

# Нефтепереработка: кризис сказался, но борьба с коррозией продолжается

J. Chater

*Едва ли какому-либо другому сектору промышленности не повезло так, как нефтепереработке. Аварии, выбросы серы — это постоянная головная боль именно для нефтеперерабатывающих предприятий, поскольку зачастую они, в отличие от шельфовых платформ, находятся вблизи жилых районов. Так что, хотя рецессия мировой экономики существенно притормозила строительство новых предприятий по переработке нефти, все же новые проекты уже вновь возникают — ведь вопросы повышения безопасности и охраны окружающей среды не терпят отлагательств. А это значит — немалый объем работ по ремонту и реконструкции, требующих непрерывного потока арматуры, комплектующих и приводов.*

## Вступление

Авария на нефтеперерабатывающем заводе BP в Техасе, произошедшая 23 марта 2005 и имевшая трагические последствия (погибли 15 человек, огромное количество пострадавших), послужила тревожным сигналом для руководства нефтеперерабатывающей отрасли и заставила разработать строжайшие меры безопасности, основанные на проведении тщательного технического обслуживания и эксплуатации оборудования с использованием самых современных средств и методов. И хотя причина аварии вовсе не была связана с использованными материалами, специалисты, отвечающие за выбор материалов для оборудования, всё лучше осознают, насколько важен их верный выбор для безопасности. Они стремятся извлечь уроки из тех внезапных и непредсказуемых отказов, которые случились из-за того, что материалы, как затем выяснилось, не соответствовали реальным условиям эксплуатации оборудо-

вания. Тем более ряд механизмов коррозии, например, растрескивание под действием напряжений в сульфидсодержащей среде, до сих пор не до конца исследованы, и мы должны их глубже изучить, если хотим и дальше повышать безопасность и снижать уровень вредных выбросов.

## Новое строительство или модернизация?

Проблемы обеспечения безопасности и защиты окружающей среды (особенно от выбросов серы), наряду со сложностью получения разрешительных документов, резко замедлили темпы строительства новых нефтеперерабатывающих предприятий в США — по сути, строительство просто остановилось. Тем более «стимулирующий пакет» Обамы<sup>1</sup>, поддерживая производство биотоплива и возобновляемых источников энергии, уделяет вниманием нефтеперерабатывающие производства. Строительство новых НПЗ в настоящее время предполагается в Фениксе (штат Аризона, строительство будет вести Arizona Clean Fuels) и в Юнион Каунти (штат Северная Дакота, строительство будет вести Nuregion). Впрочем, будут ли эти заводы построены или нет, нефтеперерабатывающие мощности США будут наращиваться скорее за счет расширения и модернизации уже существующих предприятий, нежели за счет строительства новых. Ряд проектов

<sup>1</sup> Так называемый «План Обамы» — комплекс мер, направленных на антикризисное стимулирование американской экономики, утвержденный «Актом о восстановлении и реинвестировании Америки» («American Recovery and Reinvestment Act»), который был подписан президентом США 17 февраля с.г. Этот экономический пакет считается самым масштабным в истории страны — на восстановление и развитие экономики США направлено в общей сложности 787 млрд долл. (прим. ред.).

по расширению производства уже реализуются, в частности, компаниями Marathon's Garville и Detroit. A British Petroleum претерпевает коренную реконструкцию своего пострадавшего от аварии комплекса в Техасе, оцениваемую в один миллиард долларов США; в 2005 г. было заявлено, что работы займут 5 лет.

