

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СПРАВКА-ОТЧЕТ

о технологиях получения аммиака и карбамида
как альтернативе использования природного газа при санкционном давлении

1. Актуальность вопроса

Главным фактором потребления удобрений остается увеличение населения планеты.

Крупнейшие страны-импортеры удобрений:

- Бразилия (12,5% всего мирового импорта удобрений),
- Индия (10,4%), США (8,5%),
- Китай (4,2%),
- Франция (2,9%).

Основная масса азотных удобрений импортируется:

- Индией (11,7%),
- Бразилией (11,1%),
- США (7,93%),
- Францией (4,28%),
- Мексикой (2,49%) (Ист.: <https://www.fertilizer.org/>).

Ценообразование азотных удобрений обусловлено, в первую очередь, ценами **на природный газ**, расходы на который могут быть в диапазоне 70-90% при планировании затрат на производство аммиака.

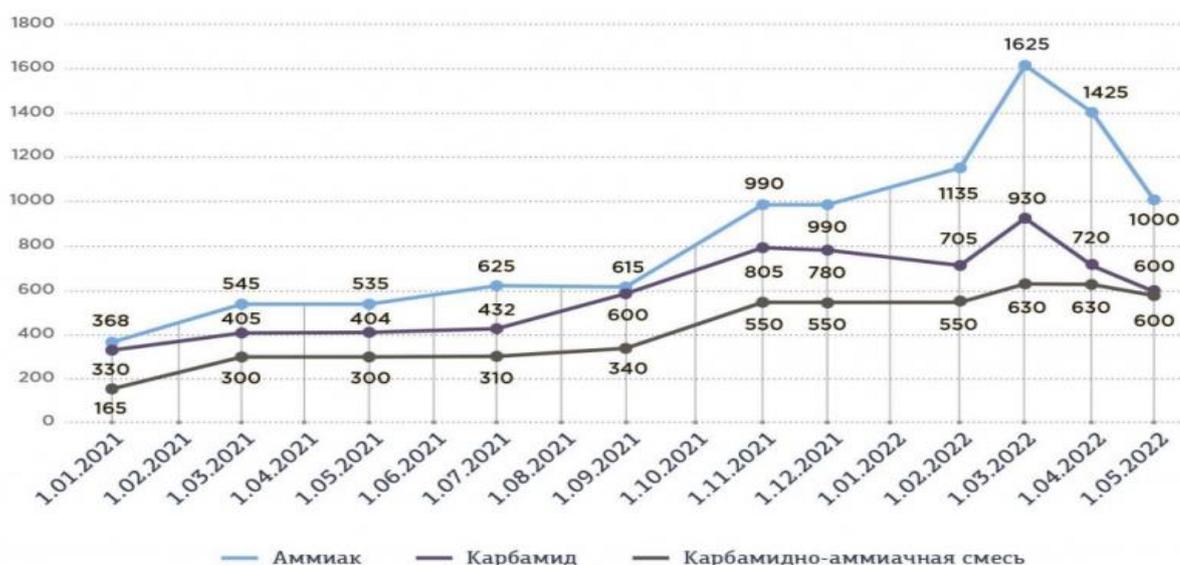


Рисунок 1.1 - Цены на азотные удобрения, долл. за тонну

Доля карбамида в структуре потребления азотных удобрений в мире продолжает возрастать. Сейчас она превышает 60–70 % всего мирового рынка азотных удобрений.

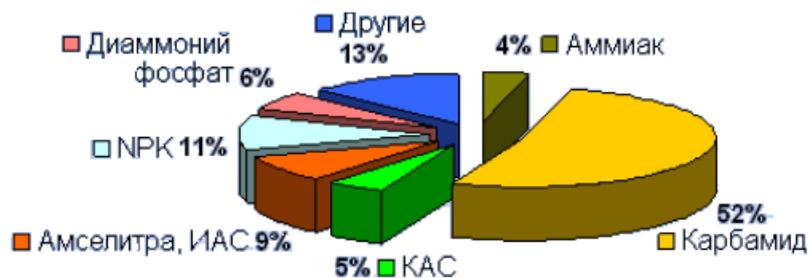


Рисунок 1.2 - Структура мирового рынка азотных удобрений

Большинство заявленных сегодня крупных инвестиционных проектов в аммиачной отрасли нацелены на производство **карбамида**, так как он является конечным продуктом аммиака (как правило полученный в основном из природного газа) уже на следующем переделе, причем как промышленного, так и конечного использования.

В этом плане аммиачную отрасль сравнивают с нефтегазовой промышленностью, которая на выходе получает продукты, минимально направляемые на дальнейшие переделы. Бизнес-модели у производителей аммиака и нефте-газо-переработчиков, соответственно, похожи: им свойственна высокая степень вертикальной интеграции вплоть до сбыта продукции через собственные розничные сети. Причем поставка конечного продукта – карбамида осуществляется также как по долгосрочным контрактам, так и в рамках разовых сделок.

Подсчитано, что при текущих ценах на конечную продукцию строительство **новых мощностей** пока нерентабельно.

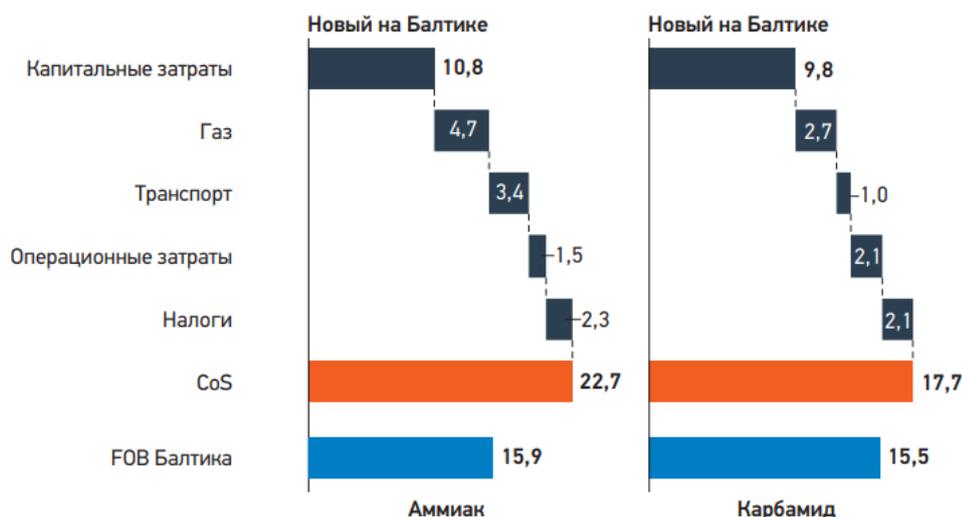


Рисунок 1.3 - Экономика новых заводов в России, тыс. руб./т

В краткосрочной перспективе рентабельны проекты строительства производств карбамида **на действующем производстве аммиака**, притом, что экономическая эффективность такого производства не зависит от расположения завода, поскольку затраты на транспорт аммиака и произведенного из него карбамида примерно равны.

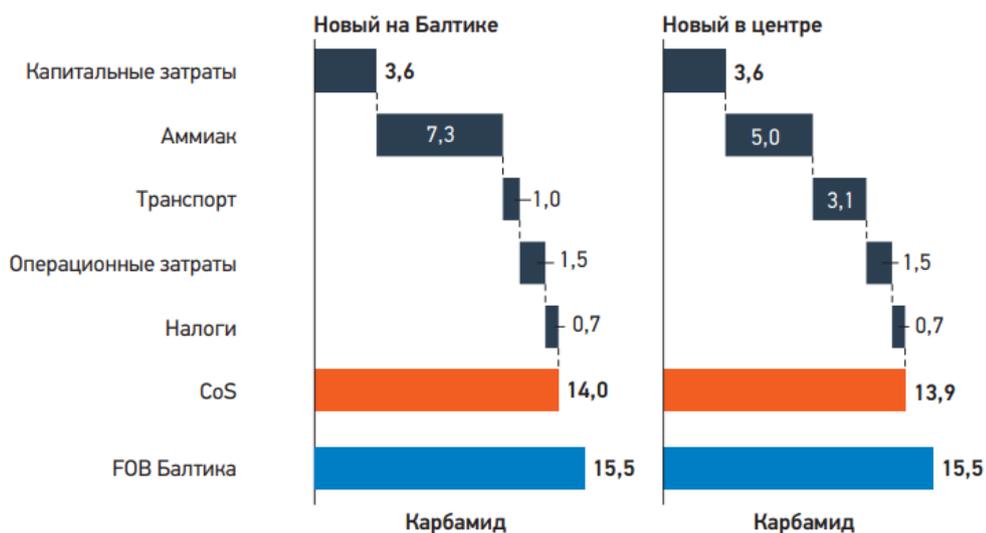


Рисунок 1.4 - Экономика новой установки карбамида на действующем производстве аммиака в России, тыс. руб./т

В связи с этим, считается, что приоритетом в мире при настоящих условиях является крупнотоннажное производство **голубого** аммиака (~4000-4500 т/сут) и карбамида (~6000-7000 т/сут) на одной технологической линии с оптимальным (низким) расходом природного газа и электроснабжением для «закрытия» потребления карбамида к 2030 году.

