

Установка аммиака thyssenkrupp: 5000 тонн в сутки

tkIS наращивает единичную мощность установок по производству аммиака

Комплекс по производству удобрений (SAFCO IV) для Saudi Arabian Fertilizer Company в Аль-Джубайле (Саудовская Аравия). Установка работает с 2006 года. Мощность по аммиаку — 3300 тонн в сутки, по карбамиду — 3250 тонн в сутки, по грануляту — 3600 тонн в сутки.

Клаус Нелькер

Деятельность tkIS охватывает все виды процессов производства удобрений. В большинстве случаев в проектах применяются собственные технологии, такие как производство аммиака, гранулирование карбамида, получение азотной кислоты, нитрата аммония, КАС, ИАС. Номинальные показатели производительности отдельных заводов варьируются от 600 до 3670 тонн в сутки. При этом компания tkIS является единственным поставщиком технологии производства аммиака с проверенными показателями свыше 3000 тонн в сутки.

Кроме того, tkIS предлагает важные дополнительные услуги, включая финансирование, поддержку в процессе эксплуатации и техническое обслуживание, а также решения по модернизации. В России компания tkIS использует собственный местный офис в г. Дзержинск (Нижегородская область), в котором работает примерно 400 сотрудников, для разработки проектной документации согласно российским нормам и правилам, чтобы упростить и ускорить строительство химических производств на территории Российской Федерации и стран СНГ.

3300 тонн аммиака в сутки

Тенденция к увеличению единичных мощностей по выпуску аммиака подтверждается данными, приведенными на рис. 1.

Если говорить о причине увеличения единичных мощностей — то она всегда одна, так называемая экономия от масштаба: при увеличении производительности стоимость единицы продукции уменьшается.

Это правило верно по отношению к инвестиционным затратам для крупного производственного объекта (например, установки аммиака), а также по отношению к его эксплуатационным расходам. Поскольку некоторые составляющие этих затрат не зависят от производительности установки, то увеличение единичной мощности неизбежно приводит к снижению затрат

на тонну продукции на более крупных установках.

Safco, MPC, CF Donaldsonville

В 2006 году компания Safco (Саудовская Аравия) запустила первую установку аммиака мощностью 3300 тонн в сутки. Это событие стало значительным шагом в увеличении производительности, поскольку в то время крупнейшие заводы имели максимальную производительность 2200 тонн в сутки.

После запуска Safco 4 в 2006 году, в 2011 году был запущен в эксплуатацию второй завод с такой же номинальной производительностью для компании Ma'aden Phosphate Company (MPC) в Рас-Аль-Хайре, Саудовская Аравия. В последнее время оба завода превысили показатели производительности в 3400 тонн в сутки. Тем временем, компания MPC в 2018 году запустила второй завод в том же месте, а третий завод находится в стадии строительства. Американская компания CF на своей установке в Дональдсонвилле (эксплуатируется с 2018 года) также использует этот процесс с двумя ступенями давления.

Ставка на производительность

Успех по внедрению установок аммиака большой единичной мощностью

в разных частях света показал, что компания tkIS не ошиблась в своих прогнозах.

Тенденция к увеличению производительности в целом характерна для рынка, это подтверждается и другими аммиачными проектами мощностью более 2200 тонн в сутки, не связанными с tkIS.

Так, мощные установки были смоделированы и по технологии производства аммиака KBR. Особенность этих установок в том, что они не могут использовать разработанный в tkIS процесс с двумя ступенями давления (черные точки со звездочкой на рисунке 1).

Новизна + устойчивость

Подобный прирост увеличения производительности, несомненно, предполагает значительное снижение издержек за счет экономии на масштабе, однако подобный шаг должен быть хорошо спланирован. Плохое планирование связано со следующими рисками:

- превышение затрат или времени из-за непредвиденных трудностей при проектировании, изготовлении, транспортировке или строительстве,
- невозможность обеспечить желаемую суточную производительность,
- отсутствие ожидаемых экономических показателей эксплуатации из-за ненадежной работы, частых отказов и т. д.

thyssenkrupp AG

thyssenkrupp AG является одной из крупнейших компаний в Германии. Ее бизнес-направление Industrial Solutions (tkIS) представляет собой глобальную сеть, насчитывающую примерно 12 000 сотрудников в 70 офисах.

