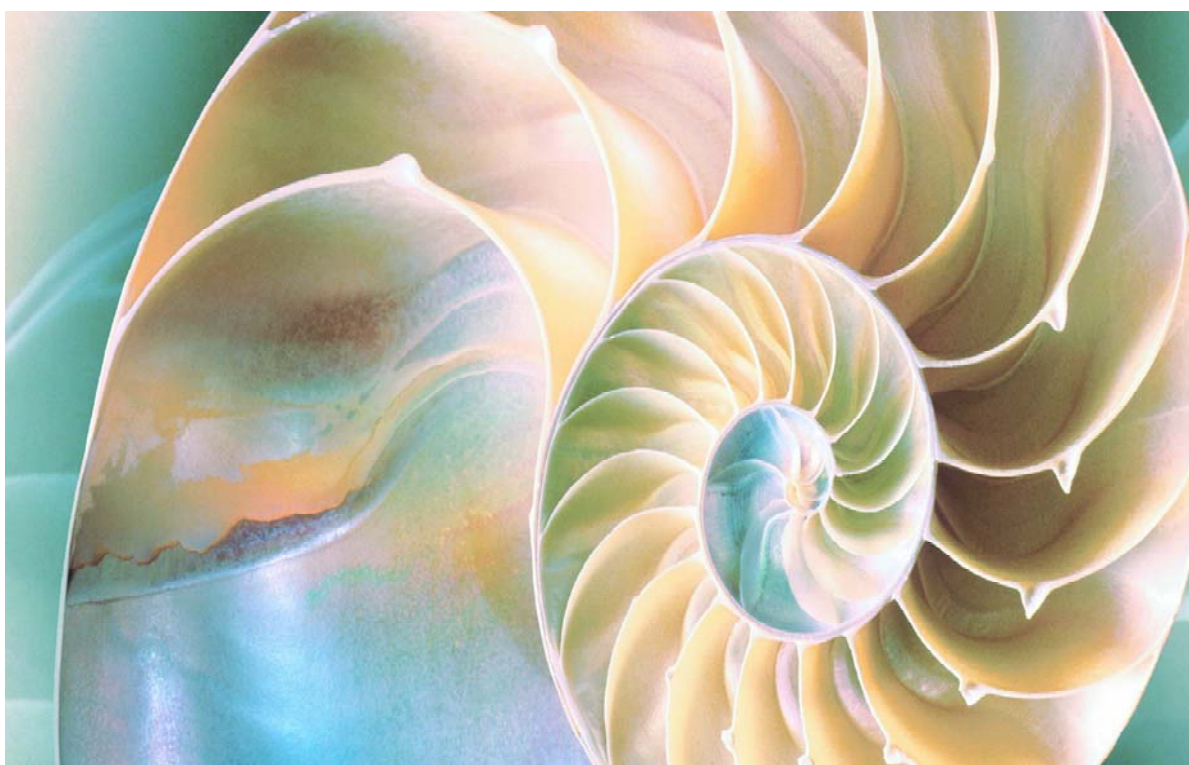


Технология производства аммиака



Uhde



ThyssenKrupp

Содержание

	Страница
1. Профиль деятельности компании	3
2. Опыт компании Uhde в области производства аммиака	4
3. Технология производства аммиака компании Uhde	7
3.1 Паровой риформинг	9
3.2 Очистка от CO ₂	12
3.3 Синтез аммиака	13
3.4 Система генерации и распределения пара	15
3.5 Варианты концепции	16
3.6 Технология Uhde с двумя ступенями давления	17
4. Технологическое оборудование собственной разработки Uhde	20
4.1 Печь первичного риформинга с холодной выходной коллекторной системой	21
4.2 Реактор вторичного риформинга (шахтный реактор)	23
4.3 Цепь охлаждения технологического газа за реактором вторичного риформинга	25
4.4 Конвертер аммиака и утилизация отходящего тепла	27
4.5 Расходные нормы на тонну аммиака и показатели качества продукта	32
5. Комплексный подход компании Uhde	33
6. Референции последних лет	35

На обложке:



Технология аммиака результат эволюции

Новая эра производства аммиака началась с появлением на рынок установок мощностью 4000 т/сутки и выше, которые являются результатом альянса лидирующих компаний в области производства аммиака, Uhde и Johnson Matthey Catalysts.

Благодаря технологии с двумя ступенями давления минимизируются необходимая мощность и габариты компрессорного оборудования. Решение на базе проверенного оборудования обеспечивает полную надежность работы без рисков или неприятных сюрпризов.

Если Вы в поиске эффективной инвестиции, посмотрите, пожалуйста, на странице 16.

1. Профиль деятельности компании



Головной офис компании Uhde в Дортмунде, Германия

На сегодняшний день немецкая инжиниринговая компания Uhde, штат которой насчитывает около 4 900 высококвалифицированных специалистов, располагающая международной сетью филиалов и дочерних компаний, успешно завершила более 2 000 проектов по всему миру.

Компания Uhde получила признание на международном уровне благодаря успешному воплощению принципа **Инжиниринг с идеями**, предлагая своим заказчикам экономически выгодные и высокотехнологичные решения. Профессиональные «ноу-хау», комплексный подход, инжиниринг высочайшего качества, а также безупречная пунктуальность компании – все это позволяет отвечать постоянно возрастающим требованиям, предъявляемым к процессам и прикладным технологиям в областях химической и нефтехимической промышленности, энергосбережения и защиты окружающей среды.

2. Опыт компании Uhde в области производства аммиака

С момента основания компании Uhde в 1921 году она занималась проектированием и созданием установок по производству аммиака и внесла важный вклад в развитие технологии синтеза аммиака. Уже в 1928 г. была запущена в эксплуатацию первая установка по производству аммиака с использованием оборудования собственной разработки Uhde на месторождении угля Монт-Сенис близ города Херне-Зодинген. Производительность этой установки с четырьмя реакторами (производительностью 25 т/сутки каждый) и контуром синтеза аммиака, работающим при давлении 100 бар, составила 100 т/сутки аммиака.

Следует отметить, что уже первые реакторы синтеза аммиака, спроектированные Uhde, уже были оснащены внутренним теплообменником и контуром синтеза аммиака с интегрированным двухступенчатым холодильником. К сожалению, в это время эта эффективная система скоро считалась устаревшей, и только в семидесятые годы снова вернулись к этим конструктивным принципам.

Тогда конструкторы рассматривали возрастающие цены на энергию как вызов для снижения энергопотребления. Уже в 1968 г. конструкторы компании Uhde приняли этот вызов и спроектировали установку с макс. энергопотреблением 7,8 Гкал на тонну аммиака.

Эта установка мощностью 880 т/сутки на базе природного газа включала в себя следующие энергосберегающие элементы:

- максимальная утилизация тепла дымового газа печи первичного риформинга за счет охлаждения на входе дымовой трубы до 135 °С;
- подогрев воздуха сгорания печи первичного риформинга;
- генерация пара 125 бар из отходящего тепла реактора вторичного риформинга и стадии синтеза аммиака;
- перегрев пара ВД с помощью отходящего тепла реактора вторичного риформинга;
- конвертор аммиака с тремя слоями катализатора и теплообменниками между ними.

Все установки по производству аммиака, спроектированные компанией Uhde впоследствии, вобрали в себя многие из вышеназванных энергосберегающих элементов.

В последние годы технология по производству аммиака подвергалась сильным изменениям в отношении расчета и оборудования. В целях дальнейшего повышения эффективности установок работа компания была направлена на снижение электропотребления, улучшение утилизации тепла, минимизацию потерь в дымовой трубе и сокращение энергопотребления на очистку от CO₂.

Компания Uhde достигла своей цели, существенно повысить энергетический КПД установок, пользуясь накопленным опытом и широким спектром технических ноу-хау. В ходе этой работы техническому пересмотру подвергались технологический процесс и технологическая часть проекта, проводились научно-исследовательские работы и анализировались технико-эксплуатационные данные. Одинаково важно оказались такие аспекты, как повышение удобства и простоты обслуживания, а также надежности

работы. Поэтому много внимания было уделено опыту ранее построенных, успешно работающих установок и проверенным энергосберегающим элементам.

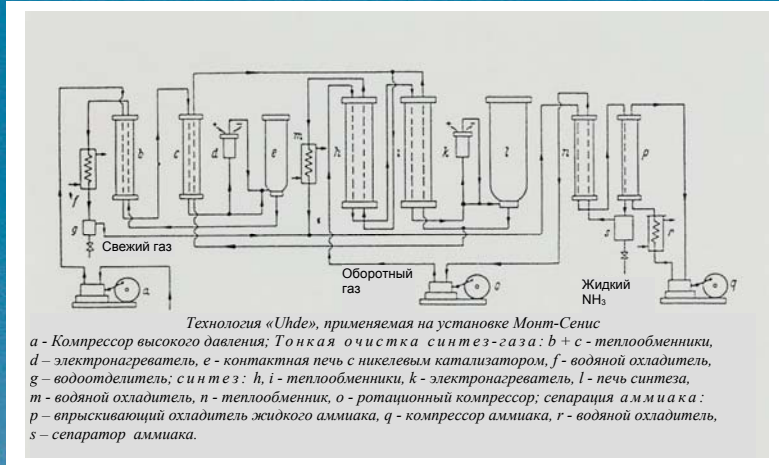
В 1998 году компании Uhde и Sinetix (теперь – «Johnson Matthey Catalysts» или сокращенно «JM Catalysts») сформировали альянс, направленный на дальнейшее усовершенствование технологии по производству аммиака. Альянс опирается на традиционные сильные стороны обеих фирм, т. е. на ноу-хау ф-мы JM Catalysts в области катализа, эксплуатации производств аммиака и услуг по эксплуатационной поддержке, и на опыт компании Uhde в проектировании, расчете установок и выполнении проектов. Тесное сотрудничество между инженерами обеих компаний как результат альянса обеспечивает дальнейшую оптимизацию процесса получения аммиака Uhde с использованием новейших высокоэффективных катализаторов JM Catalysts для повышения эффективности и снижения затрат.

В число последних примеров успешного внедрения технологии Uhde по производству аммиака входят следующие установки: Установка мощностью 600 т/сутки в Туркменистане, установка мощностью 2000 т/сутки в Месаиде, Катар, для заказчика Qatar Fertiliser Co. (QAFCO), пять установок каждая единичной мощностью 1200 т/сутки в Египте, где в настоящее время строятся еще три дополнительные установки той же мощности.

Новая веха в области технологии производства аммиака была достигнута созданием для компании Saudi Arabian Fertiliser Company (SAFCO) в Эль-Джубайле, Саудовская Аравия, однолинейной установки мощностью 3300 т/сутки на базе технологии с двумя ступенями давления. Данная установка является крупнейшей в мире установка по производству аммиака и работает с 2006 года. Вторая установка того же типа в настоящее время строится в Рас-аз-Завр, Саудовская Аравия .