В России сегменты производства аммиака и его основных переделов ориентированы на экспорт. С учетом санкционных ограничений на экспорт природного газа, производство аммиака и карбамида должно компенсировать потери Газпрома на европейском газовом рынке.

Перспективным направлением для наращивания экспорта аммиака является Индия. Страна останется дефицитной по аммиаку в долгосрочной перспективе. Однако российскому аммиаку придется конкурировать с поставками из Ирана, Катара, Саудовской Аравии и Индонезии, транспортные издержки которых ниже. Рынки Северной и Латинской Америки также рассматриваются для российского аммиака, но из-за больших транспортных расходов требуют пересмотра использования дешевого сырья (природного газа), а также экспорта конечного продукта – карбамида и аммиачной селитры.

По показателю потребления российского карбамида и аммиачной селитры лидирует Бразилия. В Бразилии сельское хозяйство – одна из основных отраслей экономики, на которую приходится около четверти всего экспорта в торговом балансе. Кроме того, сама страна является крупным потребителем сельхозпродукции и отличается растущим населением. Собственные мощности по производству карбамида в Бразилии покрывают лишь четверть потребностей сельского хозяйства. В долгосрочной перспективе государство останется импортером удобрений.

В США, которые имеют достаточно большое внутреннее производство карбамида, продолжают ввозить крупные объемы карбамидо-аммиачной смеси из РФ.

2. Санкции и ограничения

Экспорт удобрений является одним из стратегических инструментов России в противодействии мировым санкциям. В связи с нарушением логистики, вызванной ограничениями поставок в основном из России и Китая, а также высоким спросом со стороны ЕС и США и ростом сырья (например, на природный газ), цены на удобрения взлетели на 80%, определив высокую прибыль производителей (смотрите рисунок 1.1). Со стороны России были введены квоты в качестве инструмента государственного регулирования удобрений и их цен. Введенные Россией квоты на экспорт удобрений обуславливают рост цен на продукты питания во всем мире.

Российские удобрения ЕС и США были внесены в перечень товаров первой необходимости, тем самым *исключая* удобрения из санкционного списка. Таким образом, как таковых **серьезных ограничений в отношении экспорта российских удобрений в настоящее время нет**, однако, сложности с поставками обуславливают вышеперечисленные *косвенные ограничения*: в том числе, отказ некоторых зарубежных логистических компаний заниматься перевозками аммиака и российских удобрений (например, CMA CGM, финский ж/д оператор VR Group).

Применение удобрений в конечном итоге направлено на обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. В соответствии с указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» обеспечение продовольственной безопасности осуществляется, в частности, за счет:

- достижения продовольственной независимости Российской Федерации;
- повышения плодородия почв, предотвращения истощения и сокращения площадей сельскохозяйственных земель и пахотных угодий.

Также необходимо отметить, что российские компании полностью обеспечены основным сырьем для производства всех видов удобрений, таким как природный газ, сера, апатитовый концентрат и хлористый калий.

Колоссальная проблема сложилась с вывозом аммиака. На настоящий момент в России нет ни одного терминала по перевалке аммиака и фактически вывоз аммиака, главного сырья для производства азотных удобрений, остановлен. Экспорт аммиака, направляемого по аммиакопроводу Тольятти – Одесса, отправной точкой которого служит завод Тольяттиазот, а конечной – Одесский припортовый завод, также приостановлен.

3. Виды аммиака и карбамида

Аммиак представляет собой пожаро-взрывоопасное нестойкое АХОВ 4 класса опасности. Аммиак получают, хранят и перевозится как правило в сжиженном состоянии под давлением, при выходе в атмосферу дымит. Поражающее действие в атмосфере и на поверхности объектов сохраняется в течение одного часа.

В основном, аммиак производят из природного газа (90%). Важнейшим показателем является его потребление на тонну продукции. Помимо цен на природный газ, энергопотребление также является одним из важнейших параметров, определяющих рентабельность производства аммиака.

В зависимости от источников и технологий производства принято различать три вида аммиака:

«Серый» — на основе преобразования природного газа без применения оборудования для улавливания и хранения CO₂ (CCUS);

«Голубой» — на основе преобразования природного газа с применением оборудования для улавливания и хранения CO₂ на всех или части стадиях процесса. Показатель потребления природного газа является одним из важнейших факторов, определяющих рентабельность производства аммиака.

«Зеленый» — на основе электролиза воды с использованием электроэнергии, генерируемой возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

Карбамид – это вид удобрений, являющийся наиболее концентрированным из азотных удобрений, содержание азота в нем составляет 46,3 %, помимо аммиака. В России выпускают карбамид двух марок – А и Б. Карбамид марки А предназначен для использования в промышленности в производстве пластмасс, смол, клеев. Карбамид марки Б используется в сельском хозяйстве в качестве минерального азотного удобрения и как кормовая добавка в животноводстве.

Карбамид представляет собой негорючее, невзрывоопасное твердое вещество, которое не оказывает негативного эффекта на человека и окружающую среду, поэтому стоимость его транспортировки ниже, чем аммиака. С другой стороны, из одинакового объема природного газа выход карбамида в 1,7 раза больше, а используемый для его получения углекислый газ обычно производится на том же заводе и не требует дополнительных транспортных издержек.

Карбамид упаковывают в клапанные бумажные и полимерные мешки по нормативно-технической документации. Навалом в железнодорожные вагоны типа «хоппер», минераловозы, а также в специализированные металлические контейнеры. Для розничной торговли продукт упаковывают в полиэтиленовые пакеты, массой не более 3 кг. Хранят в закрытых сухих складских помещениях.

4. Лицензиары

Синтез аммиака

--паровая конверсия природного газа (60%)

- **ГИАП** (Россия)

Технологии: **SMR AM, Tandem AM, Tandem AM B**

- **Haldor Topsoe** (Хальдор Топсе) (Дания)

Технологии: **SynCOR Plus, Haldor Topsoe A/S process (предриформинг)**

- **KBR** [Kellogg Brown & Root] (США)

Технологии: **Purifier, без первичного риформинга - КААР, КААР Plus, KRES**

- **Ammonia Casale** (Швейцария)

- Технологии:* **Casale SMR, MEGAMMONIA (20 МПа)**
- **Lurgi** (Германия)
- Технологии:* **MEGAMMONIA (по лицензии Casale)**
- **Thyssen krupp UHDE** (Нидерланды)
- Технология:* **Uhde**
- **Linde** (Германия)
- Технология:* **The Linde Ammonia Concept – LAC (уменьшение количества катализатора в два раза)**
- **ТЕС** [Toyo Engineering corp.] (**Япония**)
- Технология:* **КААР, КААР Plus, KRES (по лицензии KBR)**
- газификация (30%), разделение, электролиз (4%)**
- KBR: TRIG
 - ECUST: OMB CWS (Китай)
 - Lurgi: Sasol (Германия)
 - Shell: SCGP (США)
 - General Electric (США)
 - Uhde: Prenflo (Нидерланды)
 - E-Gas: ConocoPhillips
 - Linde (Германия)
 - Air Liquide: SMR-X (Франция)
 - FAST ENGINEERING Ltd (Россия)
 - ООО "Газохим Инжиниринг" (Россия)
 - НПО Центротех (Россия)

Получение карбамида

- **НИИК** (Россия)
- Технология:* **URECON TLR 1000, URECON Stripping 3000**
- **Urea Casale** (Швейцария)
- Технология:* **Casale (Контур с разделенными потоками)**
- **Thyssen krupp UHDE, Stamicarbon** (Нидерланды), **Tecnimont** (Италия)
- Технология:* **Stamicarbon URECON, Urea 2000plus, UFT (грануляции в кипящем слое)**
- **Saipem S. P. A.** (Италия)
- Технология:* **Snamprogetti (автостриппинг)**
- **ТЕС** [Toyo Engineering corp.] (Япония)
- Технология:* **ACES 21**

Компании, которые реализуют новые проекты по производству аммиака и карбамида:

- ГИАП (Россия)
- Mitsubishi Heavy Industries (MHI) (Япония)
- Sojitz Corp. (Япония)
- Toyo Engineering corp. (Япония)
- China National Chemical Engineering Co.» (Китай)
- HQC [Huanqiu Contracting & Engineering Corporation] (Китай)
- Hindustan Urvarak & Rasayan Limited (HURL) (Индия)
- Foster Wheeler Corp. (Великобритания)
- Tecnimont (Италия)
- Thyssen Krupp Uhde (Нидерланды)
- Saipem (Италия)

5. Российские компании по производству аммиака и карбамида

Основные промышленные производства по выпуску аммиака были созданы в СССР в виде крупнотоннажных энерготехнологических агрегатов проектной мощностью 1360–1420 т/сут.