### **Кризис дает о себе знать...**

Несмотря на то, что среднесрочная потребность в мощностях нефтепереработки достаточно высока, кризис<sup>2</sup> крайне неблагоприятно отразился на нефтеперерабатывающей промышленности в мире, и особенно в США [1]. В начале этого года компания Valero остановила свой завод в Техасе на 45 дней из-за отсутствия спроса. В марте компания Motiva Enterprises, базирующаяся в Хьюстоне (совместное предприятие Shell Oil и Saudi Refining Inc.), объявила об отсрочке завершения строительства нефтеперерабатывающего завода в Порт Артуре. Ряд других объектов, на которых отразился кризис: ввод в эксплуатацию нефтеперерабатывающих заводов Cals Refineries в Индии отложен практически на год — до июля 2011 г.; в июне Кувейт отозвал письмо о намерении строительства нефтеперерабатывающего предприятия японско-корейским консорциумом. Сокращение производства коснулось и Китая.

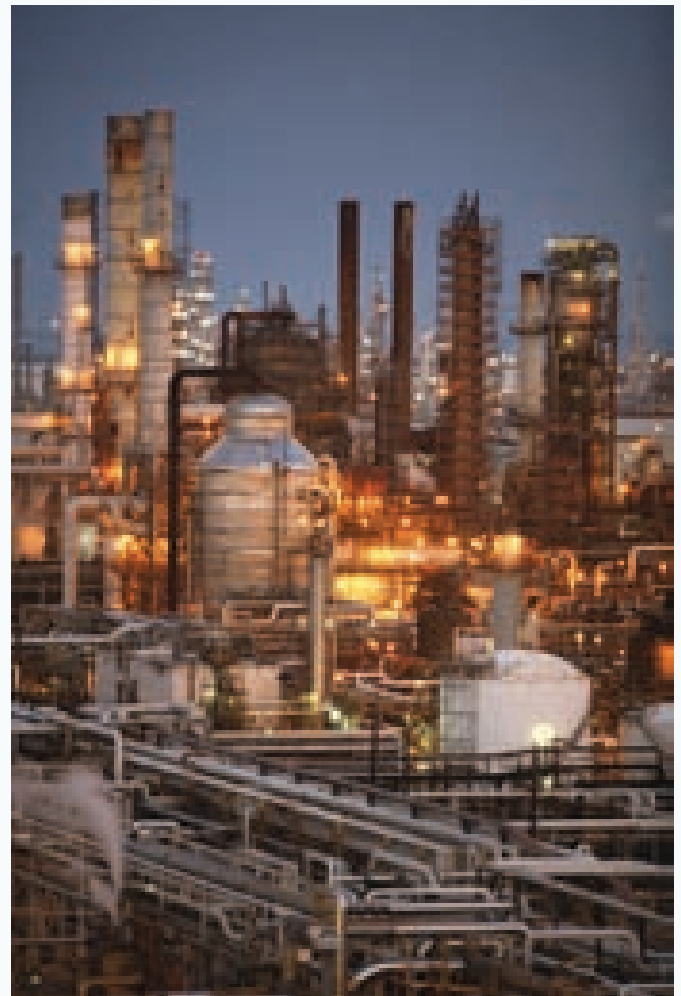
### **...но строительство продолжается**

Кризис привел и к существенному урезанию расходов на строительство нефтеперерабатывающих предприятий в Персидском заливе, таких как Ruwais (Абу-Даби), Jubail (Саудовская Аравия) и Al Shaheen (Катар). Что поразительно, ведь регион Персидского залива испытывает острую нехватку нефтеперерабатывающих предприятий и импортирует светлые нефтепродукты, т.е. потребность в таких предприятиях огромна! Кроме того, осуществляется или планируется расширение производства на предприятиях в Африке (Ангола, Чад, Египет, Ливия, Нигерия, Южная Африка), в Центральной и Южной Америке (Колумбия, Эквадор, Никарагуа, Венесуэла), на Ближнем Востоке (Иран, Ирак, Катар, Саудовская Аравия, ОАЭ), в России, а также в Азии (Бруней, Китай, Индия, Индонезия, Малайзия, Монголия, Пакистан, Вьетнам). Мы видим глобальное смещение мощностей нефтепереработки с запада на восток, с севера на юг, то есть, от потребителей нефти к ее производителям. Но новые проекты всё же есть и в Европе: заявлено о планах строительства нефтеперерабатывающего предприятия в Германии (Emsland в Лингене), в Португалии (проект реконструкции нефтеперерабатывающего предприятия Porto Refinery), в Италии (реконструкция нефтеперерабатывающего предприятия Sannazago), и о строительстве нового нефтеперерабатывающего предприятия в Испании, недалеко от г. Бадахос.