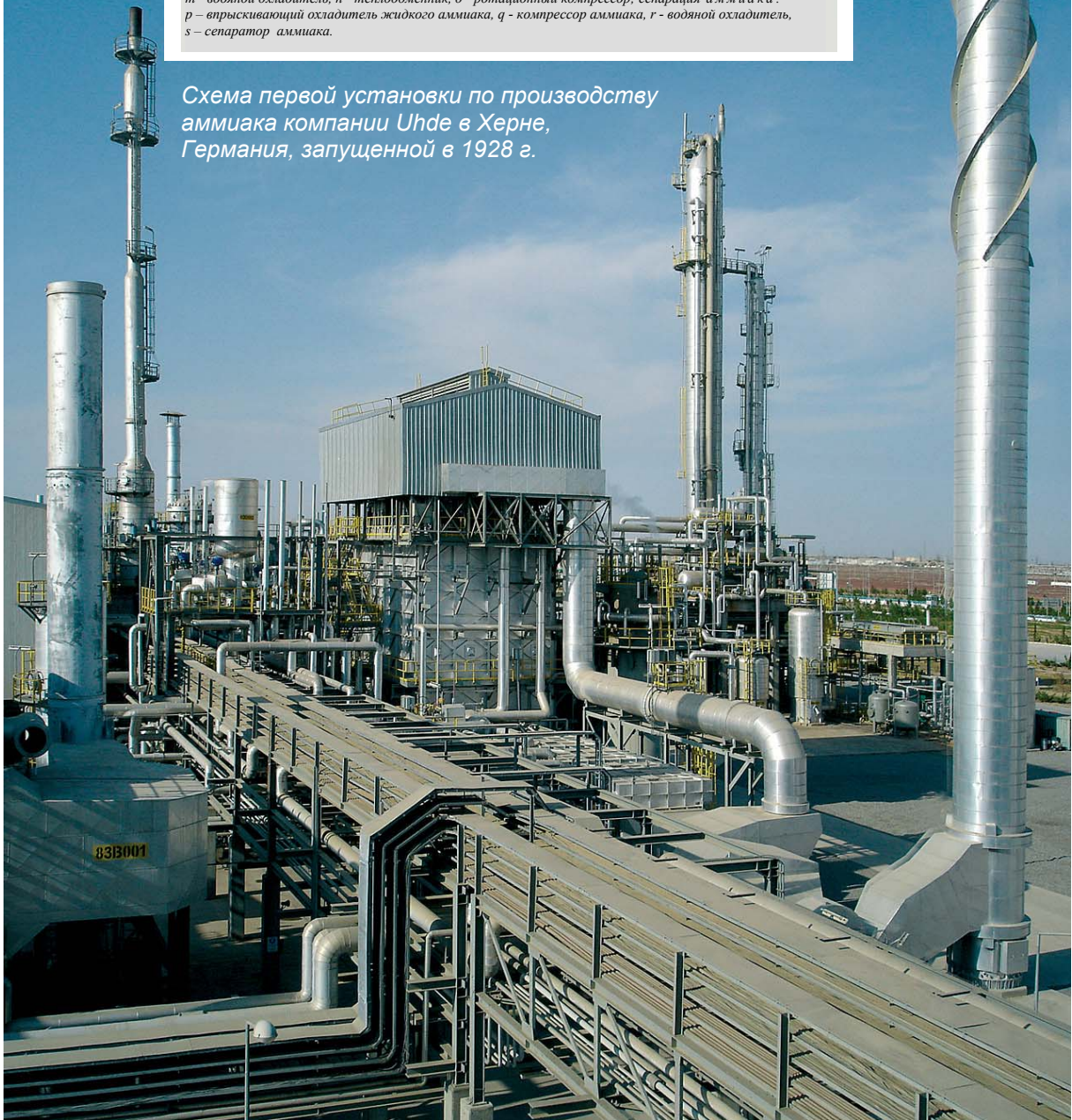
ЗД модель строящейся в Саудовской Аравии установки





Технология «Uhde», применяемая на установке Монт-Сенис
a - Компрессор высокого давления; Тонкая очистка синтез-газа: *b* + *c* - теплообменники, *d* - электронагреватель, *e* - контактная печь с никелевым катализатором, *f* - водяной охладитель, *g* - водоотделитель; синтез: *h*, *i* - теплообменники, *k* - электронагреватель, *l* - печь синтеза, *m* - водяной охладитель, *n* - теплообменник, *o* - ротационный компрессор; сепарация аммиака: *p* - впрыскивающий охладитель жидкого аммиака, *q* - компрессор аммиака, *r* - водяной охладитель, *s* - сепаратор аммиака.

Схема первой установки по производству аммиака компании Uhde в Херне, Германия, запущенной в 1928 г.

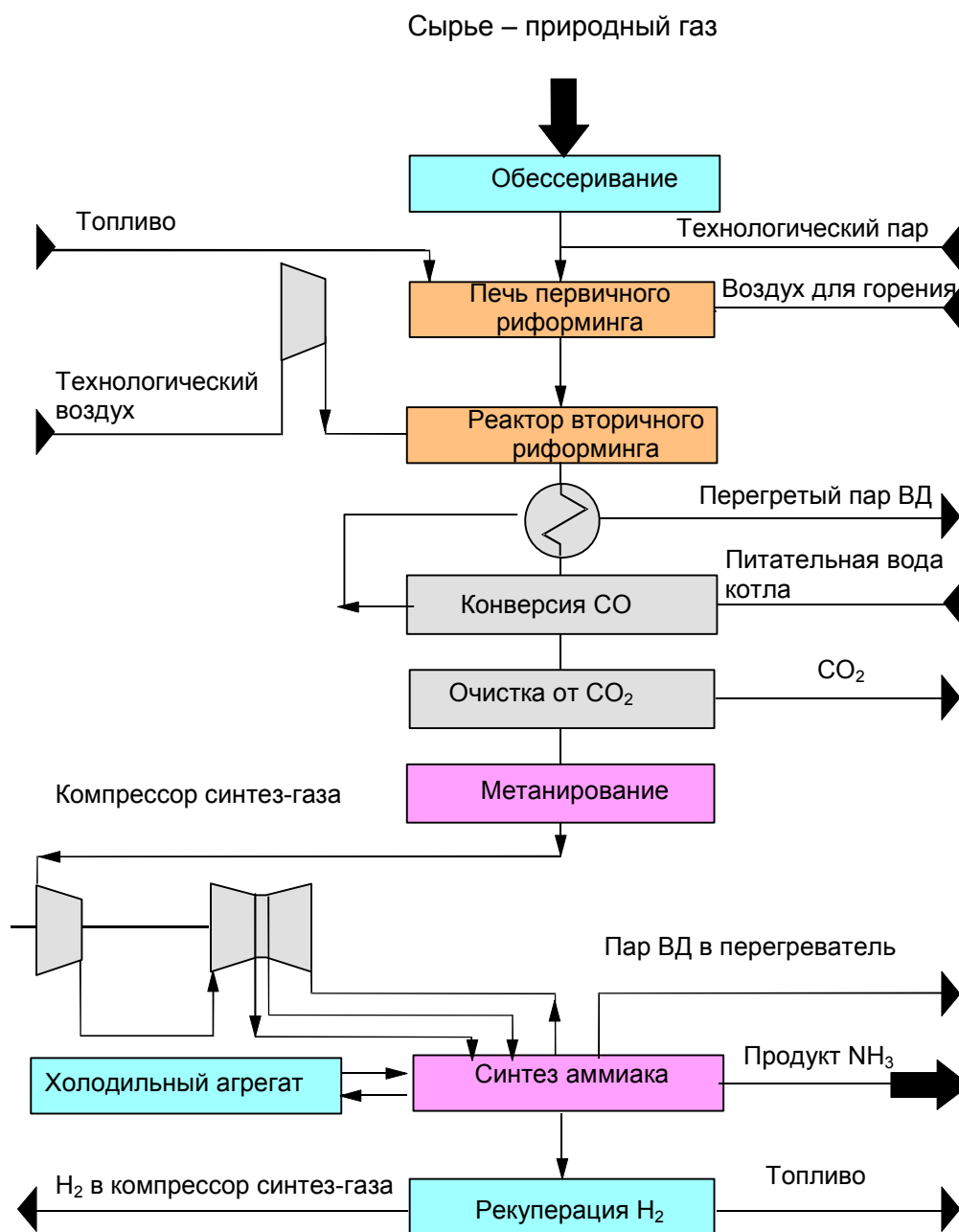


Установка по производству аммиака в комплексе удобрений в Теджене, Туркменистан, мощностью 600 т/сутки аммиака, 1050 т/сутки карбамида и 1050 т/сутки гранулированного карбамида

3. Технология производства аммиака компании Uhde

Нижеследующая блок-схема установки производства аммиака компании Uhde показывает традиционную последовательность стадий процесса, которая является основой большинства современных процессов. Однако нельзя судить о технологиях по получению аммиака только по блок-схемам. Более подробный анализ показывает, что за этой на первый взгляд традиционной блок-схемой скрывается установка по производству аммиака на самом современном уровне.

Блок-схема установка по производству аммиака компании Uhde



Общее энергопотребление (расход сырья, топлива и электроэнергии) на тонну аммиака составляет от 6,6 до 7,2 Гкал (27,6–30,1 ГДж) в зависимости от местных условий (например, от температуры охлаждающей воды) и специфики проекта (как, например, цены природного газа и т. д.).

Для достижения вышеназванного показателя следующие стадии процесса были подвергнуты существенным изменениям:

- Печь риформинга и ее система утилизации отходящего тепла;
- стадия очистки от CO₂;
- стадия синтеза аммиака.

Полагая, что читатель настоящего буклета знаком с основами технологии производства аммиака, нижеследующие разделы ограничиваются описанием специфических аспектов энергосберегающей схемы установки по производству аммиака компании Uhde.



Установка по производству аммиака мощностью 1500 т/сутки и комплекс удобрений компании Saskferco Inc. в Канаде.

3.1 Паровой риформинг



Первичный и вторичный риформинг на установке компании AFC в Египте

Общая эффективность установок была повышена внедрением в традиционную схему установки аммиака следующих модификаций:

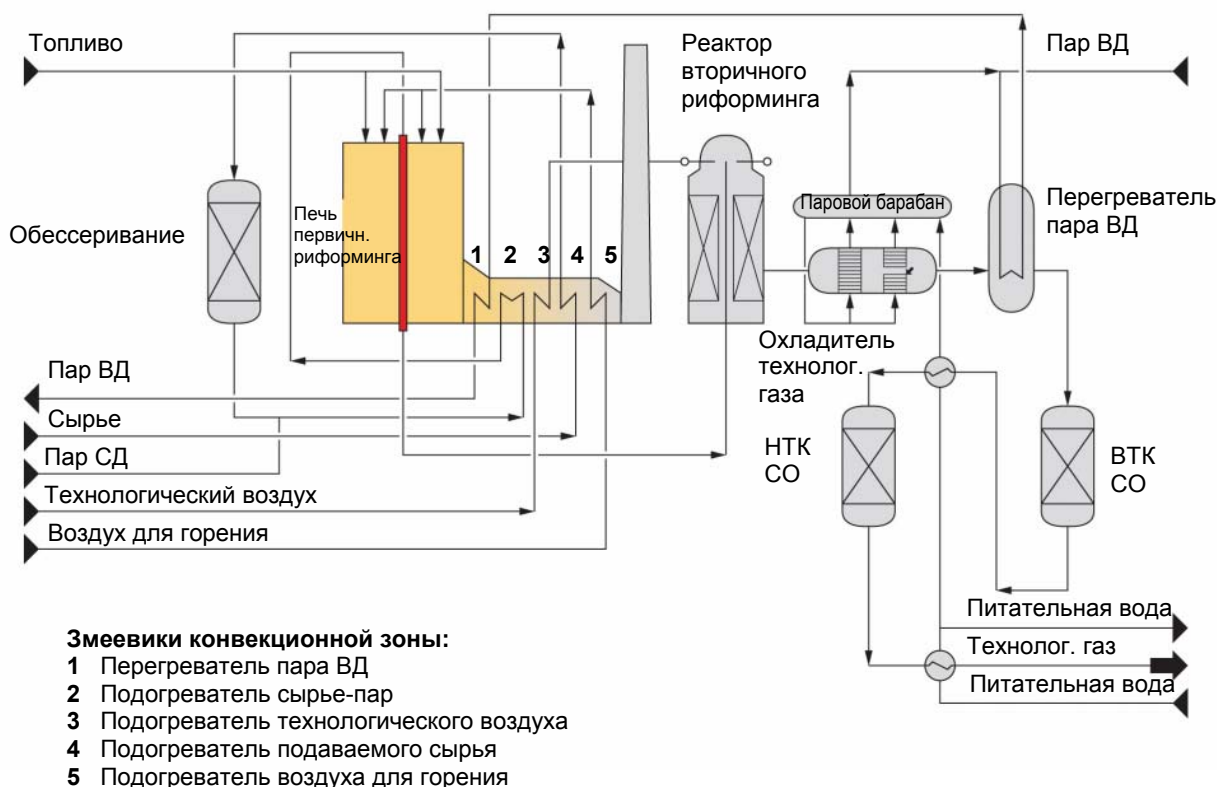
- *Смещение части реакции риформинга с печи первичного риформинга в сторону реактора вторичного риформинга*
Это результат включения в технологическую схему стадии утилизации продувочного газа. Таким образом, водород возвращается в сторону всаса компрессора синтез-газа, печь вторичного риформинга работает с избытком воздуха, и соотношение водород-азот в подпиточном газе поддерживается на уровне, близком к 3:1.
- *Подогрев технологического воздуха для реактора вторичного риформинга до более высокой температуры (540 °C)*
Смещение части реакции в сторону реактора вторичного риформинга повлечет за собой более низкие рабочие температуры в печи первичного риформинга и экономии топлива.
- *Оптимальное использование уменьшенной нагрузки печи первичного риформинга*
Это достигается за счет повышения давления в печи риформинга до ~40 бар при сохранении оцененного срока службы реакционных труб 100 000 часов. При этом общее энергопотребление еще дальше сокращается, потому что потребляемая мощность компрессоров уменьшается.