С 1992 по 2015 год развитие производства аммиака в РФ шло по пути модернизации действующих агрегатов за счет внедрения усовершенствований на отдельных технологических стадиях и модернизации действующего оборудования. К числу таких усовершенствований следует отнести:

- переход на тонкостенные центробежно-литые трубы из сплава с добавкой ниобия;
- выделение водорода из продувочных газов синтеза аммиака с возвратом в технологический процесс;
- замену хемосорбента на стадии очистки конвертированного газа от CO₂ на новый растворитель (МДЭА) с более низким расходом энергии на регенерацию абсорбента и без образования коррозионно-активных смол;
- замена аксиальной насадки колонны синтеза аммиака на радиальную насадку с применением мелкозернистого катализатора синтеза аммиака;
- увеличение глубины утилизации тепла дымовых газов после трубчатой печи;
- использование на стадии трубчатой конверсии смешанного никелевого катализатора сложной формы;
- уменьшение соотношения пар: газ при осуществлении процесса трубчатой паровой конверсии;
- реконструкцию основного динамического оборудования;
- переход на распределенную систему управления агрегатов, что позволило сократить число внеплановых аварийных остановок агрегатов;
- переход на двухгодичный цикл капитальных ремонтов.

За счет реализации упомянутых выше и ряда других усовершенствований удалось повысить суточную производительность агрегатов примерно на 25% с одновременным снижением энергетических затрат (расход природного газа) на производство тонны аммиака.

В течение 2015–2018 годов в рамках следующего этапа развития производства аммиака в РФ были пущены два новых производства с суточной мощностью ~2000 т аммиака (ОАО «АКРОН» в Великом Новгороде и АО «Аммоний» в Новоменделеевске).

Разделение предприятий, производящих аммиак, по применяемой технологии

Технология	Проект	Предприятие
Производство аммиака из природного газа мощностью 1360÷2100 т в сутки в однолинейном агрегате на базе парового каталитического риформинга в прямоточной трубчатой печи и вторичного паро-воздушного риформинга с отделением очистки и подготовки синтез-газа, с синтезом аммиака под давлением 210÷300 ати по циркуляционной схеме	AM-70, AM-76	АО «Апатит» (г. Череповец); АО «Невинномысский Азот» (г. Невинномысск); АО «НАК «Азот» (г. Новомосковск); Филиал «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Кирово-Чепецке; Филиал «Азот» АО «ОХК «УРАЛХИМ» (г. Березники); АО «Минудобрения» (г. Россось); КАО «Азот» (г. Кемерово); ПАО «КуйбышевАзот» (г. Тольятти); АО «Тольяттиазот» (г. Тольятти); ООО «Газпром нефтехим Салават» (г. Салават)
	ТЕС	АО «Апатит» (г. Череповец); АО «Невинномысский Азот» (г. Невинномысск); АО «НАК «Азот» (г. Новомосковск); ПАО «АКРОН» (г. Великий Новгород); ПАО «Дорогобуж»; АО «Минудобрения» (г. Россось); Филиал «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Перми
Производство аммиака из природного газа мощностью 1240÷1360 т в сутки в однолинейном агрегате на базе парового каталитического риформинга в противоточной трубчатой печи и вторичного паро-воздушного риформинга с отделением очистки и подготовки синтез-газа, с синтезом аммиака под давлением 200÷276 ати по циркуляционной схеме	Chemico	АО «Тольяттиазот» (г. Тольятти)
Производство аммиака (в том числе совмещенное с производством метанола) из природного газа на базе парового каталитического риформинга и паро-воздушного риформинга с отделением очистки и подготовки синтез-газа, с синтезом аммиака под давлением 128,7÷190 ати по циркуляционной схеме	HTAS	АО «Аммоний» (г. Менделеевск) АО «Щекиноазот», (г. Щекино) АО «Апатит», (г. Череповец)
Производство аммиака из природного газа по технологии Linde Ammonia Concept (LAC®)	Linde	ООО «Линде Азот Тольятти» (г. Тольятти).
Производство аммиака из природного газа мощностью до 3000 т в сутки в однолинейном агрегате на базе технологии KBR (с применением технологии Purifier)	KBR	АО «Еврохим-Северо-Запад» (г. Кингисепп)
Первичный риформинг (для агрегатов AM-70, AM-76, ТЕС — прямоточная трубчатая печь (I технология), для агрегатов Chemico — противоточная террасная трубчатая печь типа Фостер-Уиллер) (II технология)		

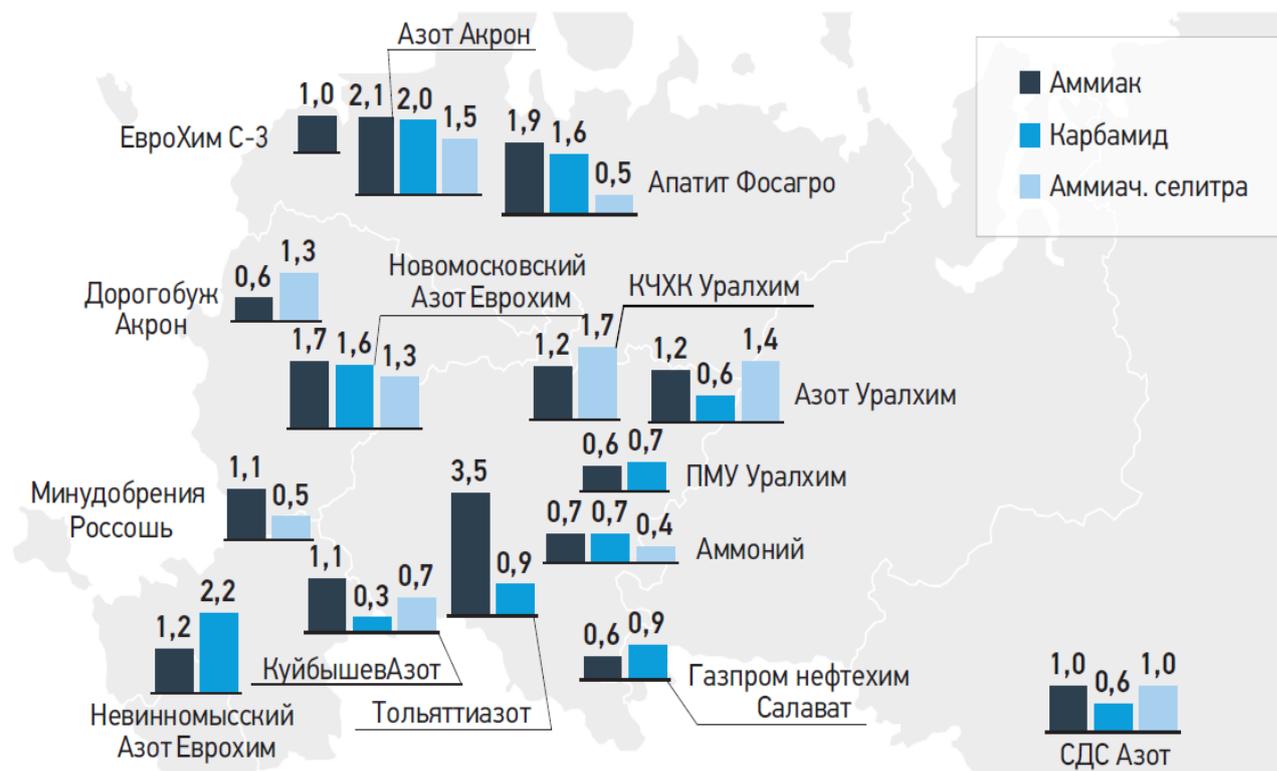


Рисунок 5.1 - Существующие производственные мощности в России

Мощности производства карбамида, тыс. т/год

Предприятие	Мощность производства
АО «Апатит» (Вологодская область)	891
«НАК Азот», АО	1453
«Невинномысский Азот», АО	980,7
«Акрон», ПАО	1134,3
Филиал «Азот» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Березники	544,95
Филиал «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Перми	660,6
«Азот», Кемеровское АО	560
«КуйбышевАзот», ПАО	380
«ТольяттиАзот», АО	960
«Газпром нефтехим Салават», ООО	360
«Аммоний», АО	735,5

В свою очередь, карбамид в России не считается продуктом преимущественно для сельскохозяйственной отрасли. В 2018 году отечественные сельхозпроизводители использовали порядка 500 тыс. т карбамида в качестве удобрения, что составляет менее 40% от всего потребления продукта на внутреннем рынке и кратно уступает спросу на аммиачную селитру. Данный факт обусловлен более высокой стоимостью карбамида в совокупности с чувствительностью спроса на удобрения, в том числе разных типов, к цене одной единицы этих удобрений. Хотя за последние пять лет потребление карбамида

в сельском хозяйстве на волне общего роста и высоких цен на сельхозпродукцию увеличилось в 2,5 раза, его доля все равно останется небольшой.