Одним из секторов этого направления является бизнес-подразделение «Chemical and Process Technologies» (CPT, ранее известное как Uhde) со штаб-квартирой в Дортмунде, Германия. Основными направлениями деятельности направления являются технологии и решения EPC в области производства удобрений и метанола, а портфель заказов подразделения насчитывает более чем 300 завершенных проектов.

Компанией, среди прочего, реализованы проекты EPC по строительству крупномасштабных комплексов в Брунее (производство аммиака и карбамида для BFI), в Египте (установка аммиака, карбамида, азотной кислоты, известково-аммиачной селитры (ИАС) для NCIC) и в Польше (производство азотной кислоты и ИАС для Anwil), а также проекты EP по строительству комплексов в США для компаний CFI и IFCo (аммиак, карбамид, азотная кислота, ИАС) или в Саудовской Аравии для Ma'aden (аммиак).



Установка аммиака в Дональдсонвилле (США), с мощностью по аммиаку 3300 тонн в сутки и по карбамиду 3500 тонн в сутки, — третья в мире установка мощностью свыше 1 млн т аммиака в год.

Проектирование установки большей мощности — это комплексная задача по масштабированию по крайней мере нескольких процессов, представленных в данной технологии.

В составе установки аммиака присутствовали процессы, для которых задача увеличения производительности на 50% решалась просто: было использовано дополнительное оборудование, которое ранее применялось на установках другого типа.

При проектировании первой установки аммиака мощностью 3300 тонн в сутки были учтены следующие соображения:

- Сохранить как можно большую часть существующей основной технологической схемы в той части, где масштабирование не является критичным.
- Найти способ избежать увеличения риска в тех местах, где он достаточно высок.

В частности, анализ показал, что при увеличении масштаба компримирования синтез-газа и цикл синтеза являются областями высокого риска. В данном случае решение состояло в том, чтобы внедрить процесс однопроходного синтеза аммиака перед циклом синтеза, работая при давлении на выходе из корпуса НД, затем отделить полученный там аммиак, и далее передать оставшийся синтез-газ в стандартный цикл синтеза (см. рис. 2). Желаемые эффекты:

- Снижается нагрузка на компрессор синтез-газа; можно использовать ту же схему, что и для установки с производительностью 2200 тонн в сутки.
- Оборудование контура синтеза и диаметры трубопроводов идентичны размерам обычной установки с производительностью 2200 тонн в сутки, что позволяет избежать использования крупномасштабных элементов, для которых нет сравнительных проектов.

Оба этих фактора способствовали снижению риска масштабирования до приемлемого уровня.

Таким образом, был разработан не совсем новый, а вполне традиционный процесс, с единственным существенным отличием во вновь внедренном однопроходном синтезе.

Поскольку производство аммиака происходит при двух уровнях давления (однопроходный синтез и в стандартном контуре), его также называют процессом с двумя ступенями давления. Принцип такого масштабирования показан на рис. 3, верхний ряд.

Экономия на масштабе

Ради безрискового увеличения масштаба предлагается добавление оборудования к стандартному процессу,

в основном — еще одного конвертера аммиака и связанной с ним линией охлаждения. Надо понимать, что такая схема процесса позволяет лишь отчасти использовать потенциал экономии на масштабе. Дальнейшая экономия возможна за счет исключения дополнительного оборудования и интеграции его функций в стандартный процесс.

Поэтому компания thyssenkrupp запустила два научно-исследовательских проекта на данную тему:

1. Оценка потенциала экономии средств посредством строительства установки аммиака производительностью 3300 тонн в сутки с использованием традиционной технологии процесса. При этом необходимо сохранить риск масштабирования на приемлемом уровне.
2. В результате разработки концепции традиционной установки мощностью 3300 тонн в сутки, логичным следствием является изучение возможностей использования ее узла компримирования контура синтез-газа, а также проверки того, какой производительности она может достичь при добавлении однопроходного синтеза.

Эти два события схематично показаны на рисунке 3, в нижнем ряду, и рассмотрены в следующих двух разделах.