- *Подогрев смеси сырье/пар до более высокой температуры*
Таким образом, уменьшается потребление топлива печи первичного риформинга, и теплопередача осуществляется в конвекционной зоне, а не в радиантной.
- *Уменьшение соотношения пар: углерод до 3,0*
Данное соотношение включает достаточный запас безопасности для предотвращения отложений углерода на катализаторе первичного риформинга. Если к сырью примешивается меньшее количество пара, то в радиантной зоне печи первичного риформинга абсорбируется меньше тепла и снижается расход топлива. Однако, соотношение пар/газ достаточно высоко, чтобы свести до минимума образование побочных продуктов на стадии высокотемпературной конверсии СО (ВТК СО), где применяются хорошо зарекомендовавшие себя коммерческие катализаторы.

В нижеследующей таблице указаны рабочие характеристики риформинга:

Соотношение пар/углерод		3,0
Соотношение сырье/пар на входе печи первичного риформинга	°С	530-580
Давление на выходе печи первичного риформинга	бар	39-43
Содержание метана на выходе печи первичного риформинга	% об.	10-13
Содержание метана на выходе реактора вторичного риформинга	% об.	0,3 – 0,6
Температура технологического воздуха	°С	520-600
Температура воздуха для горения	°С	250-440
Перегретый пар 125 бар	°С	530-540
Температура в дымовой трубе	°С	120-180

Паровой риформинг и конверсия СО



В паровом риформинге особое внимание заслуживает перегреватель пара, расположенный за реактором вторичного риформинга, который в зависимости от выбранных технологических параметров улавливает от 15 до 40 % тепла, имеющегося в распоряжении между выходом реактора вторичного риформинга и входом высокотемпературной конверсии СО (ВТКСО). Он снабжает конвекционную зону необходимым теплом для перегрева пара ВД, которое там не имеется в нужном количестве в связи с тем, что в энергосберегающих установках тепло максимально рекуперировано для прямого использования в технологическом процессе и сокращения расхода топлива.

В результате уменьшенного расходного коэффициента тепло технологического газа в большей мере утилизируется для перегрева пара ВД, но в итоге генерируется меньше пара ВД. Другими словами: С сокращением расхода топлива уменьшается и нетто-экспорт энергии.

Перегреватель такого типа компания Uhde впервые использовала на установке Gewerkschaft Viktor, запущенной в эксплуатацию в 1970 году, затем на установке CIL в Канаде (запущенной в 1985 г.), а сегодня он входит в состав всех установок, построенных компанией Uhde в последние годы. Использование перегревателя с одной стороны обеспечивает гибкость, необходимую для работы установки в соответствии с любыми технологическими требованиями, а с другой стороны безопасную работу паровой системы в любых нормальных или ненормальных условиях. Внутренний байпас в зоне испарения позволяет сдвигать теплопередачу между испарителем и перегревателем.

В нормальном режиме работы внутренний байпас остается частично открытым. При закрытии байпаса температура газа на входе перегревателя может быть понижена и генерация пара повышена. Это важная черта для преодоления частичных нарушений работы установки, таких как, например, аварийное прекращение парогенерации на стадии синтеза аммиака.

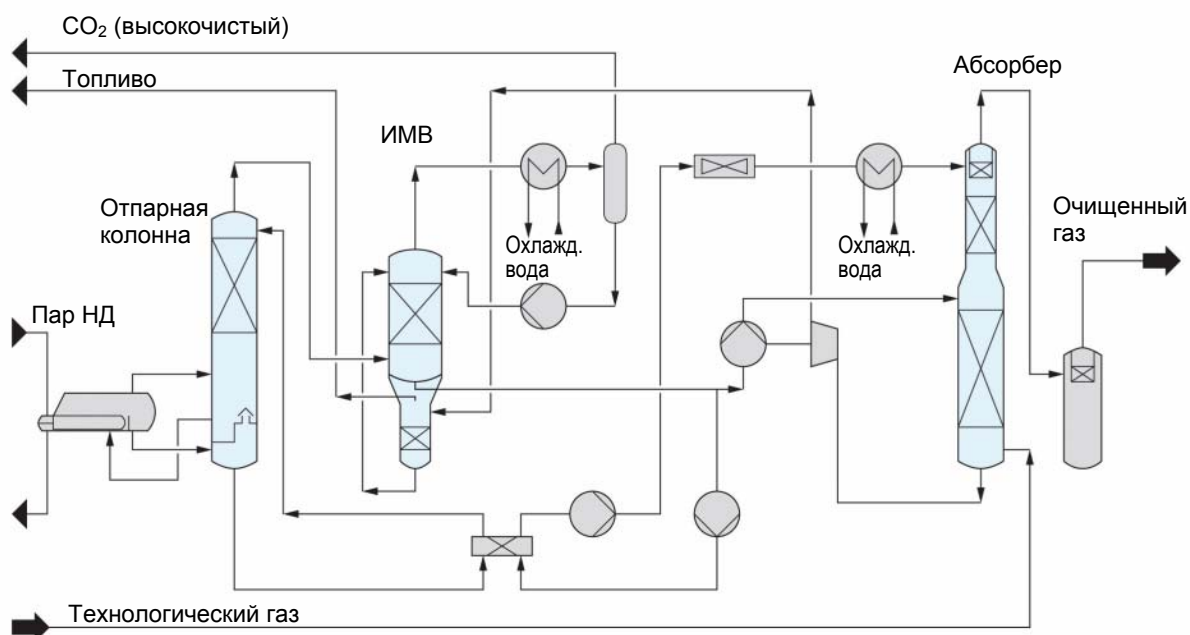
3.2 Очистка от CO₂

Для очистки от CO₂ имеются разные способы химической и физической абсорбции, например, аМДЭА®, процесс Бенфильд, «Amine Guard» и Селексол. Компания Uhde в прошлом использовала все эти способы и имеет многолетний опыт в их коммерческой эксплуатации. Самым низким энергопотреблением отличается способ активированного МДЭА (аМДЭА®) по лицензии компании BASF, где раствор в первую очередь регенерируется мгновенным испарением вместо отпаривания.

В процессе аМДЭА® раствор N-метилдиэтанолamina и воды используется со специальным активатором, действующем как растворитель. Процесс сочетает преимущества способов химической и физической очистки от CO₂, так как изотермы раствора для CO₂ находятся между типичными химическими и физическими растворителями.

Схема включает в себя двухступенчатый абсорбер, в нижней части которого основная часть CO₂ удаляется с помощью полубедного раствора, регенерированного в двухступенчатом испарителе мгновенного вскипания (ИМВ) без потребления энергии на отпаривание. В его верхней части осуществляется конечная очистка до уровня ppm с помощью относительно малой доли общего количества циркулирующего растворителя, и только эта небольшая часть растворителя затем подлежит термической регенерации отпариванием в ребойлерной колонне. Таким образом, удельное энергопотребление системы рекуперации CO₂ уменьшается до 1340 кДж/нм³ CO₂.

Система очистки от CO₂ с помощью аМДЭА®



Кроме того, описанная технология имеет следующие преимущества:

- Высокий коэффициент рекуперации CO₂ (свыше 96 %) и высокая степень чистоты CO₂ (свыше 99 % объемных).
- Ингибиторы коррозии не требуются, потому что раствор не вызывает коррозии углеродистой стали.
- Потери раствора сведены до минимума в связи с низким давлением вскипания и отсутствием деградации аМДЭА®. Восстановление раствора не требуется.
- Отсутствие токсичных растворителей.
- Отсутствие проблем кристаллизации.

3.3 Синтез аммиака

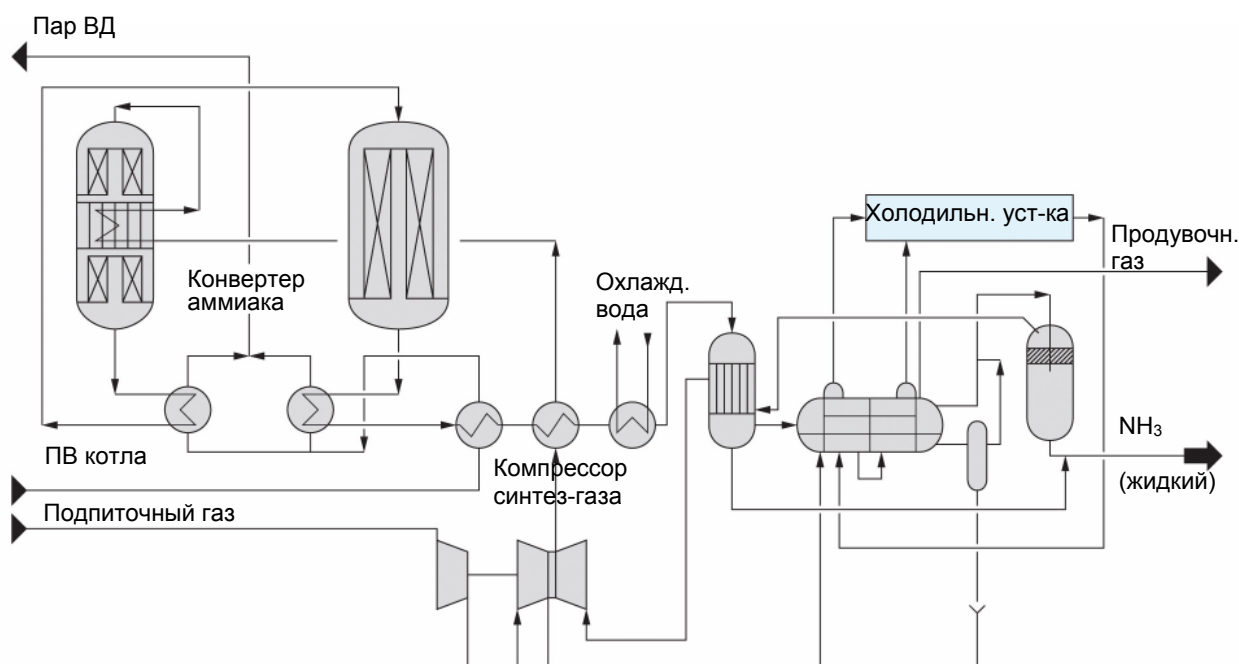
Наиболее существенным изменениям по сравнению с ранней схемой подвергнулся узел синтеза аммиака.

Его основной отличительной чертой является высокая степень конверсии, которая достигается с помощью большого объема катализатора. В целях минимизации размера и стоимости реактора синтеза при сохранении низкого перепада давления, необходимо использовать

- мелкозернистый катализатор,
- реактор радиального типа.

Компания Uhde всегда была сторонником трехслойных конвертеров с высокой степенью конверсии за один проход. Следовательно, в узле синтеза аммиака компании Uhde установлена система трехслойных реакторов радиального типа. Синтез с высокой степенью конверсии имеет значительные преимущества, потому что существенно уменьшаются количество циркуляционного газа, необходимая мощность циркуляционного насоса и поверхность теплообмена. Энергопотребление на охлаждение также уменьшается сверхпропорционально, потому что основная часть полученного аммиака конденсирует уже перед холодильником контура синтеза.

Синтез аммиака



Проведенные исследования по использованию новейших высокоактивных катализаторов из благородного металла показали, что ввиду неизвестного развития цен на благородные металлы в будущем, оно не даст никаких экономических преимуществ. Кроме того, их отличающиеся физические свойства могут вызвать эксплуатационные проблемы.