Еще примеры — из Ирака и с острова Батам. Истерзанной войной Ирак предполагает построить нефтеперерабатывающее предприятие мощностью 150 000 баррелей нефти в сутки, стоимостью 2,5 миллиарда долларов, рядом с месторождением нефти Базарган в провинции Май-

сан на юге страны. Американская фирма Shaw Stone & Webster, дочерняя компания Shaw Group Inc., в прошлом году выиграла конкурс и заключила контракт на сумму 150 миллионов долларов на проектирование данного предприятия. Такое развитие событий стало возможным после того, как в 2007 г. парламент Ирака законодательно утвердил возможность привлекать зарубежные фирмы для строительства и эксплуатации нефтеперерабатывающих предприятий. В планах Ирака — поднять мощности нефтепереработки до 840 000 баррелей нефти в сутки, что является частью экономической программы объемом 50 миллиардов долларов, направленной на реконструкцию энергетики и подъем производства. Две компании, Setdco Group, Индонезия, и Gulf Petroleum Ltd, Катар, объявили о своих планах строительства двух нефтеперерабатывающих предприятий на острове Батам. Предполагается, что новый завод мощностью 300 000 баррелей нефти в сутки компании Setdco Group и ее партнера PT Intan Megah будет располагаться на Таньюнге.

Но, как уже говорилось ранее, арматура будет необходима не только для планируемых строительством новых предприятий; уже существующие предприятия тоже имеют огромные потребности в арматуре. Например, компания Hemiwedge Valve Corp. (HVC) получила заказ на приобретение арматуры на сумму приблизительно в \$370 000 от крупного нефтеперерабатывающего предприятия из Северной Африки. Диапазон проходов от 2 до 10 дюймов,



Нефтеперерабатывающий завод BP, Техас, США. Фото: © BP plc.

<sup>2</sup> Автор здесь и далее вместо ставшего уже нарицательным в русском языке «кризиса» употребляет более «политкорректный» термин «рецессия» (прим. перев.).



Нефтеперерабатывающий завод Marathon, Детройт. Фото: © Marathon

классы давлений ANSI 150÷600, для критических условий эксплуатации.

### Коррозия – враг номер 1

Коррозия – самая серьезная проблема, с которой сталкиваются нефтеперерабатывающие предприятия, поскольку потенциальные затраты при повреждениях и авариях огромны: по причине возникшей коррозии нередко возникают взрывы и пожары. Установлено, что общемировые расходы нефтяной промышленности на борьбу с коррозией составляют 3.7 миллиардов долларов в год.

Виды коррозии, имеющие место в оборудовании, применяемом на нефтеперерабатывающих предприятиях, приведены в *таблице*.

### Контроль коррозии

Ввиду вышеупомянутых рисков контроль коррозии приобретает наиважнейшее значение для сокращения расходов и повышения эффективности. Давно всюду применяемый эксплуатационный контроль лишь замечает коррозию уже после того, как она возникла. Системы мониторинга в режиме реального времени – более современные, они разработаны для предотвращения огромных потерь, которые несет нефтеперерабатывающее предприятие при останове технологического процесса или производства в целом. Эти системы предназначены для распознавания причин возникновения высоких темпов