Оптимизация затрат

Оптимизация затрат для установки производительностью 3300 тонн в сутки преимущественно заключается в исключении однопроходного синтеза и увеличении производительности контура синтеза и компрессора синтез-газа. Особое внимание уделяется рассмотрению мер, обсуждаемых в следующих разделах, для минимизации потребляемой мощности компрессора синтез-газа, при этом он должен оставаться небольшим по размеру, чтобы использовать площади существующей площадки:

- цикл синтеза с высокой степенью конверсии и низкой скоростью циркуляции
- охлаждение на всасывании до 4°C на всех этапах
- установка для осушки синтез-газа
- установка криогенной регенерации водорода

Синтез аммиака

Самые значительные изменения связаны с контуром синтеза аммиака, который должен быть увеличен

приблизительно на 50% по сравнению с существующими установками.

Диаметр трубопроводов в контуре синтеза аммиака на установке мощностью 2200 тонн в сутки, а также на установке с двумя ступенями давления мощностью 3300 тонн в сутки, равен 20 дюймам. В типовой концепции он должен быть увеличен до 24 дюймов, то есть следующего стандартного диаметра. При сохранении скоростей и других параметров производительность в этом случае составила бы 3170 тонн в сутки. Дополнительная производительность достигается за счет более высокой степени конверсии за один проход и сниженной скорости циркуляции.

Были рассмотрены несколько конфигураций колонн синтеза аммиака и котлов-утилизаторов. Наиболее подходящим вариантом является распределение объема катализатора по четырем слоям в двух колоннах. В каждой колонне синтеза аммиака размещены два слоя катализатора и внутренний теплообменник для контроля температуры на входе в слой. Здесь применяется большой объем катализатора и высокоактивный катализатор KatalcoJM 74-1 от компании Johnson Matthey.

Изначально этот дополнительно промотированный высокоактивный катализатор был разработан для применения в условиях с низким давлением, однако получил хорошие отзывы в эксплуатации, поскольку обеспечивает повышение производительности при обычном давлении в контуре синтеза около 200 бар.

Вторая колонна содержит больше катализатора, чем первая. Диаметр обоих сосудов под давлением ограничен 3,2 м, что соответствует размеру самых больших колонн, разработанных на сегодняшний день tkIS.

Возможно изготовление аппаратов большего диаметра, однако лишь при сохранении указанных размеров гарантируется отсутствие проблем с изготовлением и транспортировкой. Оставшееся оборудование контура синтеза менее критично, и при увеличении его размеров не ожидается высоких рисков.

Компримирование синтез-газа

По экономическим причинам необходимо сохранить общую конфигурацию компрессорной установки синтез-газа, состоящей из одной турбины, двух корпусов компрессора и без редуктора. Это означает, что концепции с отдельными

Рис. 1. Сводная информация по крупным установкам аммиака с указанием производительности и года запуска.



Рис. 2. Упрощенная схема синтеза аммиака с двумя ступенями давления thyssenkrupp.

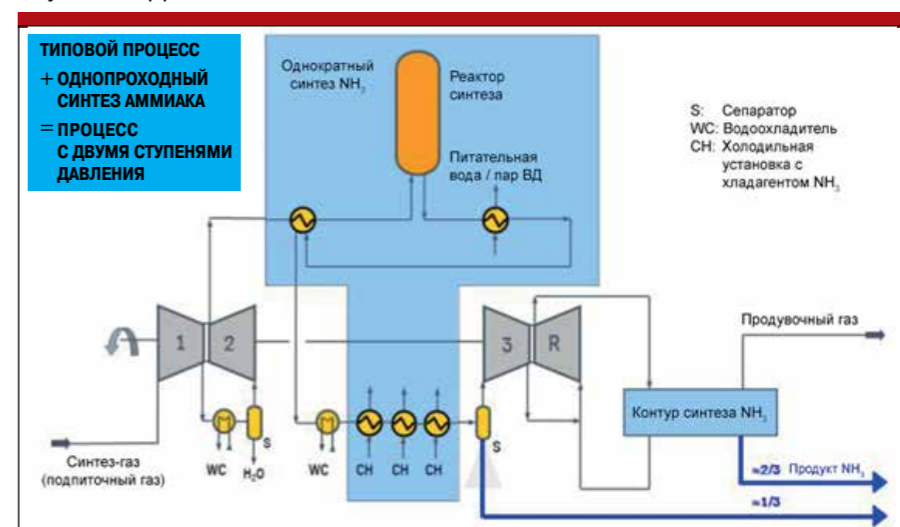


Рис. 3. Минимизация риска масштабирования с применением однопроходного синтеза.