Поэтому для обеспечения максимальной надежности работы и рентабельности компания Uhde во всех трех слоях исключительно использует свои хорошо зарекомендовавшие себя катализаторы на основе магнетита. Обычно для ускоренного запуска первый из трех слоев заполнен предварительно окисленным катализатором.

В зависимости от специфики промплощадки и проекта, три слоя катализатора размещаются либо в одном реакторе, либо в двух реакторах синтеза аммиака.

Схемы с одним реактором синтеза аммиака и одним котлом-утилизатором не позволяют оптимально использовать тепло реакции для генерации пара высокого давления. Оптимальная утилизация тепла достигается при размещении между вторым и третьим слоем катализатора дополнительного котла-утилизатора.

Такая компоновка положительно влияет на температуру на стороне газа котлов-утилизаторов, кроме того, температура питательной воды на входе котла-утилизатора может быть выше. Для этого она может быть подогрета с использованием тепла низкого уровня, имеющегося в других местах установки, например, за узлом НТК СО.

При использовании двухкотловой системы количество генерированного пара высокого давления существенно повышается с 1,1 т до 1,5 т на тонну аммиака.

Технологические параметры контура синтеза приведены в следующей таблице:

Соотношение H_2/N_2 на выходе узла метанирования		2,95
Давление контура синтеза	Бар	140–210
Содержание NH_3 на входе реактора синтеза	% об.	3–5
Содержание NH_3 на выходе реактора синтеза	% об.	20–25
Генерация пара ВД	т/т NH_3	1,1–1,5
Число реакторов		1 или 2

3.4 Система генерации и распределения пара

Нижеследующая схема изображает систему утилизации тепла, которая является основой концепции энергосберегающего производства аммиака компании Uhde. Суть ее заключается в оптимальном использовании отходящего тепла реакции для генерации перегретого пара ВД.

Питательная вода (ПВ) ВД сначала нагревается за узлом НТК СО, после чего поток ПВ разделяется на два частичных потока, первый из них направляется в узел синтеза аммиака, второй в ВТК СО для дальнейшего подогрева.

Из отходящего тепла реакции пар ВД генерируется только в двух местах

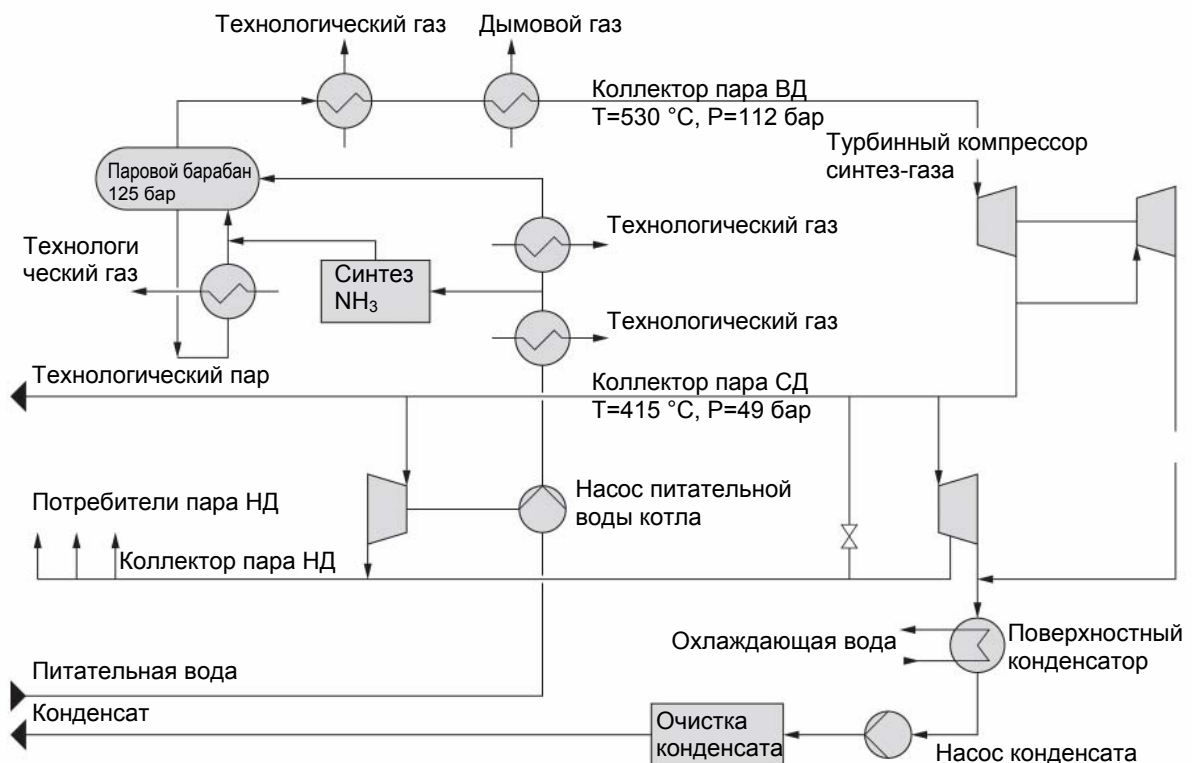
- за реактором вторичного риформинга и
- в узле синтеза аммиака.

Пар ВД перегревается за реактором вторичного риформинга и в конвекционной зоне печи первичного риформинга.

Перегретый пар расширяется в ступени ВД турбинного компрессора синтез-газа и поступает в систему пара среднего давления. Пар СД при $P = 49$ бар и $T = 415$ °С используется как технологический пар или подается в

- конденсационную турбину, приводящую компрессор синтез-газа
- конденсационную турбину, приводящую компрессор технологического воздуха / генератор переменного тока
- турбину противодавления, приводящую насос питательной воды.

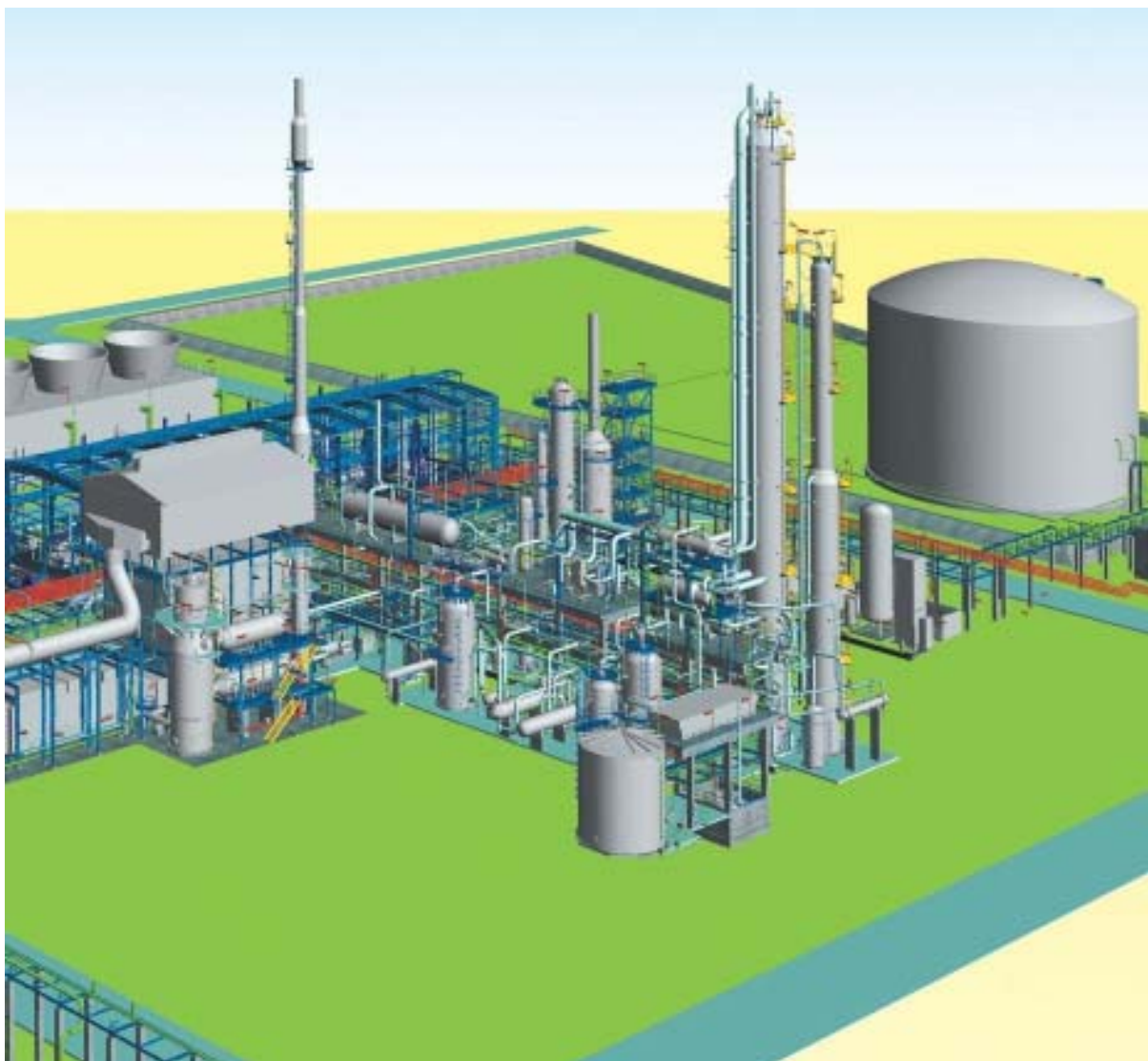
Система генерации и распределения пара



3.5 Варианты схемы

Представленная выше схема установки представляет собой основа энергосберегающей технологии компании Uhde. Она может быть легко приспособлена к специфическим особенностям любого проекта. Варианты могут включать весь диапазон от незначительных изменений (например, системы генерации и распределения пара) до замены целых узлов (например, очистки от CO₂ aМДЭА® способом «Amine Guard», Бенфильд или Селексол).

Кроме того, в схему установки газовые турбины могут быть включены как привод компрессора (например, компрессора технологического воздуха) или генератора переменного тока. Отходящий газ турбины может быть использован в печи первичного риформинга как высокотемпературный воздух для горения или в парогенераторе-утилизаторе (HRSG) для выработки пара на экспорт.



3.6 Технология Uhde с двумя ступенями давления

Уже в течение многих лет производительности химических установок все дальше растут в связи с тем, что удельные затраты могут быть снижены за счет более экономичных масштабов установок.