Виды коррозии оборудования нефтеперерабатывающих предприятий	Описание
Точечная коррозия (Питтинг)	Локализованное разрушение защитной пленки вызывает возникновение небольших точек, которые развиваются в глубину. Возникает при низкой температуре. Восприимчивой к точечной коррозии считается сталь 304, более стойкими являются молибденсодержащие стали 316 и 317.
Щелевая коррозия	Форма локализованной коррозии, возникающая внутри щелей или под прокладками при наличии застойной зоны. Возникает в среде, содержащей хлориды.
Межкристаллитная коррозия	Характеризуется уменьшением содержания хрома и снижением коррозионной стойкости по границам зерен в результате нагревания или охлаждения при температуре 400÷850° С. Этому виду коррозии менее подвержены низкоуглеродистые стали 304L или 316L, 321 (пассивированные Ti) или 347 (пассивированные Nb).
Коррозионное растрескивание под напряжением (SCC)	Вызывается одновременным воздействием механических напряжений и коррозионной среды (хлориды, кислоты с содержанием серы, если кислород или влага вступают в реакцию с осажденными солями сероводородной кислоты). Стали 304 и 316 в высокой степени подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением в присутствии хлоридов. Высокое содержание Ni (>30%) существенно повышает стойкость к коррозионному растрескиванию, которое зачастую возникает внезапно.
Растрескивание под действием напряжений в сульфидсодержащей среде (SSC)	Происходит, когда сталь вступает в реакцию с H <sub>2</sub> S или другими солями сероводородной кислоты при низкой температуре, при которой вода находится в жидком виде. Одними специалистами SSC рассматривается как один из вариантов SCC, а другими – как разновидность водородного охрупчивания (см. ниже). Такое расхождение во мнениях говорит о том, что механизм образования растрескивания под действием напряжений в среде сероводорода в полной мере не изучен (см. также стандарты NACE, относящиеся к материалам, применяемым в сульфидсодержащих средах).
Образование сульфидов	Вид растрескивания под действием напряжений в сульфидсодержащей среде, вызываемый при воздействии на серу высокой температуры.
Водородное охрупчивание	Металлы становятся хрупкими и трескаются в присутствии H <sub>2</sub> S.
Коррозия под действием щелочной воды с содержанием сероводорода (гидрофторид аммония)	Вызывается щелочью, растворенной в водной среде с содержанием сероводорода, при этом повышается значение pH и, таким образом, растворимость H <sub>2</sub> S, что, в свою очередь, увеличивает концентрацию ионов бисульфидов и коррозионную активность.
Эрозия	Обычно возникает в отсутствии воды при высокой температуре. На нефтеперерабатывающих заводах эрозии особенно подвержены патрубки, насосы, арматура и детали установки крекинга с псевдоожиженным катализатором, подвергающиеся воздействию твердых каталитических частиц, перемещающихся с высокой скоростью. Наиболее стойкие к эрозии сплавы с содержанием кобальта, хрома и вольфрама [2].

Таблица.



Рабочие нефтеперерабатывающего завода Port Arthur, Техас, США. Фото: Shell



Нефтеперерабатывающий завод Shell Вукот, Сингапур. Фото: Shell

коррозии для того, чтобы заблаговременно их снизить (прогнозный диагностический менеджмент).

### Выбор материалов

Одним из самых эффективных способов предотвращения коррозии является правильный выбор используемых материалов во время проектирования. Материалы, применяемые для изготовления арматуры, должны отвечать следующим требованиям:

- выдерживать высокую температуру и давление;
- быть стойкими к углеводородным загрязнениям;
- быть устойчивыми к проникновению воды и воздуха;
- коррозия должна быть наблюдаема на начальных стадиях (во избежание внезапных аварий);
- быть стойкими к огню и резким изменениям температуры [3].