На сегодняшний день в российской аммиачной отрасли заявлено не менее девяти новых крупных проектов с карбамидом в качестве конечного продукта производства. Их суммарная мощность составляет 6 млн т аммиака и 10 млн т карбамида.

Заявленные новые проекты в России:

- ФосАгро: г. Череповец, комплекс аммиак/карбамид, 1 млн т/г аммиака
- Гродно Азот: строительство комплекса аммиак/карбамид
- КуйбышевАзот: г. Курск, комплекс аммиак/карбамид, 2200 т/с аммиака
- Аммоний-2: г. Менделеевск, производительность 1,2 млн т/г аммиака
- Кемерово Азот: комплекс аммиак-карбамид, 3,5 тыс. тонн аммиака в сутки с двух агрегатов
- НЗМУ: г. Находка, комплекс аммиак-карбамид, 1.8 млн т/г аммиака
- Обский ГХК: п-ов Ямал, две нитки по 1,2млн тонн «голубого» аммиака.
- ЩекиноАзот: комплекс аммиак/карбамид вторая очередь
- ЕфремовоАзот: комплекс по производству азотных удобрений, 3500 т/с аммиака

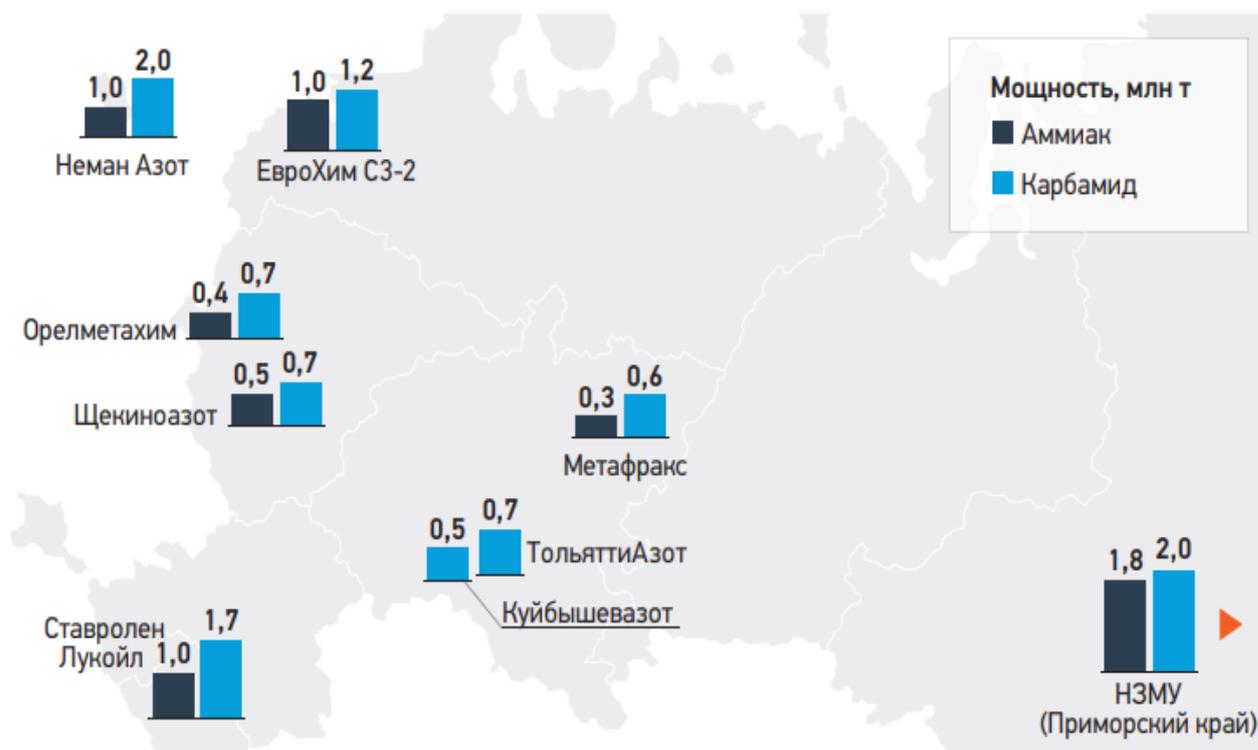
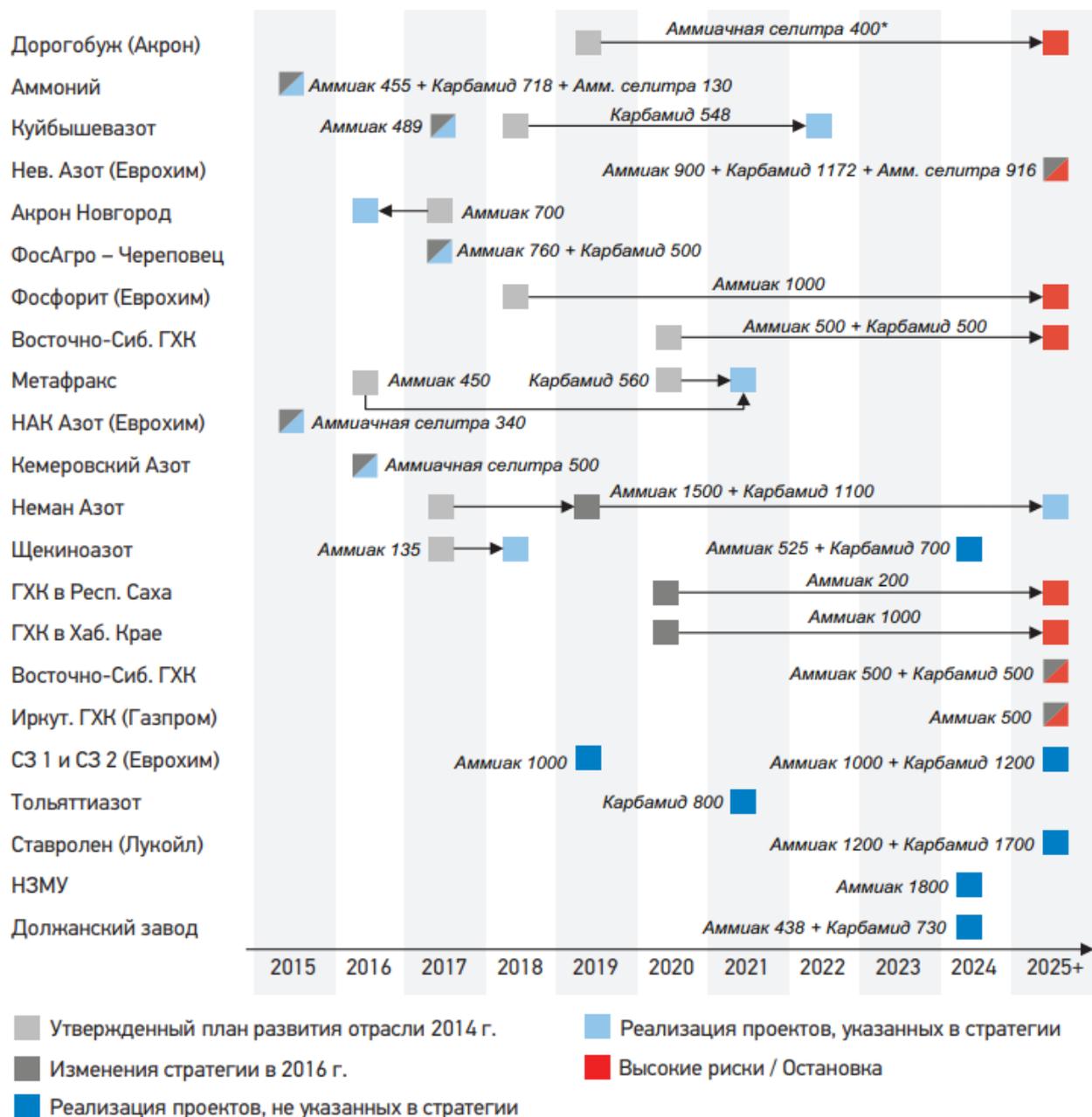


Рисунок 5.2 - Новые проекты в аммиачной газохимии в России

Данные новые проекты не стоит пока рассматривать как драйвер роста спроса на газ в России. Дополнительное газопотребление от всех указанных выше проектов не превысит 7 млрд м³, что составляет 1,5% от текущего спроса.



* Указан продукт и мощность производства в тыс. т/год

Рисунок 5.3 - Статус реализации новых проектов в аммиачной отрасли, тыс. руб./т

Наиболее значимые проекты

Лукойл

Компания рассматривает варианты монетизации значительных объемов расположенного на Каспии **собственного газа**. Так, в качестве одного из вариантов Лукойл планирует построить на Ставролене производство аммиака и карбамида объемом 1,2 и 1,7 млн т соответственно.

Проект будет ориентирован не только на экспорт, но и на внутреннее потребление в Ставропольском крае, где располагаются крупнейшие российские производители сельскохозяйственной продукции. Короткое транспортное плечо позволит компании повысить свою конкурентоспособность на рынке карбамида. Предварительное инвест соглашение между Ставропольским краем и Лукойлом было подписано в конце лета 2019 г.