турбинами для корпуса компрессора низкого и высокого давления или с тремя корпусами компрессора не рассматриваются. Крайне важно подобрать для компрессора синтез-газа подходящий рабочий базовый вариант — все остальное не будет принято рынком.

Замена установки с двумя ступенями давления (рис. 2) на установку, оснащенную контуром синтеза с одной ступенью (типовая), оказывает следующие воздействия на компрессор синтез-газа:

- Мощность на валу увеличивается, поскольку общее количество синтез-газа должно быть сжато до выхода третьей ступени, а скорость рециркулирующего газа увеличивается.
- Повышенный расход на третьей ступени компрессора приводит к увеличению расстояния между подшипниками, что делает машину более восприимчивой к вибрациям.
- В связи с увеличением потребляемой полезной мощности может потребоваться турбина большего размера с меньшей скоростью. Если скорость становится слишком низкой, это должно быть компенсировано компрессором путем установки рабочего колеса большего диаметра или дополнительных рабочих колес. В обоих случаях это привело бы к применению другой модели компрессора, а это означает, что будет отсутствовать опыт применения подобных компрессоров на существующих установках аммиака. Это снова увеличивает риски, что противоречит намерениям проекта, и этого следует избегать.

Хорошей новостью является то, что для упрощенной установки можно использовать ту же модель компрессора синтез-газа, что и на существующих установках с производительностью 3300 тонн в сутки. Сравнение данных представлено в таблице 1.

Как видно из таблицы 2, изменения в корпусе НД относительно эталонной установки абсолютно незначительны и не являются критичными. Размеры рабочих колес с 5 по 8 диаметр даже немного уменьшены, а расстояние между подшипниками остается неизменным. Мощность колонны низкого давления в новой установке с одним давлением производительностью 3300 тонн в сутки немного меньше, чем у эталонной, поскольку профиль давления несколько отличается.

В корпусе ВД размеры рабочего колеса вновь предложенной установки незначительно отличаются, за исключением колеса рециркуляции, которое остается неизменным. Однако основное отличие состоит в том, что расстояние между опорами вала увеличивается из-за более высокой скорости потока, проходящего через корпус высокого давления, но остается намного меньше, чем в корпусе низкого давления. Приблизительное увеличение расхода на 50% проявляется в увеличении полезной мощности.

В отличие от большинства типовых установок мощностью 2200 тонн в сутки, в технологическую схему была добавлена установка осушки синтез-газа. Такой блок уже входит в состав эталонных установок с двумя ступенями давления мощностью 3300 т/сутки. (Если осушка отсутствует, установка может работать с меньшей производительностью.) Установка осушки позволяет подавать синтез-газ в контур синтеза непосредственно на вход в колонну синтеза аммиака, что приводит к снижению концентрации аммиака на входе в колонну.

Экономическое сравнение проводится с рассмотрением обоих вариантов установок, рассчитанных на одинаковое удельное энергопотребление 6,75 Гкал/т аммиака. Показатели могут варьироваться в обоих направлениях, чтобы отразить экономические условия конкретного проекта.

Общая экономия по проектированию, поставке и строительству в сравнении с установкой с двумя ступенями давления оценивается примерно в 3 процента.

Применение процесса с двумя ступенями давления

Следующим логическим шагом на пути к достижению повышенной производительности установок аммиака является объединение цикла синтеза мощностью 3300 тонн в сутки с однопроходным синтезом на входе. Это может увеличить производительность до более чем 4000 тонн в сутки.

Подобное предложение было представлено компанией thyssenkrupp в докладе на конференции в то время, когда еще не было опыта эксплуатации какой-либо из установок мощностью 3300 тонн в сутки. Даже тогда не нашлось достаточно много ограничений для достижения мощностей, превышающих 4000 тонн в сутки.

В данной статье целевая мощность определяется максимальным количе-

ством газа, которое может сжать компрессор синтез-газа, проектные данные которого достаточно близки к успешно работающим существующим установкам. Производительность, определенная таким образом, составляет 4700 тонн в сутки.

Риформинг

Одним из способов разгрузки компрессора синтез-газа является работа первой ступени при более высоком давлении. В представленной здесь концепции выходное давление риформера увеличивается на 5 бар по сравнению с установкой мощностью 3300 тонн в сутки.