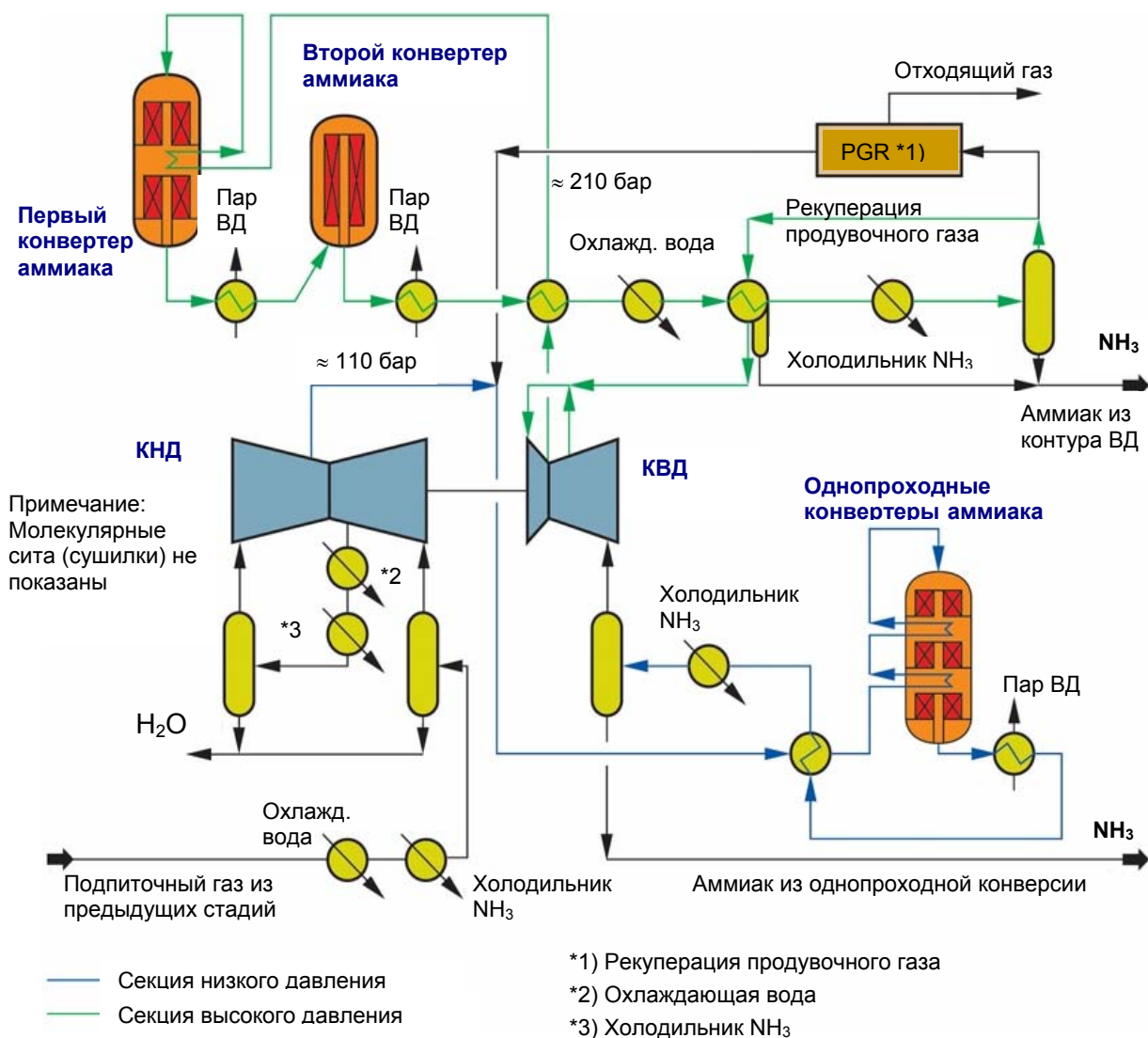
В большей мере, чем когда бы то ни было прежде, инженеринговые подрядчики стоят перед вызовом воспользоваться этим преимуществом, одновременно продолжая использовать зарекомендовавшие себя технологий и проверенное оборудование.

Uhde и Johnson Matthey Catalysts приняли этот вызов и разработали технологический процесс на основе существующей технологии, по которому могут быть созданы очень крупные установки с использованием хорошо зарекомендовавшего себя и протестированного оборудования. Производительность установок по данному процессу (см. схему) составляет 3300 т/сутки, процесс представляет собой основу для еще более крупных установок (например, мощностью от 4000 до 5000 т/сутки).

Первая промышленная установка, созданная на базе этой технологии - производство аммиака SAFCO IV в Эль-Джубайле, Саудовская Аравия. С ее мощностью 3300 т/сутки она является крупнейшей в мире установкой по производству аммиака. Установка работает с 2006 года. Уже проектируется следующая установка на базе технологии с двумя ступенями давления.

Ключевой инновацией новой технологии с двумя ступенями давления компании Uhde является внедрение дополнительного однопроходного конвертера аммиака среднего давления, расположенного за традиционным контуром синтеза аммиака высокого давления. Конверсия происходит следующим образом:

1. При однопроходном синтезе аммиака подпиточный газ компримируется в двухступенчатом компрессоре синтез-газа с промежуточным охлаждением, т. е. в корпусе низкого давления (КНД) компрессора. Давление на его выходе составляет ок. 110 бар. При этом давлении в однопроходном конвертере аммиака с тремя слоями катализатора и промежуточным охлаждением производится одна треть общего выхода по аммиаку. Смесь синтез-газ/аммиак охлаждается после конвертера, и 85 % полученного аммиака отделяется от газа в жидком виде.
2. Остальной синтез-газ затем компримируется до рабочего давления контура синтеза аммиака (до 210 бар) в корпусе высокого давления (КВД) компрессора синтез-газа. Благодаря промежуточному охлаждению синтез-газа температура в КВД намного ниже, чем в традиционном процессе получения аммиака. Высокое давление в контуре синтеза аммиака достигается за счет сочетания охлаждаемого второго корпуса компрессора синтез-газа и слегка повышенного давления в цепи производства синтез-газа. В этом традиционном контуре синтеза аммиака получают остальные две трети общего количества аммиака.



Основные черты технологии

- Проверенные катализаторы на базе магнетита могут быть использованы во всех стадиях настоящего нового процесса.
- Энергоэффективность настоящей технологии на 4 % выше, чем у традиционного процесса Uhde.
- В результате высокой степени конверсии и уменьшенной производственной нагрузки в контуре синтеза высокого давления могут быть использованы трубопроводы меньшего диаметра, т. е. стандартные трубопроводы вполне достаточны для мощностей, равных или выше 4000 т/сутки.
- Компрессор синтез-газа установки 3300 т/сутки с двумя ступенями давления по размеру соответствует компрессору установки мощностью 2000 т/сутки. Работают уже несколько референц-агрегатов.

- Только 2/3 водорода, извлеченного из продувочного газа, подлежат повторному компримированию и возврату в контур синтеза, а 1/3 прямо конвертируется в аммиак на стадии однопроходного синтеза.
- Схема технологического процесса отличается чрезвычайной гибкостью. Работа катализатора и оборудования может быть оптимизирована настройкой целого ряда параметров.
- Теперь возможно достичь мощности примерно 3300 т/сутки при использовании традиционного оборудования и катализатора, которые оказались надежными и эффективными в действующих установках.
- Условия работы не существенно отличаются от уже проверенных условий.
- Цепь производства синтез-газа по новой технологии не сильно отличается от существующей. Единственно рабочее давление на 3 бар выше, что еще в рамках проверенного расчета оборудования компании Uhde, направленного на долгосрочную эксплуатацию и основанного на многолетнем эксплуатационном опыте.



Комплекс удобрений компании AFC в Абу-Куре (близ Александрии) в Египте.

*Мощность: 1200 т/сутки аммиака,
 1925 т/сутки карбамида,
 2000 т/сутки гранулята*

4. Технологическое оборудование собственной разработки Uhde

Хорошая установка – результат удачной комбинации хорошей технологии с проверенной, надежной конструкцией критического оборудования.

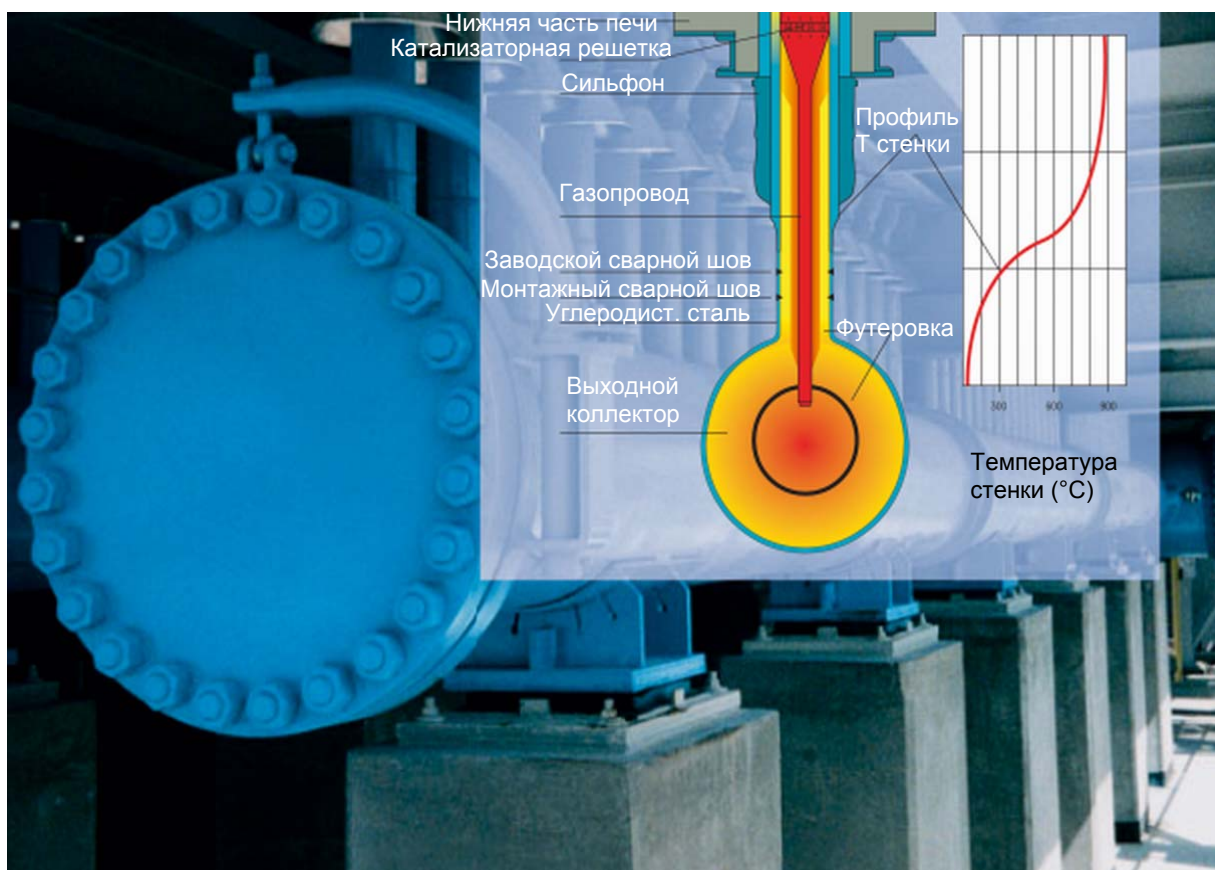
Компания Uhde оказалась пионером разработки ключевого оборудования установок по производству аммиака, и является одним из ведущих подрядчиков в этой области.

К этим разработкам причисляются

- печь первичного риформинга с системой холодных выходных коллекторов;
- реактор вторичного риформинга;
- цепь охлаждения технологического газа за реактором вторичного риформинга для
 - генерации пара ВД,
 - перегрева пара ВД;
- система высокоэффективных трехслойных конвертеров с косвенным теплообменом и радиальным потоком;
- котел-утилизатор отходящего тепла узла синтеза аммиака.

Компания Uhde владеет рядом патентов на такое оборудование, ждет рассмотрения поданных заявок на такие патенты и неоднократно выдавала лицензии на изготовление и продажу оборудования фирмам-изготовителям оборудования и подрядчикам в области химического машиностроения.

Система холодных коллекторов и присоединение реакционных труб к коллектору (с температурным профилем стенки)



4.1 Печь первичного риформинга с системой холодных выходных коллекторов

Печь первичного риформинга содержит множество труб, заполненных катализатором и обогреваемых за счет сжигания топлива. Необходимая температура технологического газа на выходе заполненных катализатором реакционных труб составляет около 800°C при давлении примерно 45 бар. Естественно, срок службы реакционных труб печи риформинга ограничен. Материал разрушается под влиянием комбинированного воздействия ползучести, чередующих термических и механических напряжений, внешнего и внутреннего окисления и закоксования.

Следовательно, конструкторам пришлось решить следующие две основные задачи:

- во-первых, минимизировать число компонентов, подвергаемых износу под комбинированным воздействием высокой температуры и высокого давления;
- во-вторых, обеспечить максимально безопасную и безупречную работу.