Щекиноазот

Компания проектирует строительство завода по выпуску аммиака и карбамида мощностью соответственно 525 и 700 тыс. т на своей площадке в Тульской области. В марте 2019 г. был заключен контракт с **China National Chemical Engineering Co.** на проектирование, поставку оборудования и монтаж производственного комплекса. Для китайской компании это первый крупный проект в России. Завершение строительства запланировано на 2024 г. Щекиноазот вырабатывает стратегию выхода на рынок сельскохозяйственных удобрений, поскольку ранее компания была представлена преимущественно на рынках промышленной и бытовой химии. Стоимость проекта оценивается в 550 млн долл., с Газпромбанком согласованы условия финансирования.

Национальная химическая группа

Национальная химическая группа строит Находкинский завод минеральных удобрений (НЗМУ) в Приморском крае. Первый этап предполагает сооружение мощностей метанола на 1,8 млн т, второй этап – 1,8 млн т аммиака. В дальнейшем рассматривается возможность строительства следующего передела – установки по производству карбамида мощностью до 2 млн т. Продукция завода будет ориентирована в первую очередь на рынок АТР.

Проект т финансироваться на 80% за счет заемных средств и на 20% – из собственных средств компании. В сентябре 2019 г. в качестве лицензиара метанола была выбрана компания Haldor Topsoe. Поставки природного газа будут осуществляться Газпромом, с которым НЗМУ заключил контракт еще в 2015 г.

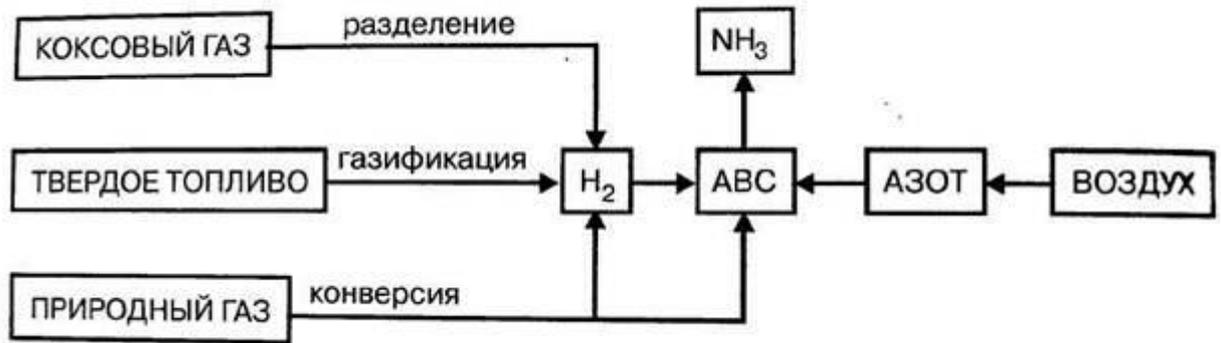
Лукойл, Щекиноазот, хотя и присутствуют давно на химическом рынке, пока не имеют активов в секторе минеральных удобрений. Кроме того, они так же, как и инициаторы проектов первой группы, будут развивать производство на существующих площадках в регионах с хорошей инфраструктурой, что, несомненно, позволит снизить объем необходимых инвестиций. При этом Ставролен (Лукойл) будет единственным вертикально интегрированным проектом. Газ для него будет поступать с газовых месторождений Каспия, где Лукойл ведет добычу. Суммарный объем мощностей этих трех проектов составит 1,8 млн т аммиака и 3 млн т карбамида.

Совершенно новый проект – НЗМУ, строиться на новой площадке. У него нет ни сбытовой сети, ни собственного дешевого газа для аммиака. В то же время все они расположен на российской границе с ориентацией на экспортные поставки. У НЗМУ заявлены достаточно амбициозные мощности производства, рассчитанные на большие рынки сбыта.

6. Технологии производства аммиака и карбамида

6.1 Технологии производства аммиака

Сырьем в производстве аммиака является азотоводородная смесь (ABC) состава $N_2:H_2 = 1:3$.



N₂ - азот получают ректификацией сжиженного атмосферного воздуха.

Ресурсы атмосферного азота практически неисчерпаемы, поэтому производство аммиака определяется в основном способом производства водорода.

H₂ – водород получают по одной из следующей промышленной технологии:

- паровая конверсия природного газа;
- газификация твердого топлива;
- электролиз либо термическим разложением воды.
- разделение обратного коксового газа.

Причем на долю технологии паровой конверсия водорода из природного газа приходится 66% всего получения аммиака.

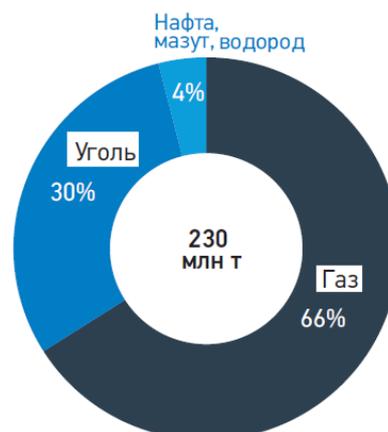
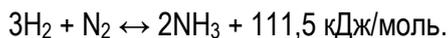


Рисунок 6.1 – Структура мировой аммиачных мощностей по типу сырья, %

ABC (1) очищают от кислорода, водяных паров, пыли и других веществ. После этого она поступает в турбокомпрессор (2) для создания необходимого давления.

Сжатая смесь попадает в колонну синтеза (3) для последующей подготовки. Её нагревают до оптимальной температуры в трубах теплообменника.

В колонне синтеза (3) аммиака на катализаторе (промотированное железо) при температурах $390 \div 530 \text{ }^{\circ}\text{C}$ протекает экзотермическая реакция образования аммиака из АВС:



Циркуляционный газ после колонны синтеза в зависимости от применяемой технологии выходит с температурой до $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и содержанием аммиака до 19,9 %.

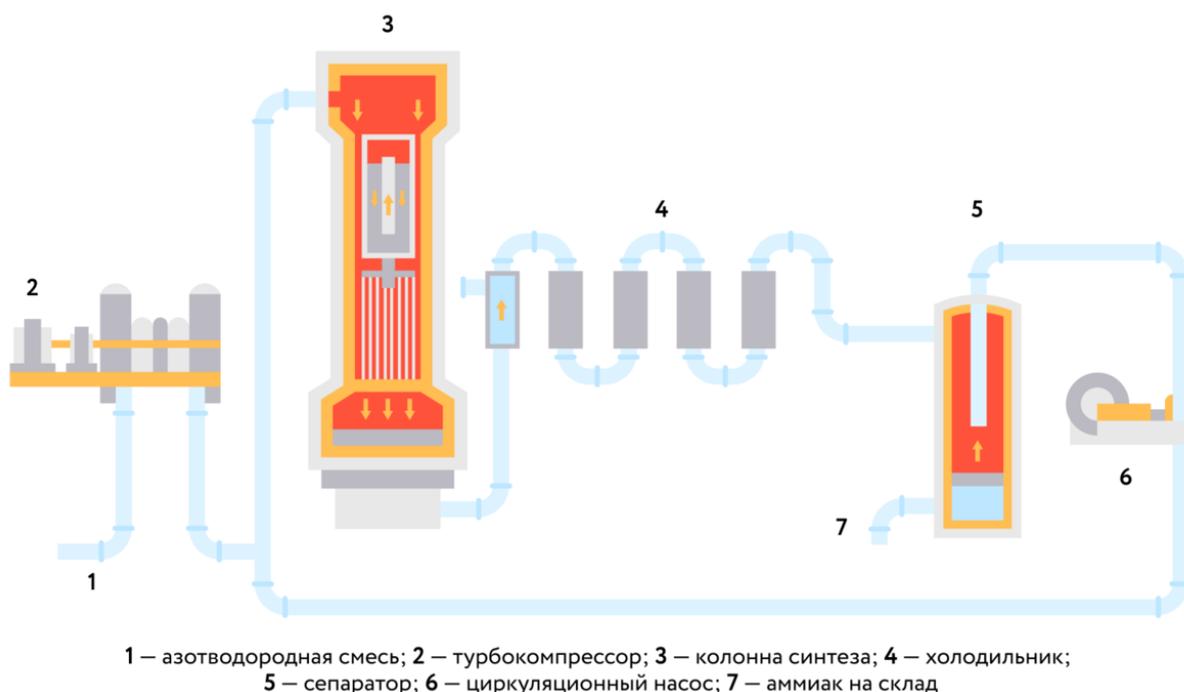


Рисунок 6.2 – Традиционная схема получения аммиака из природного газа

Тепло реакции синтеза аммиака используется для нагрева питательной воды, подаваемой в котел-утилизатор для получения пара высокого давления.

