улучшенный серный бетон отличается более высокой прочностью, кислотоупорностью, солестойкостью и водонепроницаемостью. Однако наличие таких недостатков, как размягчение при 110 –120 °С, обусловленное особенностями серы как вяжущего материала, и выделение ядовитого газа после поджигания, несмотря на невозможность непрерывного горения, налагает определенные ограничения на применение этого изделия. С учетом данных особенностей серного бетона, перспективными для его применения являются те сферы, в которых отсутствует риск высокой температуры и горения и имеется возможность использования совершенных качеств изделия. Таким образом, в настоящее время развивается применение серного бетона в канализационной сфере, где необходима кислотоупорность, и в морской отрасли, требующей солестойкости.

В Японии серный бетон стал объектом всеобщего внимания в качестве инновационного материала для канализационной сферы, где серная кислота, выделяемая из содержащегося в сточных водах сероводорода, стала проблемой общественного масштаба. В качестве конкретного примера можно привести растущее применение серного бетона в антикоррозийных панелях, защищающих канализационные трубы (открытой укладки и проложенных путем проталкивания), канализационные люки и очистные танкеры станций канализационной очистки. Кроме того, серный бетон используется в различных блоках портового и морского оборудования, а также в блоках для каналов, по которым протекает сернистая вода горячих источников и пр.



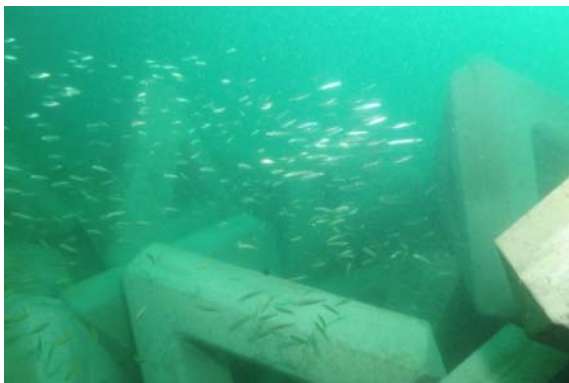
Канализационная труба



Канализационный люк



Антикоррозийная панель



Блоки в море



Блоки для прокладки канала

5. Заключение

В связи с предстоящим внедрением единой ставки экспортной пошлины в России ожидается развитие производства светлых нефтепродуктов из мазута, однако на фоне глобальной тенденции нехватки мазута и избыточных поставок светлых нефтепродуктов российский экспорт мазута можно по-прежнему считать достаточно перспективным. Кроме того, в связи с планируемым ИМО усилением ограничений на содержание серы в топливе для судов возникает проблема поставок мазута, соответствующего рыночным требованиям.

В настоящем материале, посвященном эффективному применению мазута, рассматривалась схема японских НПЗ, ориентированных на производство низкосернистой топливной нефти, а также имеющиеся в Японии технологии эффективного использования мазута на основе повышения его добавленной стоимости – каталитические технологии, играющие значительную роль в производстве низкосернистого мазута, и технология серного бетона - новая технология применения серы, выделяемой в ходе производственного процесса низкосернистого мазута.

Предлагаемые здесь каталитические технологии и технологии производства серного бетона могут применяться в производстве не только низкосернистого мазута, но и низкосернистого дизельного топлива и бензина, а также во всех остальных сферах производства низкосернистой топливной нефти. В будущем нам бы хотелось провести активный обмен мнениями между российской стороной и японскими компаниями касательно структуры оборудования и характеристик сырья на российских НПЗ, а также потребностей их клиентов, и совместно рассмотреть японо-российское техническое сотрудничество и деловые возможности в сфере высокоэффективных и экологических японских технологий.

Корпорация JGC

Контактное лицо: КАТО Мотоити

Заместитель главного менеджера

Отдел продаж в СНГ, Европе и Ираке

Департамента глобального маркетинга

Электронная почта: kato.motoichi@jgs.co.jp

Телефон: (+81) 45-682-8110/факс: (+81) 45-682-8803

Япония, г. Йокогама, Ниси-ку, Минато Мирай 2-3-1

www.jgc.co.jp