Нижеследующими приемами компания Uhde решила поставленные задачи:

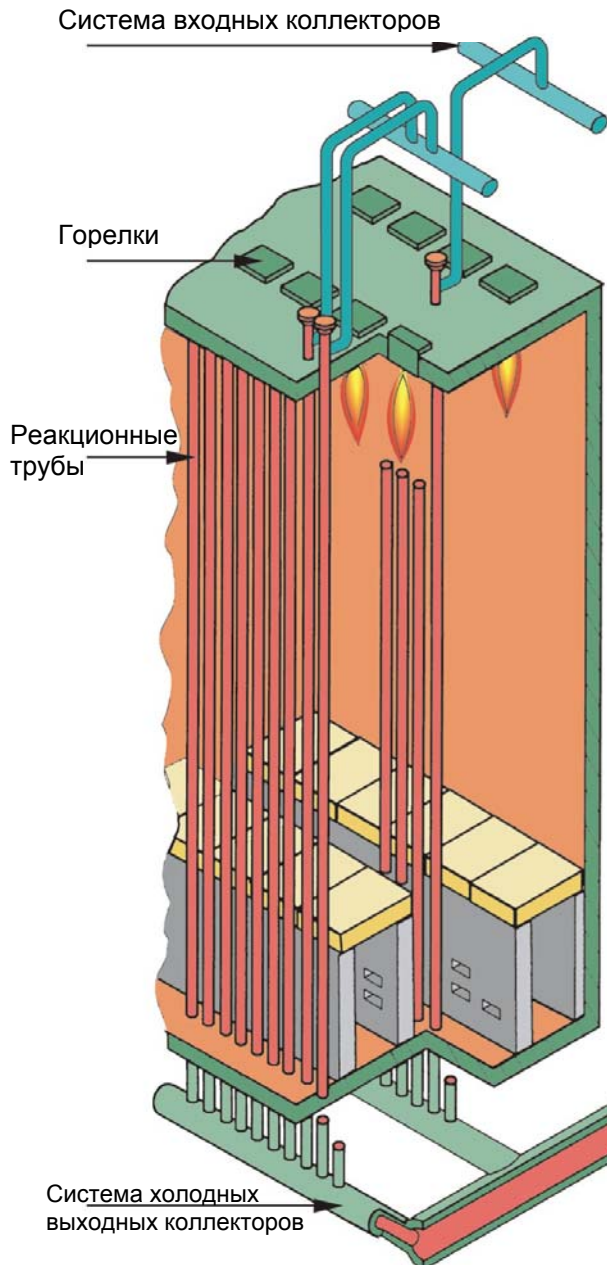
- Потолочными горелками для обеспечения максимальной равномерности температурного профиля стенок труб;
- Небольшим количеством горелок (по сравнению с печами, оснащенными боковыми горелками);
- Системой внутри изолированных холодных выходных коллекторов из углеродистой стали, расположенных вне печи под ее нижней частью;
- Внутри изолированными соединениями реакционных труб с выходным коллектором, работающими при умеренных температурах;

Преимущества печи риформинга компании Uhde - следующие:

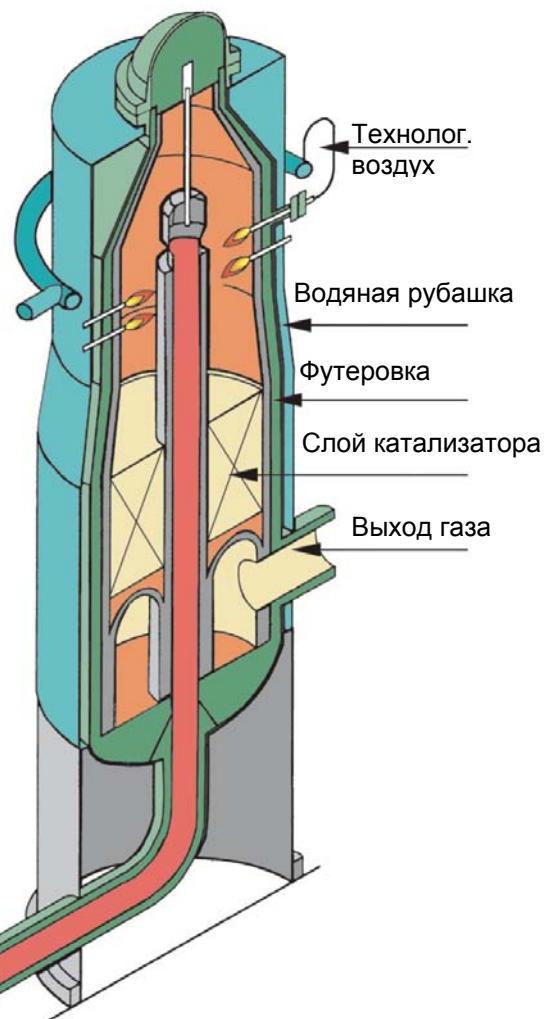
- Отсутствие высоколегированных пигтейлей и/или выходных коллекторов или стояков, работающих в условиях ползучести;
- Минимальное число компонентов, подвергаемых тяжелым условиям работы;
- Равномерный профиль температуры вдоль полной длины реакционных труб с как можно минимальными пиковыми температурами, что гарантирует оптимальное исчерпывание ресурса материала труб;
- Отсутствие проблем термического удлинения благодаря системе холодных выходных коллекторов. Незначительное остаточное удлинение не требует компенсации. Таким образом, возможны очень крупные по размеру печи в одном корпусе;
- Возможность контроля температуры технологического газа на выходе каждого ряда труб и ее регулировки во время работы печи гарантирует оптимальную работу печи риформинга и равномерность температуры;
- Почти неограниченный срок службы холодных выходных коллекторов, которые не требуют никаких других мер по техническому обслуживанию, кроме нанесения нового слоя окраски;
- Система холодных выходных коллекторов позволяет эксплуатацию печи при самых разных температурах и давлениях технологического газа.

С 1966 года компания Uhde спроектировала и построила более 60 печей этого типа. Все работают превосходно. Из них две самые крупные оснащены 630 и 960 трубами соответственно.

Печь первичного риформинга



Реактор вторичного риформинга (шахтный реактор)



Радантная зона печи первичного риформинга, система холодных выходных коллекторов и реактор вторичного риформинга

4.2 Реактор вторичного риформинга (шахтный реактор)

Технологический газ из печи первичного риформинга поступает в нижнюю часть реактора вторичного риформинга. Газ через центральный стояк направляется в камеру сгорания на верху реактора вторичного риформинга. Технологический воздух поступает в эту камеру через форсунки, равномерно расположенные по периметру камеры в двух рядах. Частично окисленный газ сверху вниз проходит через слой катализатора, который опирается на керамическую арку, и выводится из реактора вторичного риформинга по выходному штуцеру, находящемуся в его нижней части.

При расчете реактора вторичного риформинга следующие пункты заслуживают особого внимания:

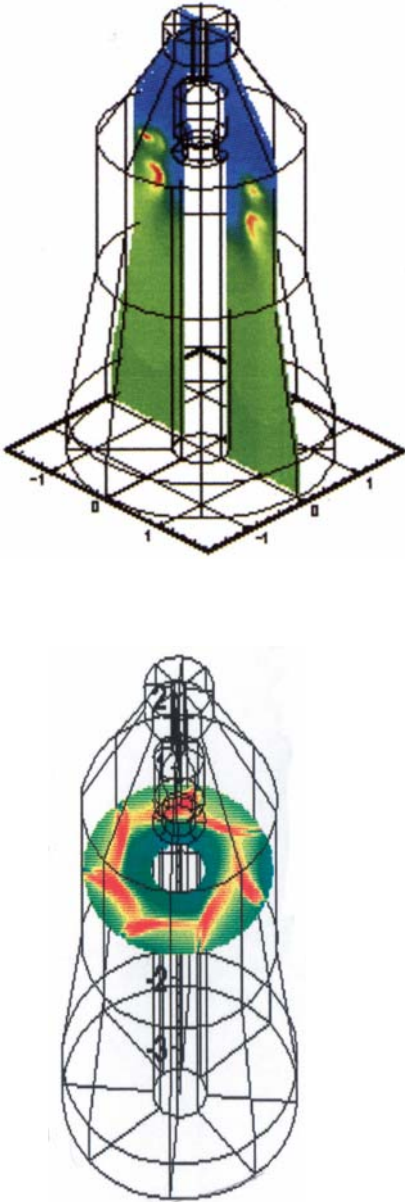
- передаточный трубопровод между выходом печи первичного риформинга и реактором вторичного риформинга;
- футеровка и керамическая арка, которая несет вес катализатора;
- горелки.

Решение компании Uhde для обеспечения безопасной и надежной работы реактора вторичного риформинга отличается следующими характеристиками:

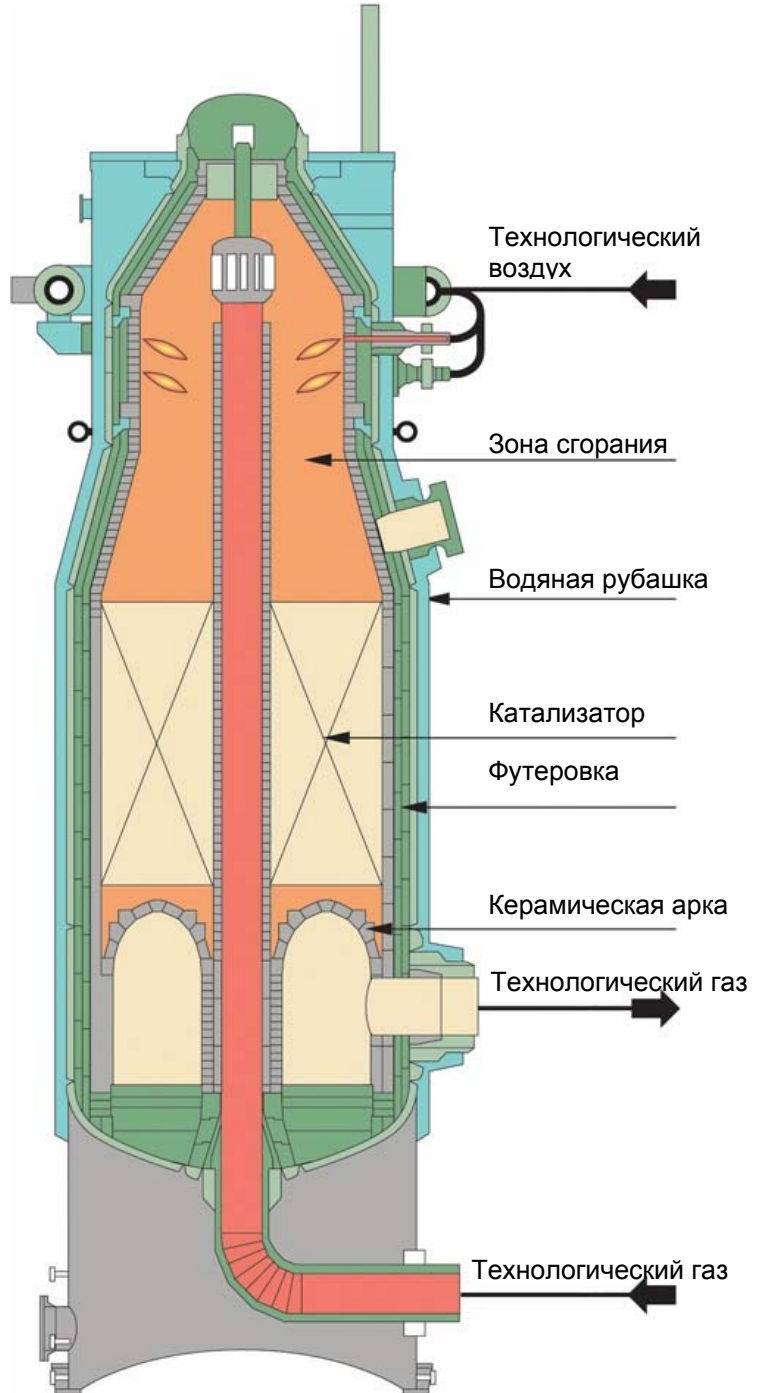
- *Футерованный передаточный трубопровод* между печью первичного риформинга и реактором вторичного риформинга получается кратким, так как он присоединен к нижнему штуцеру реактора вторичного риформинга. В реакторе вторичного риформинга газ по центральной трубе поднимается наверх в камеру сгорания, что обеспечивают удобную проводку трубопроводов и отсутствие термических напряжений между передаточным трубопроводом и реактором вторичного риформинга.
- *Многослойная футеровка из высокоглиноземистого кирпича в горячих зонах;*
- *Арка из высокоглиноземистого кирпича как стабильная опора для катализатора.* Благодаря центральной трубе арка перекрывает только половину диаметра реактора и, тем самым, является стабильнее, чем другие конструкции.
- *Многофорсуночная система горелок*, состоящая из двух рядов форсунок, размещенных по периметру камеры сгорания на равных интервалах.
- *Оптимальное перемешивание воздуха и технологического газа:* При поступлении в верхнюю часть реактора поднявшийся по центральной трубе поток технологического газа изменяет направление движения с помощью дефлектора, находящегося над трубой. Воздух добавляется в камеру сгорания с помощью определенного количества форсунок, установленных в стенках реактора под определенным углом, который создает завихрение потока. При этом пламени не вступают в контакт с футеровкой или центральным стояком.
- *Специальная конструкция горелки собственной разработки*, впервые использованная в 1992 году, предотвращает контакт металлических компонентов с горячими реакционными газами.