Газовая смесь, состоящая из непрореагировавших веществ и продукта реакции (азот, водород, аммиак) после контакта с катализатором предварительно охлаждается в теплообменнике, отдавая теплоту входящим газам, а затем поступает в холодильник (4). Охлаждение, которое производят водой, движущейся противотоком, приводит к конденсации полученного аммиака. Конденсация аммиака производится в две ступени. При этом охлаждение газа проводят водой, воздухом, испаряющимся аммиаком. Сконденсировавшийся аммиак отделяется в сепараторе (5) от непрореагировавших газов, которые циркуляционный компрессор (6) возвращает в колонну синтеза. Жидкий аммиак отправляют на склад (7). Часть циркуляционного газа после первичного сепаратора постоянно выводится из системы, обеспечивая содержание инертных в газе на входе в колонну синтеза не более 11 об. %.

Обеспечение аммиачным холодом агрегатов производится аммиачными компрессорными или абсорбционными холодильными установками. Производственный аммиак может выдаваться потребителям как в жидком, так и в газообразном виде.

[Описание технологий основных лицензиаров смотрите в приложении А.](#)

Метод повышения производительности установки риформинга без увеличения ее размеров заключается в использовании установки предриформинга.

Предриформинг позволяет снизить соотношение пар/газ, улучшить показатели сероочистки, достичь экономии топлива на 5-10% и повысить мощность собственно риформинга на 15-25%. Ниже приведен пример схемы предриформинга. Использование предриформинга предлагает в частности Haldor Topsoe. В целом агрегат синтеза аммиака IV-го поколения (Low Energy Process), разработанный данной компанией, представляет собой традиционную схему синтеза с оптимизированными стадиями.

Для оптимизации процесса предлагаются следующие положения:

- соотношение пар/газ=2.8 за счет использования предриформинга и спец. катализатора СТК,
- высокая температура в первичном риформинге за счет использования жаропрочных труб,
- остаточный СОх после очистки от СО₂ удаляется синтезом метанола.

Второй процесс повышения производительности установки риформинга, разработанный ICI (LCA Process), предполагает использование первичного риформинга с газовым обогревом.

Основные особенности процесса:

- первичный риформинг без огневого подогрева,
- большой избыток воздуха во вторичном риформинге,
- соотношение пар:газ=2.5,
- конверсия СО в одну стадию,
- выделение N₂, Ar, СО₂ методом КЦА,
- давление синтеза – 80 атм.

Особенности технологии синтеза аммиака Linde (LAC):

- водород получают паровой конверсией при 850°С, одноступенчатой конверсией СО и КЦА,
- азот получают криогенным разделением воздуха,
- нет продувочных газов,
- общее количество катализатора снижено в 2 раза.

В агрегатах производства аммиака 4-го поколения **Broun&Root Purifier process** основная идея – использование во вторичном риформинге расхода воздуха на 50% выше стехиометрического с выделением избыточного азота криогенным разделением перед компрессором синтез-газа. Особенности данного процесса можно кратко представить следующим образом:

- метан и аргон выделяются криогенно. Синтез-газ содержит только 0,25% инерта (Ar),
- существенно снижена температура в первичном риформинге,
- соотношение пар/газ меньше 3,
- дополнительный воздух дает дополнительное тепло,
- остаточное содержание метана – 1.5%,
- концентрация СО после НТК – 2.35%.

Особенности процесса **КААР/KRES** фирмы **Kellog Brown & Root**:

- отсутствие первичного риформинга,
- давление синтеза – около 90атм,
- катализатор синтеза – Ru/C,
- одноступенчатый компрессор синтез-газа,
- отделение H₂ и N₂ из продувочных газов,
- потребление энергии 6.5-6.7 Гкал/т NH₃.

Особенности процесса **Megammonia** компании **LURGI**, мощностью 4000 тонн в сутки:

- нет первичного риформинга,
- автотермичный риформинг на кислороде при 60 атм.,
- нет НТК,
- азот после разделения воздуха,
- криогенное выделение CO₂, рециркуляция CH₄, CO и Ar,
- синтез при 200 атм.

6.2 Технологии производства карбамида

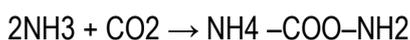
6.2.1 Синтез карбамида (получение плава)

Для получения карбамида в промышленности во всем мире используют единственный способ: *синтез из аммиака и диоксида углерода, при высоком давлении и температуре.*

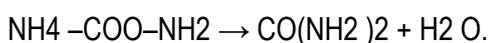
Синтез карбамида из аммиака и двуокиси углерода протекает по суммарной реакции



и состоит из стадии образования карбамата аммония:



и дегидратации карбамата аммония:



Основной вид сырья: **жидкий аммиак** с массовой долей 99,6 %, который должен поступать из производства аммиака, в котором как правило хранится в изотермическом хранилище при атмосферном давлении и температуре минус 34 °С, что позволяет обеспечить минимально возможное содержание растворенных газов в жидком аммиаке.

Второй компонент: **диоксид углерода**, являющийся побочным продуктом производства **аммиака**, который выделяют из конвертированного газа методами абсорбции водными растворами органических или неорганических оснований.

Реакция синтеза карбамида идет при повышенном давлении и температуре для сжатия компонентов сырья до давления синтеза, а затем для отделения и возврата непрореагировавших реагентов необходима электроэнергия и тепло греющего водяного пара. Для охлаждения и конденсации

непрореагировавших компонентов, а также водяных паров на стадиях выпаривания необходима охлаждающая вода.

Главные стадии производства высококонцентрированного раствора (плава):

- синтез;
- дистилляция (с вариантами проведения с разным количеством ступеней и различных диапазонах давления);
- конденсация и возврат непрореагировавшего сырья на стадию синтеза;
- выпаривание воды из раствора карбамида.

В технологиях разных разработчиков могут существенно отличаться параметры технологического режима и конструкции используемого оборудования

Условно технологии получения концентрированного раствора (плава) карбамида можно разделить на:

- технологии с полным жидкостным рециклом (Stamicarbon AK-70, URECON®2006, TEC, Tecnimont);
- технологии со стриппинг-процессом (Stamicarbon AK-80, Snamprogetti).

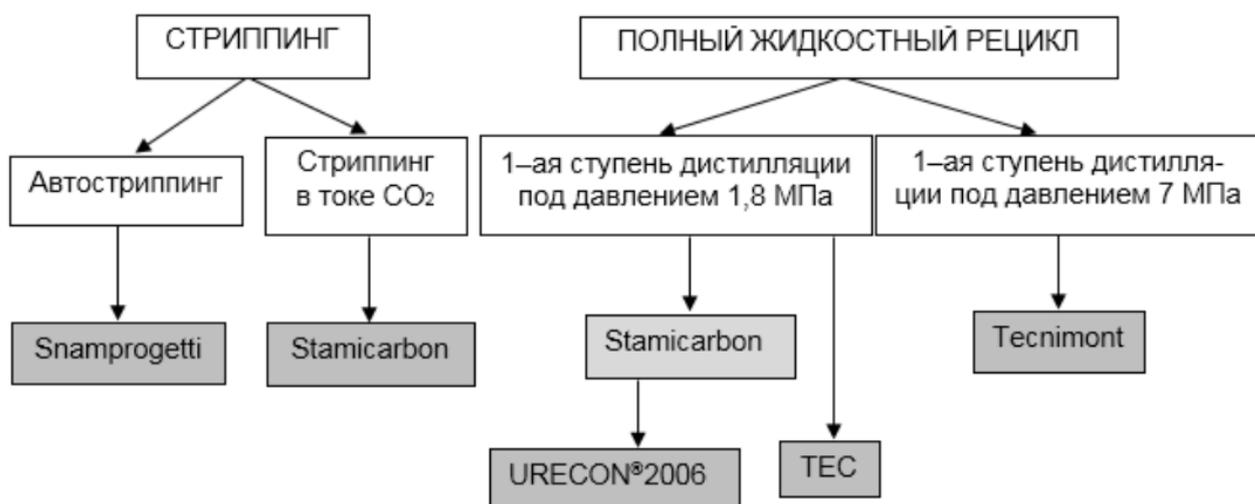


Рисунок 6.2 – Технологии получения плава карбамида и основные лицензиары

[Описание технологий основных лицензиаров смотрите в приложении Б.](#)

При современных технологиях получения карбамида отходы не образуются.

Вода, получаемая по уравнению реакции, после установки двухступенчатой десорбции аммиака и гидролиза, может использоваться на водоподготовке вместо речной воды или для подпитки водооборотного цикла (ВОЦ).

В производстве карбамида ключевым (маркерным) загрязняющим веществом является аммиак. Эмиссии в окружающую среду из производства карбамида (при условии применения установки очистки сточных вод), могут быть только в виде газовых выбросов, причем наибольшее воздействие на

окружающую среду оказывают выбросы из узлов приллирования и грануляции, а основным загрязняющим веществом является аммиак.

Стриппинг-процесс в токе CO₂ и технологии полного жидкостного рецикла с применением энергосберегающих решений ТЭС имеют **самые низкие** показатели по расходованию энергетических средств **5,6 и 6,7 ГДж/т** и расходу сырья (аммиака) **571,5 и 576 кг/т**.