Нефтеперерабатывающее оборудование на 80% и даже более изготовлено из металлов с содержанием углерода, поскольку они относительно дешевые. К тому же, они коррозионностойки по отношению к углеводородным загрязнениям при температуре ниже 205° С. Для условий эксплуатации несколько менее жестких используется арматура из низколегированных сталей, содержащих Cr и Mo, а для особо агрессивных сред по-прежнему лучше всего использовать арматуру из нержавеющей марки стали: прежде всего это 304L, затем – 316L, 317 и марки с 6% содержанием Mo (254SMO, сплав 296, AL-6XN, 254SMO



Единственный нефтеперерабатывающий завод в Новой Зеландии расположен в Marsden Point и управляется новозеландской нефтеперерабатывающей компанией Refining Company

и пр.), которые зарекомендовали себя наиболее стойкими к точечной коррозии. Общие принятые марки для эксплуатационных условий, характеризующихся образованием сульфидов, – 321 или 347, а также марка 304H – для условий эксплуатации при повышенной температуре. При самых тяжелых условиях эксплуатации, и особенно тогда, когда требуется высокая стой-

кость к  $H_2S$  при высокой температуре, необходимо использовать арматуру из сплавов на основе никеля, например, Ni-Cu, Ni-Mo, Ni-Cr-Fe (600, 601, 690, 800, 800H), Ni-Cr-Fe-Mo (825, G-30, 625) и Ni-Cr-Mo-W (C-276, C-22) [4].

### Заключение

Наиболее благоприятные возможности для производителей и поставщиков арматуры – это быстро растущая экономика востока и многочисленные нефтедобывающие страны, развивающие свою нефтепереработку. Но нельзя игнорировать и страны, имеющие давнюю и хорошо развитую нефтеперерабатывающую промышленность, которая нуждается в модернизации, например, в США или Северной Африке. И даже если мировая экономика так и будет находиться в состоянии спада (как недавно предположил в своем отчете Всемирный банк), будем надеяться, что владельцы нефтеперерабатывающих предприятий воспользуются моментом неполной загрузки и проведут реконструкцию своих предприятий, что повысит их безопасность, эффективность и уменьшит выбросы в атмосферу.

#### ИСТОЧНИКИ:

1. [www.gasandoil.com/goc/features/fex91988.htm](http://www.gasandoil.com/goc/features/fex91988.htm).
2. [www.stellite.com/IndustrialApplications/ExplorationDistribution/Refineries/tabidcontent.nace.org/Store/Downloads/05084.pdf](http://www.stellite.com/IndustrialApplications/ExplorationDistribution/Refineries/tabidcontent.nace.org/Store/Downloads/05084.pdf).
3. [www.dunand.northwestern.edu/courses/Case%20study/Gareth%20Hughes%20-%20Matenals%20of%20Crude%20Oil%20Refining.pdf](http://www.dunand.northwestern.edu/courses/Case%20study/Gareth%20Hughes%20-%20Matenals%20of%20Crude%20Oil%20Refining.pdf).
4. [www.arabschool.org/pdf\\_notes/17\\_high\\_performance\\_alloys.pdf](http://www.arabschool.org/pdf_notes/17_high_performance_alloys.pdf).

### Из истории нефтепереработки

В основе процесса нефтепереработки лежит каталитический крекинг, при котором молекулы углеводородов с большим числом атомов С «разбиваются» на более мелкие, которые и представляют собой углеводородное топливо. Ранее промышленный процесс основывался на нагреве, но в 1936 г. французский инженер Эжен Гудри (1892-1962) ввел в коммерческое обращение технологию каталитического крекинга, чем значительно повысил эффективность процесса. Во время Первой мировой войны он служил в танковых войсках и был награжден за исключительный героизм. В 1930 переехал в США, где трудился в различных нефтяных компаниях. Когда вспыхнула Вторая мировая война, Гудри вернулся во Францию, чтобы помочь правительству в производстве авиационного топлива. Толчком к поиску путей уменьшения выбросов от горения в атмосферу стал для Гудри постоянный смог, висящий над Лос-Анджелесом. В 1950-х годах он разработал каталитический нейтрализатор отработавших газов для бензиновых двигателей – идея, намного опережающая свое время. Неподвижный катализатор Гудри в дальнейшем был заменен «подвижным» каталитическим конвертером.

Перевод Т. Скляровой, ЗАО «ТД «Знамя Труда»