С момента ее внедрения в 1968 г. реактор вторичного риформинга компании Uhde оправдался как надежная позиция оборудования с длительным сроком службы.

Оптимизация работы с помощью программы для моделирования гидродинамических процессов (CFD)



Реактор вторичного риформинга



4.3 Система охлаждения технологического газа за реактором вторичного риформинга



Реактор вторичного риформинга Uhde и система охлаждения технологического газа

Технологический газ, который выводится из реактора вторичного риформинга с температурой 1000°C , необходимо охлаждать до регулируемого уровня температуры, подходящего для последующей стадии конверсии CO . Его теплосодержание может быть утилизировано для выработки и перегрева пара ВД.

При проектировании оборудования системы охлаждения конструкторам пришлось найти решение, которое обеспечило соблюдение индивидуальных температурных пределов всех компонентов в зависимости от их допустимой нагрузки и от материала изготовления за конкурентоспособные цены.

С 1966 г. компания Uhde для этой цели использует и рекламирует горизонтальный жаротрубный котел. В 1969 г. в систему охлаждения технологического газа был введен дополнительный перегреватель пара ВД.

В нижеследующем приведены компоненты системы охлаждения технологического газа компании Uhde и представлены их преимущества:

Компоненты системы охлаждения технологического газа Uhde

Горизонтальный жаротрубный котел с

- тонкой гибкой трубной доской;
- трубами, приваренными к доскам сваркой со сквозным проплавлением;
- огнеупорными втулками, защищающими входную часть труб;
- двухслойной футеровкой входной зоны - и при необходимости - выходной камеры высокоогнеупорным кирпичом на горячей поверхности.
- внутренним байпасом газа для управления температурой с помощью регулирующей заслонки с паровым охлаждением;
- паровым барабаном, установленным на котле и опирающимся на опускные и подъемные трубы.

Преимущества

- простая конструкция с неподвижной трубной доской;
- отсутствие щелевой коррозии;
- надежная естественная циркуляция воды;
- отсутствие обогреваемых тупиковых концов на стороне воды, в которых могут образоваться грязевые отложения;
- низкие температуры металла в зоне трубных досок за счет эффективной изоляции и огнеупорных втулок;
- простое и надежное управление температурой технологического газа;
- хороший доступ для контроля и технического обслуживания;
- низкие затраты на монтаж за счет предварительной сборки котла и барабана на заводе-изготовителе.

Перегреватель пара ВД с

- входом и выходом технологического газа в нижней части;
- предпочтительно вертикальным расположением перегревающего змеевика;
- кожухом, работающим под давлением, вступающим в контакт только с охлажденным технологическим газом;
- управлением температурой внутренним байпасом.

Преимущества:

- Конструкция змеевика обеспечивает высокую механическую гибкость;
- термическое расширение компенсируется змеевиком;
- допустимые температуры металла поддерживаются с помощью эффективно работающего регулирующего байпаса;
- управление температурой обечайки, работающей под давлением, осуществляется охлажденным отходящим газом;
- простая система регулировки температуры пара и технологического газа.

4.4 Конвертер аммиака и утилизация отходящего тепла



Комплекс удобрений компании EFC в Айн-Сохне (недалеко от Суэца), Египет.

Мощности: 1200 т/сутки аммиака

1925 т/сутки карбамида

2000 т/сутки гранулята

Спросом на способы энергосберегающего производства аммиака диктуются следующие требования, предъявленные к конструкции узла синтеза аммиака:

- Высокий коэффициент конверсии и, следовательно, большой объем катализатора;
- максимальная утилизация тепла реакции для генерации пара ВД;
- низкий перепад давления в контуре синтеза аммиака.

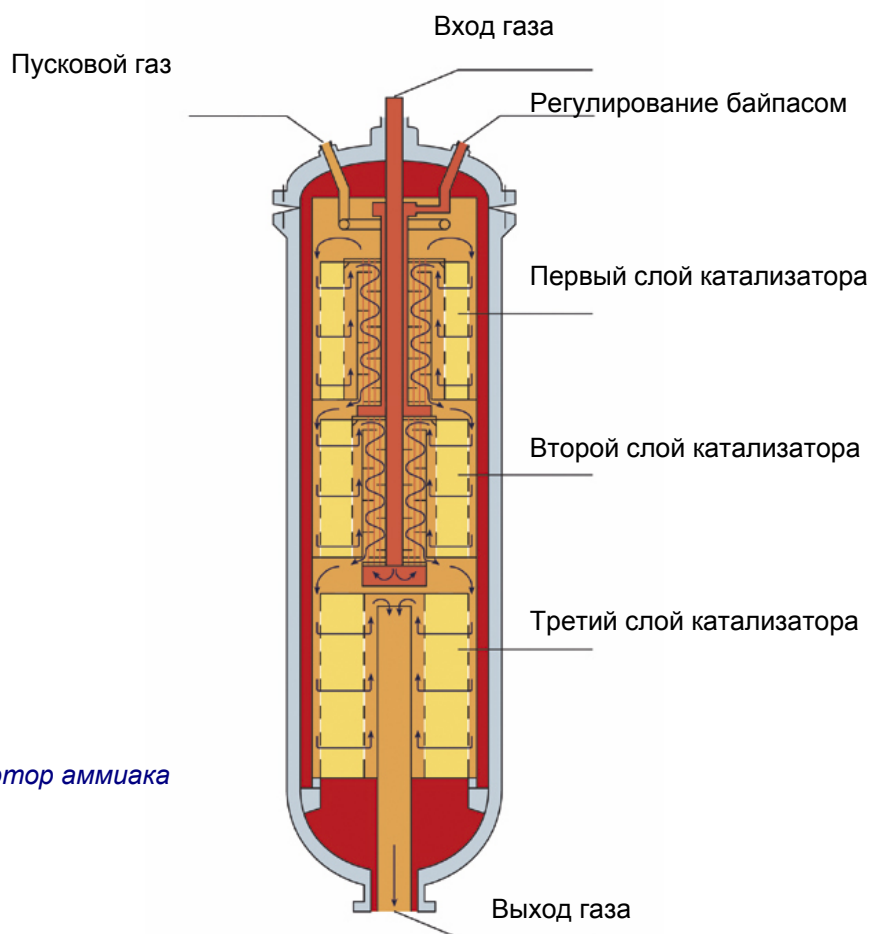
Для выполнения этих требований необходимо

- использовать мелкозернистый катализатор;
- применять принцип радиального потока;
- генерировать пар ВД, где возможно и выгодно.

Следовательно, в узле синтеза аммиака компании Uhde три слоя катализатора радиального потока размещаются либо в одном конвертере, либо в двух конвертерах.

Характеристики одноконверторной схемы:

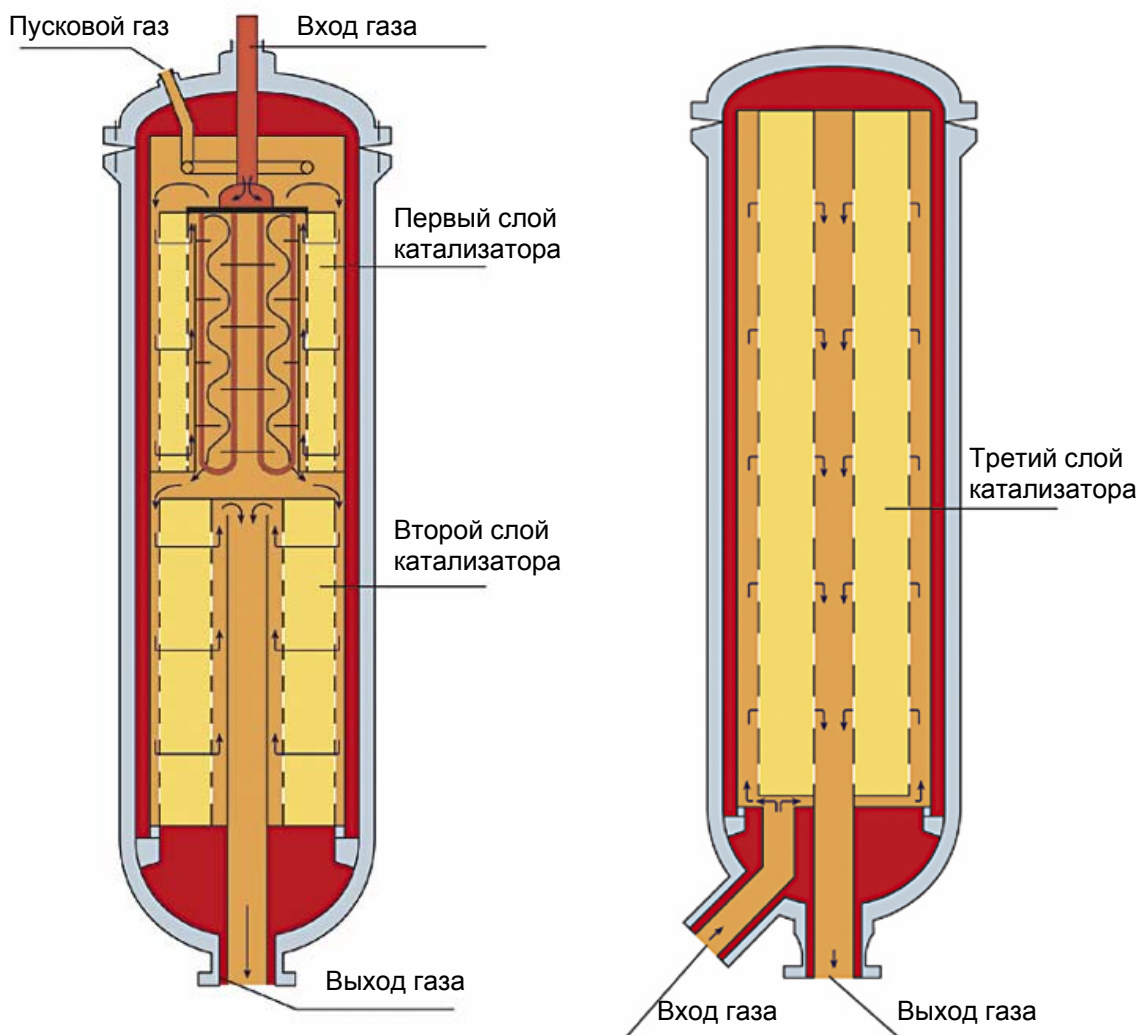
- Между слоями катализатора расположен теплообменник для косвенного охлаждения синтез-газа, что является высокоэффективным способом управления температурой.
- Газ радиально проходит по всем слоям катализатора снаружи внутрь.
- Конвертеры могут быть спроектированы с полностью или частично съемной крышкой в зависимости от требований и ограничений проекта.
- Теплообменные трубные пучки могут быть вынуты из аппарата без удаления картриджа катализатора.
- За третьим слоем катализатора расположен внешний подогреватель питательной воды котла/паровой котел ВД.