6.2.2 Получение товарного карбамида (гранулирование плава карбамида)

Товарный карбамид выпускается в виде прилл или гранул.

Технологии получения твердых форм готового продукта можно разделить на:

- башни приллирования;
- грануляцию в кипящем слое.

Описание технологий смотрите в приложении В.

Одной из перспективных технологий получения твердых форм готового продукта является технология грануляции в скоростном барабанном грануляторе (СБГ), которая может быть использована для кондиционирования приллированного продукта — так называемой «докатки» приллированного карбамида.

В случае применения данной технологии достигается необходимый результат без проведения значительной реконструкции башни приллирования, а самое главное — без длительной ее остановки на ремонт, а значит — без потери выработки по карбамиду.

Основные преимущества установки СБГ:

- компактность;
- отсутствие трудностей в размещении на территории действующих цехов;
- отсутствие больших объемов воздуха;
- отсутствие постоянной подачи пара на технологические нужды;
- низкие энерго- и эксплуатационные затраты;
- возможность работы и регулирования в широком диапазоне мощностей.

6.3 Способ совместного получения аммиака и карбамида

6.3.1 Способ совместного получения аммиака и мочевины

Патентообладатель: ХАЛЬДОР ТОПСЕЭ А/С (ДК)

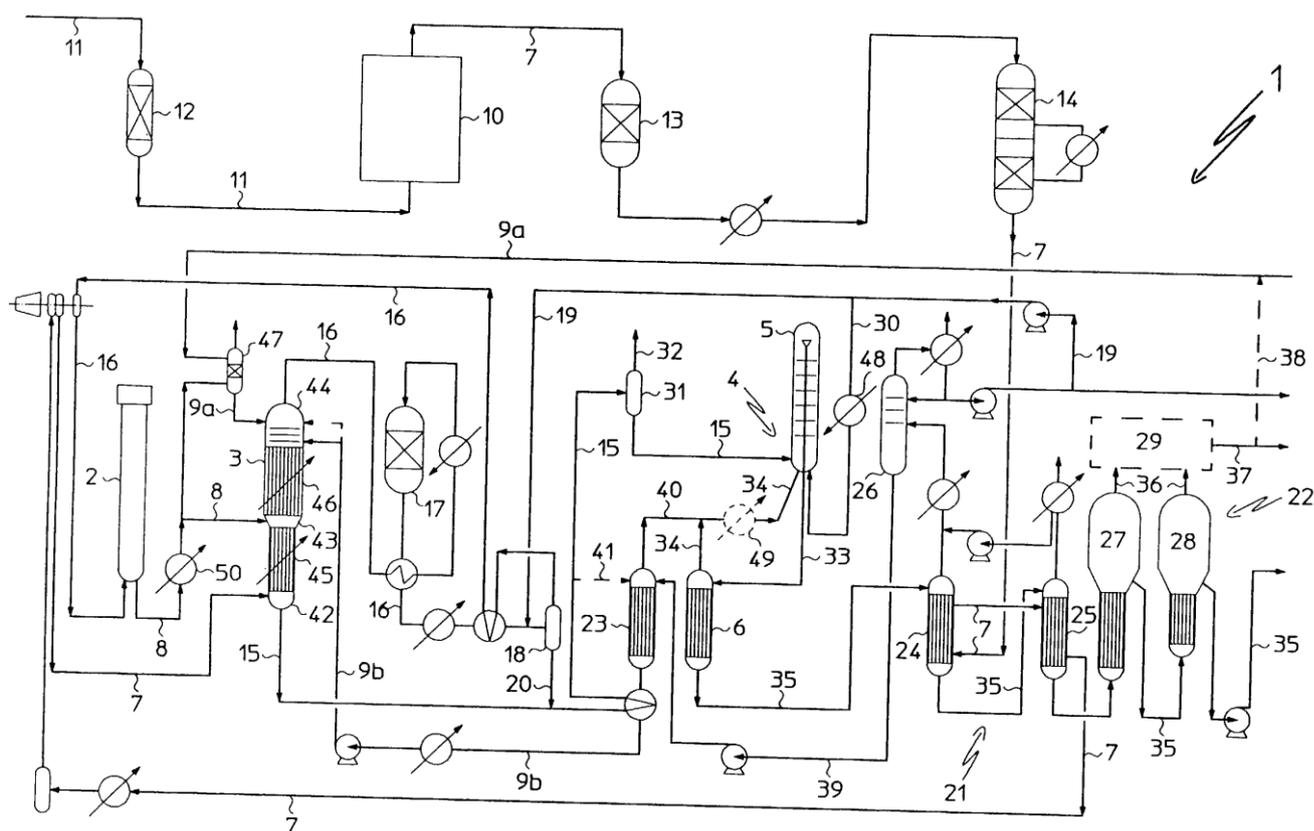
Патент № RU 2 283 832

6.3.2 Способ совместного производства аммиака и мочевины, установка для осуществления способа, способ модернизации установок синтеза аммиака и синтеза мочевины

Патентообладатель: Уриа Казале С.А. (CH) UREA CASALE SA

Патент № RU 2 196 767

Способ совместного производства аммиака и мочевины осуществляют по технологической схеме, включающей реактор синтеза аммиака, секцию синтеза карбамата, реактор синтеза мочевины, а также секцию регенерации мочевины. Часть потока, содержащего карбамат в водном растворе и поступающего из секции регенерации мочевины, подвергают обработке с частичным разложением карбамата для получения потока, включающего аммиак и диоксид углерода в паровой фазе, и потока, включающего разбавленный карбамат в водном растворе. Полученный разбавленный карбамат вместе с газовым потоком, включающим водород, азот и диоксид углерода, предпочтительно полученный на стадии риформинга углеводородов, объединяют с потоком аммиака, поступающего из реактора синтеза аммиака. Смесь направляют в секцию синтеза карбамата, где из аммиака и диоксида углерода получают поток, включающий карбамат в водном растворе, и газовый поток, включающий водород и азот. Поток, включающий карбамат в водном растворе, затем направляют в реактор синтеза мочевины, в то время как газовый поток, включающий водород и азот, направляют в реактор синтеза аммиака. Установка для осуществления способа основана на объединении в едином технологическом цикле реакторов синтеза аммиака, который связан с секцией риформинга, с реакторами синтеза карбамата и синтеза мочевины, а также с секциями регенерации и концентрирования мочевины. Модернизация единичных установок синтеза аммиака и синтеза мочевины предполагает создание технологического цикла, указанного выше. Технический результат - снижение капиталовложений, энергетических и материальных затрат