Это имеет несколько последствий с разной степенью благоприятности. Более высокое давление способствует улучшению абсорбции в блоке удаления CO_2 и помогает уменьшить размеры абсорбера. Благодаря более высокому давлению нагрузка переходит с компрессора синтез-газа на компрессоры технологического воздуха и природного газа, где переход к более высокой производительности является менее рискованным решением, исходя из опыта эксплуатации существующих референтных установок.

Размеры первичного риформера остаются меньше, чем у риформеров на установках по производству метанола. Размеры сопоставимы с другими референтными установками. В данном случае также масштабирование вторичной установки риформинга не является критичным. Часть стандартной конструкции thyssenkrupp представляет собой центральный вертикальный коллектор для входящего прореагировавшего газа, действующий в качестве опоры для огнеупорной арки в нижней части. Таким образом, его длина составляет лишь половину диаметра аппарата и половину от конструкций конкурирующих технологий.

Соотношение пара к углероду было увеличено до 3,35 по сравнению с 2,95 для референтных установок. Такое увеличение вызвано требованиями к поддержанию парциального давления восстановительных компонентов H_2 и CO на входе в реактор высокотемпературной конверсии ниже определенного предела, чтобы избежать неблагоприятного воздействия на катализатор. Увеличение потока пара, конечно, оказывает некоторое влияние на технологический процесс; однако его энергоэффективность от этого не снижается. Повышенная производительность первой ступени

приводит к увеличению производства пара высокого давления.

Удаление CO_2

В данном исследовании для удаления CO_2 был выбран процесс Oase white компании Basf благодаря огромному опыту работы thyssenkrupp с этой технологией на других крупных установках.

Испаритель НД — это аппарат с наибольшим диаметром из всего оборудования, используемого на установке, поскольку он наиболее критичен в части транспортировки на площадку. По этой причине была предпринята попытка уменьшить его диаметр за счет использования более эффективных внутренних устройств, что привело к уменьшению диаметра.

Несомненно, существуют некоторые элементы в расчете затрат, которые не отличаются регрессией затрат одновременно с увеличением производительности, например, количество большегрузных кранов во время строительства. Но, несмотря на это, экономия за счет использования меньшего количества единиц оборудования большего размера превышает рост затрат, как и ожидалось.

Выводы и заключение

Более десяти лет назад процесс производства аммиака с двумя ступенями давления в thyssenkrupp открыл путь для производства более миллиона тонн аммиака в год. Проекты такого масштаба демонстрируют, что для таких высоких темпов производства существует рынок. Результатом детальных исследований в области улучшения является следующее:

- Исключение этапа однопроходного синтеза и, соответственно, увеличение размера контура синтеза, позволяет предложить установку мощностью 3300 тонн в сутки при использовании меньшего количества оборудования, чем в действующих референтных установках. Это снижает инвестиционные затраты без увеличения риска.
- Для более высоких мощностей к этому типу установки можно добавить однопроходный синтез, что позволяет достичь производительности до 5000 тонн в сутки.

Обсуждения с поставщиками оборудования и собственными специалистами подтвердили, что возможна реализация обеих версий установки. Обе предоставляют явные экономические преимущества по сравнению с контрольными показателями. ■



Установка аммиака компании Ma'aden (Саудовская Аравия) мощностью 3300 тонн в сутки.

Таблица 1. Характеристики компрессоров синтез-газа установок различной мощности.

Установка / производительность (тонн в сутки)	Мощность на валу при нормальной работе (кВт)	Нормальная скорость (об/мин)
2200, типовая, «как построено»	25 864	9575
3300 с двумя ступенями давления, «как построено»	28 600	9674
3300, типовая	33 200	9701
4 700 с двумя ступенями давления	38 078	8859

Таблица 2. Данные по компрессору синтез-газа для фактически построенной установки производительностью 3300 тонн в сутки и недавно предложенной установки с одной ступенью давления производительностью 3300 тонн в сутки.

Установка / производительность (тонн в сутки)	Корпус НД			Корпус ВД			
	рабочее колесо 1-8 диам.	расстояние между опорами вала	мощность на валу	рабочее колесо 1-7 диам.	диам. колеса рециркуляции	расстояние между опорами вала	мощность на валу
	мм	мм	кВт	мм	мм	мм	кВт
3300 с двумя ступенями давления, «как построено»	560	1 823	17 895	475 и 450	425	1 485	10 701
3300, типовая	560 и 530	1 823	16 869	500	425	1 637	15 015