Трехслойный конвертор аммиака радиального типа

Характеристики двухконвертерной схемы:

- Первые два слоя катализатора расположены в первом конвертере, а третий слой во втором конвертере;
- Газ радиально проходит через все слои катализатора снаружи внутрь;
- Между первым и вторым слоями катализатора находится простой теплообменник с U-образными трубками для косвенного охлаждения синтез-газа;
- Конвертеры могут быть спроектированы с полностью или частично съемной крышкой в зависимости от требований и ограничений проекта;
- Трубный пучок теплообменника может быть вынут без удаления катализатора;
- Емкости - компактные и легче, что упрощает транспортировку и перевозку;
- За вторым слоем катализатора расположен внешний паровой котел ВД;
- За третьим слоем катализатора расположен внешний подогреватель питательной воды/паровой котел ВД.



1-ый конвертер аммиака радиального типа с 1-ым и 2-ым слоями катализатора

2-ой конвертер аммиака радиального типа с 3-им слоем катализатора

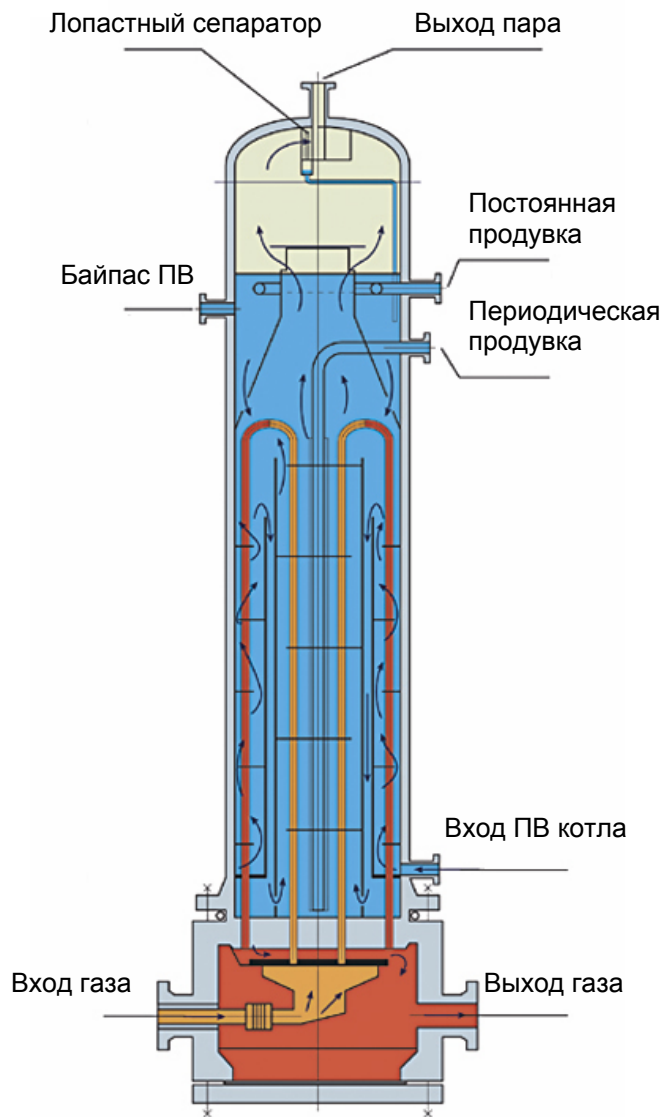
Характеристики паровых котлов ВД:

- Трубная доска охлаждается для предотвращения азотирования.
- Выпускные каналы только вступают в контакт с охлажденным синтез-газом, который выводится из котла.
- Пучок U-образных труб является съемным.
- Трубки теплообменника приварены к трубной доске сварными швами со сквозным проплавлением.
- Пар отделяется от питательной воды в верхней части котла-утилизатора.

Компания Uhde занимается проектированием и расчетом котлов, использованных в контурах синтеза аммиака ВД с 1969 года, когда она была еще пионером в разработке такого вида оборудования.

Преимущества паровых котлов ВД:

- Все компоненты изготовлены из водородоустойчивого низколегированного материала, обеспечивающего простое обслуживание.
- Отсутствуют коррозионное растрескивание под напряжением и щелевая коррозия.
- Котлы отличаются низким термическим напряжением.
- В котле встроен подогреватель питательной воды (ПВ);
- Все сварные швы, соединяющие трубки с трубной доской, подвергаются испытанию неразрушающим методом.



Паровой котел ВД



Комплекс по производству удобрений «SAFCO IV» в Эль-Джубайле, Саудовская Аравия.

<i>Мощность</i>	<i>по аммиаку</i>	<i>3300 т/сутки</i>
	<i>по карбамиду</i>	<i>3250 т/сутки</i>
	<i>гранулирования</i>	<i>3600 т/сутки</i>

4.5 Расходные нормы на тонну аммиака и показатели качества продукта



Комплекс по производству аммиака и карбамида «QAFCO 4» был успешно запущен в эксплуатацию уже в 2004 г.

Мощность по аммиаку 2000 т/сутки
 по карбамиду 3200 т/сутки
 гранулирования 3500 т/сутки

Расход сырья и энергосредств

Природный газ, служащий сырьем и топливом	Гкал ¹⁾	6,8-7,4
Электропотребление	кВт·ч	15-90
Общее потребление сырья и энергосредств ²⁾	Гкал ¹⁾	6,7-7,4

Энергоресурсы

Охлаждающая вода ($\Delta T=10$ К)	т	120-260
Деминерализованная вода (потребление нетто)	т	0,65-0,75

Стоки

Очищенный технологический конденсат ³⁾	т	0,85-1,15
---	---	-----------

Качество продукта

Содержание аммиака	% по массе	99,8-100,0
Содержание воды	% по массе	0,0-0,2
Содержание масла	ppm по массе	н/б 5

¹⁾ Выражено как низшая теплота сгорания природного газа на тонну аммиака.

²⁾ Электропотребление и экспорт пара в переводе на топливные эквиваленты.

³⁾ Возвращается на стадию деминерализации для повторного использования.

Все вышеуказанные расходные нормы на тонну жидкого аммиака приведены только для общей информации. Местные климатические условия и состав газа могут существенно влиять на рабочие характеристики.

5. Комплексный подход компании Uhde

Компания Uhde приложит все усилия в оказании своим клиентам обширных услуг и всевозможной поддержки в успешном ведении бизнеса.

С ее международной сетью дочерних предприятий, филиалов и опытных местных представителей, которые получают хорошую поддержку от главного офиса, компания Uhde обладает идеальной квалификацией для достижения этой цели.

Uhde считает особенно важным ранние встречи с клиентами для того, чтобы объединить их цели с нашим опытом. Если возможно, мы предоставляем нашим потенциальным заказчикам возможность посещения построенных нами установок, чтобы они могли лично убедиться в их безупречной работе, простом техобслуживании и долгом сроке бесперебойной работы. Мы намерены основывать наши деловые отношения на доверии, которое наши клиенты питают к нам.

Компания Uhde предоставляет полный объем услуг технологически направленного подрядчика по инжинирингу, т. е. начиная с исследования рентабельности, схем финансирования проекта и руководства проектом вплоть до ввода в эксплуатацию отдельных стадий или комплектных установок на незастроенной территории.

Наш портфель услуг включает:

- Исследования рентабельности / выбор технологий
- Руководство проектом
- Составление схем финансирования
- Руководство по финансированию на основе глубокого знания местных правовых предписаний, положений и налогового законодательства
- Исследование воздействия на окружающую среду (ОВОС)
- Базовый / детальный инжиниринг
- ОЗХ
- Закупка / приемка / поставка оборудования
- Строительно-монтажные работы
- Ввод в эксплуатацию
- Обучение обслуживающего персонала
- Эксплуатация установки / техобслуживание

Политика компании Uhde и ее дочерних фирм направлена на обеспечение максимального качества выполнения проектов при соблюдении головным офисом и филиалами единого стандарта качества DIN / ISO 9001 / EN 29001.

Мы поддерживаем контакт с нашими клиентами, и после окончания проекта.



Партнерство – это наш девиз.

Мы организуем и проводим технические симпозиумы, создавая возможность обмена информацией и опытом среди клиентов, партнеров, эксплуатационников и наших специалистов. На таких встречах клиенты могут знакомиться с новыми разработками и обмениваться методами устранения проблем.

Мы хотим культивировать наши деловые отношения и узнавать больше о будущих целях наших клиентов. Наш послепродажный сервис включает регулярные консультационные визиты, с целью информировать собственника о новейших разработках или о возможностях модернизации.

Uhde предлагает концепции установок, разработанные с точным учетом специфических требований покупателя и компетентность на международном рынке.

Более подробную информацию Вы можете получить по следующим адресам:

Контакты:

Uhde GmbH
Friedrich-Uhde-Str. 2
44141 Dortmund
Германия

Тел.: +49 (6196) 205-1634

Факс: +49 (6196) 205-1654

E-mail: Beate.Becker@thyssenkrupp.com

ООО «Уде»
Московский офис
ул. Усачева, д. 33/2
119048 Москва

Тел.: (499) 940-03-12

Факс: (499) 940-03-10

E-mail: vladimir.mishin@thyssenkrupp.com

или на нашем сайте в интернете:

www.uhde.eu

Дальнейшую информацию по данной тематике содержится в следующих буклетах:

- Технология производства карбамида
- Технология компании UFT по гранулированию карбамида в кипящем слое
- Технология производства азотной кислоты
- Технология производства азотных удобрений

6. Референции последних лет

Год пуска	Заказчик	Место	Мощность т/сутки	Объем работ
2010	Orascom Construction Industries для Sonatrach Orascom Fertilizer Co. (Sorfert),	Арзев, Алжир	2 x 2200	Проект, поставка оборудования
2010	Saudi Arabian Mining Co. подряд для Samsung Engineering Co. Ltd.	Рас-аз-Завр, Саудовская Аравия	3300	Проект, поставка оборудования
2010	Egyptian Agrium Nitrogen Products Co. SAE (EAgrium),	Дамиэтта, Египет	2 x 1200	«под ключ»
2008	Misr Oil Processing Co.	Дамиэтта, Египет	1200	«под ключ»
2008	ЗАО «КуйбышевАзот»	Тольятти, Россия	1800	Проект, увеличение мощности
2007	Duslo a. s.	Шала, Словакия	1300	Проект, увелич. мощн. на 300 т
2007	Helwan Fertilizer Co.	Хельван, Египет	1200	«под ключ»
2006	Egyptian Fertilizer Comp. (EFC II)	Айн-Сохна, Египет	1200	«под ключ»
2006	Alexandria Fertilizer Co. (AlexFert)	Александрия, Египет	1200	«под ключ»
2006	Saudi Arabian Fertilizer Co. (SAFCO IV)	Эль-Джубайль, Саудовская Аравия	3300	«под ключ»
2004	«Туркмендокунхимия» для Gap Insaat	Теджен, Туркменистан	600	Проект, поставка оборудования
2004	Qatar Fertilizer Company (QAFCO 4)	Месаид, Катар	2000	«под ключ»
2003	ASEAN Bintulu Fertilizer SDN BDH (ABF)	Бинтулу, Малайзия	1350	3-е увеличение мощности на 30 т
2000	Egyptian Fertilizer Co. (EFC).	Айн-Сохна, Египет	1200	«под ключ»
1999	Istanbul Gübre Sanayii A. S. (IGSAS)	Кёрфез, Турция	1200	Проект, поставка оборудов.,увелич. мощности на 50 т
1998	Abu Qir Fertilizer & Chemical Ind. Co. (AFC) (Abu Qir III),	Абу-Кир, Египет	1200	«под ключ»
1997	ASEAN Bintulu Fertilizer SDN BDH (ABF)	Бинтулу, Малайзия	1320	2-е увеличение мощности на 120 т
1997	Saskferco Products Inc.	Белл-Плейн, Канада	1800	Проект, увелич. мощн. на 300 т
1997	Sastech (Pty.) Ltd.	Сасолбург, ЮАР	830	Проект, увелич. мощн. на 100 т
1997	Qatar Fertilizer Company (QAFCO 3)	Месаид, Катар	1500	«под ключ»
1993	Sastech (Pty.) Ltd.	Сасолбург, ЮАР	730	«под ключ»
1992	Saskferco Products Inc.	Белл-Плейн, Канада	1500	«под ключ»
1991	BASF Antwerpen N. V.	Антверпен, Бельгия	1800	«под ключ»