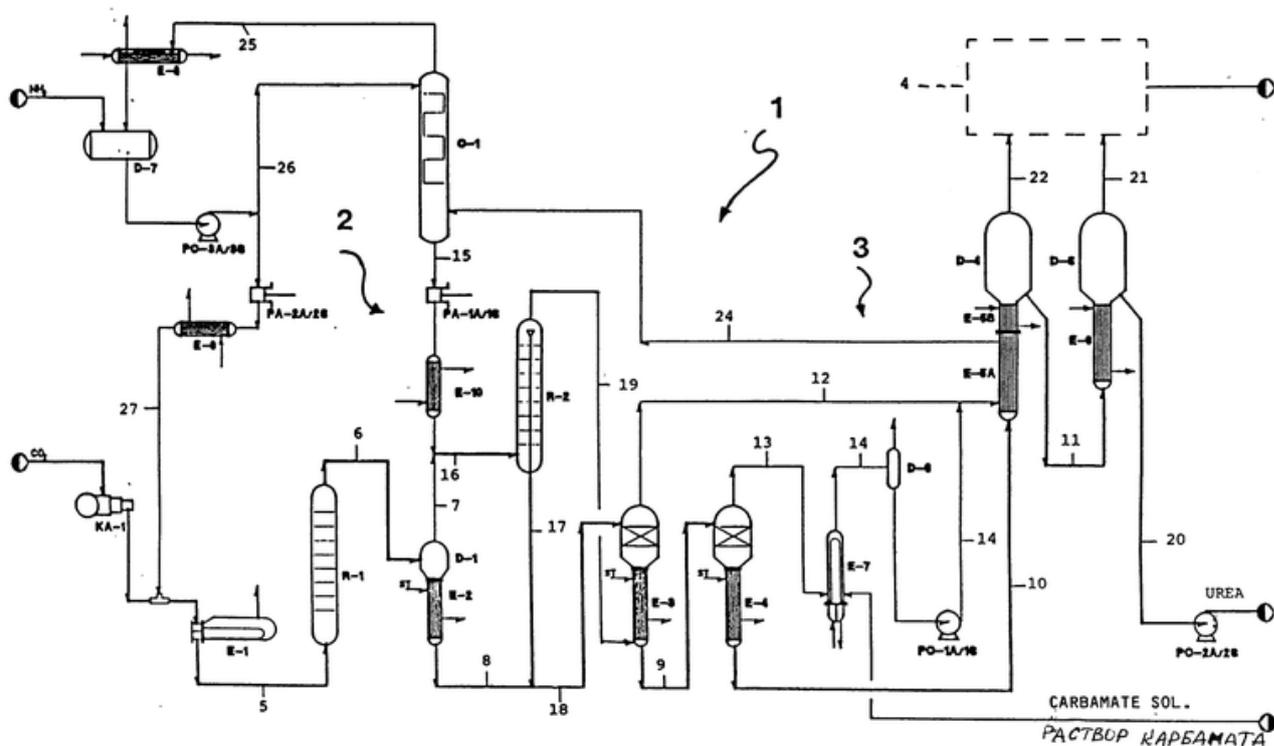


6.3.3 Способ получения мочевины и установка для производства мочевины

Патентообладатель: Уриа Казале С.А. (CH) UREA CASALE SA

Патент № RU 2 127 257

Мочевину получают в двух последовательных реакционных зонах с предварительным реактором. Аммиак и двуокись углерода вступают в реакцию в первой реакционной зоне, оборудованной предварительным реактором. При этом непрореагировавший карбамат, присутствующий в реакционной смеси, подвергают термическому разложению для получения аммиака и двуоксида углерода, которые направляют во вторую реакционную зону, где они вступают в реакцию с раствором рециркулируемого карбамата, выходящего из секции регенерации мочевины. Температуру и молярное отношение аммиак:двуокись углерода во второй реакционной зоне поддерживают регулированием температуры раствора рециркулируемого карбамата и температуры термического разложения остаточного карбамата, поступающего из первой реакционной зоны. Процесс в первой реакционной зоне ведут с частичным удалением тепла под давлением 210-280 бар и температуре не выше 210°C. Установка включает устройство для термического разложения карбамата, соединенное с секцией для регенерации мочевины, аммиака и карбамата, а также трубопроводы для рециркуляции регенерированного карбамата во второй реактор. При этом установка дополнительно содержит средство для регулирования температуры рециркулируемого карбамата, расположенное по крайней мере на одном трубопроводе для рециркуляции карбамата. Причем указанное средство содержит трубчатый теплообменник. Усовершенствование технологии приводит к снижению эксплуатационных и энергетических затрат и увеличению выхода конечного продукта.

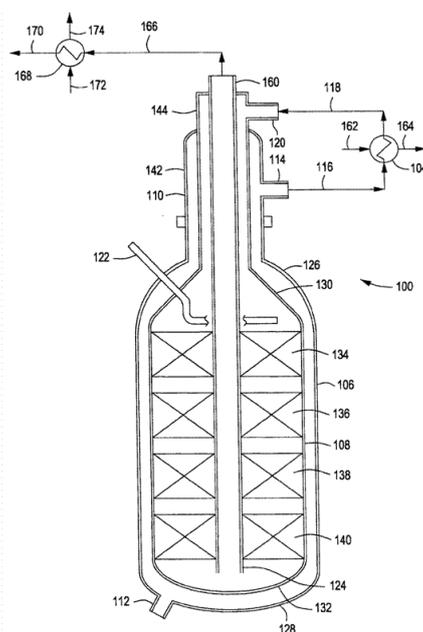


6.3.4 Система для получения аммиака (варианты), способ получения аммиака и способ модернизации системы для получения аммиака

Патентообладатель: Келлогг Браун Энд Рут, Инк. (Kellogg Brown & Root)

Патент № RU 2 469 953

Изобретение может быть использовано в химической промышленности для получения аммиака. Конвертор аммиака может включать первую оболочку (108) с размещенными в ней двумя или более отдельными слоями катализатора (134, 136, 138, 140), вторую оболочку (106), расположенную вокруг первой оболочки. Первый теплообменник (168), размещен снаружи первой оболочки (108) и находится с ней в сообщении по текучей среде (166) через проточный канал (124), размещенный внутри первой оболочки (108). Второй теплообменник (104) размещен снаружи второй оболочки (106) и находится с ней в сообщении по текучей среде (116). Предложенное изобретение позволяет повысить эффективность получения аммиака.



ФИГ. 1

Настоящие варианты осуществления в основном относятся к синтезу аммиака. Более конкретно, варианты осуществления настоящего изобретения относятся к извлечению тепла из потока, выходящего из конвертора для синтеза аммиака, для получения из него водяного пара.

Аммиак обычно получают из синтез-газа реакцией водорода и азота в присутствии катализатора в устройстве, которое обычно называют как конвертор аммиака. Идеальный синтез-газ для синтеза аммиака будет иметь молярное отношение 3 молей водорода к 1 молю азота. Конверсия синтез-газа дает насыщенный аммиаком выходной поток, который содержит аммиак и непрореагировавшие водород и азот.

Движущей силой синтеза аммиака является экзотермическая каталитическая реакция, при которой выделяется теплота. Температура аммиачного выходного потока типично варьирует от около 315°C до около 340°C, что пригодно для предварительного нагревания питательной воды для котла, но не для

производства полноценного водяного пара. Как таковые, традиционные установки для получения аммиака по своей природе в энергетическом отношении являются непродуктивными.

Поэтому существует потребность в более эффективных системах и способах для утилизации теплоты, генерируемой в синтезе аммиака.

Согласно первому объекту настоящего изобретения создана система для получения аммиака, содержащая: конвертор, включающий: первую оболочку, имеющую два или более отдельных слоев катализатора, размещенных в ней; вторую оболочку, расположенную вокруг первой оболочки; и проточный канал, размещенный внутри первой оболочки, причем два или более отдельных слоев катализатора внутри первой оболочки размещены вокруг проточного канала; первый теплообменник, расположенный снаружи конвертора и находящийся в сообщении по текучей среде с первой оболочкой; и второй теплообменник, расположенный снаружи конвертора и находящийся в сообщении по текучей среде со второй оболочкой.

Предпочтительно, первая и вторая оболочки являются концентрическими относительно друг друга.

Предпочтительно, первая оболочка, вторая оболочка и проточный канал являются концентрическими относительно друг друга.

Предпочтительно, каждая из первой оболочки и второй оболочки включает первую секцию и вторую секцию, причем первая секция имеет большее поперечное сечение, чем поперечное сечение второй секции.

Согласно второму объекту настоящего изобретения создана система для получения аммиака, содержащая: первый вмещающий объем, расположенный внутри второго вмещающего объема; два или более отдельных слоев катализатора, расположенных внутри первого вмещающего объема; проточный канал, по меньшей мере частично расположенный внутри первого вмещающего объема, причем проточный канал и первый вмещающий объем образуют кольцевой зазор между собой; первый теплообменник, расположенный снаружи первого и второго вмещающих объемов; второй теплообменник, расположенный снаружи первого и второго вмещающих объемов, причем проточный канал находится в сообщении по текучей среде с первым вмещающим объемом на первом своем конце и в сообщении по текучей среде с первым теплообменником на втором своем конце, и второй теплообменник находится в сообщении по текучей среде со вторым вмещающим объемом.

Предпочтительно, первый вмещающий объем и второй вмещающий объем являются концентрическими относительно друг друга.

Предпочтительно, первый вмещающий объем, второй вмещающий объем и проточный канал являются концентрическими относительно друг друга.

Предпочтительно, каждый из первого вмещающего объема и второго вмещающего объема содержит первую секцию и вторую секцию, причем первая секция имеет большее поперечное сечение, чем поперечное сечение второй секции.

Согласно третьему объекту настоящего изобретения создан способ получения аммиака, содержащий этапы, на которых: распределяют подаваемый газ, содержащий азот и водород, в конвертор аммиака, причем конвертор содержит: первую оболочку, имеющую два или более отдельных слоев катализатора, размещенных в ней; вторую оболочку, расположенную вокруг первой оболочки; первый теплообменник, расположенный снаружи первой оболочки и находящийся в сообщении по текучей среде с ней; второй теплообменник, расположенный снаружи второй оболочки и находящийся в сообщении по текучей среде с ней; и проточный канал, расположенный внутри первой оболочки, причем два или более отдельных слоев катализатора внутри первой оболочки размещены вокруг проточного канала, причем первую часть подаваемого газа вводят в первую оболочку, и вторую часть подаваемого газа вводят во вторую оболочку; обеспечивают реакцию первой части подаваемого газа в присутствии катализатора для получения аммиачного выходного потока; обеспечивают передачу по меньшей мере части теплоты реакции из аммиачного выходного потока для получения пара внутри первого теплообменника; обеспечивают передачу по меньшей мере части теплоты реакции от аммиачного выходного потока второй части подаваемого газа внутри второго теплообменника; вводят нагретую вторую часть подаваемого газа в первую оболочку; и обеспечивают реакцию нагретой второй части подаваемого газа в присутствии катализатора.

Предпочтительно, пар имеет давление от около 10300 кПа до около 12500 кПа.

Предпочтительно, аммиачный выходной поток имеет температуру от около 440°C до около 465°C.

Предпочтительно, аммиачный выходной поток имеет давление от около 13500 кПа до около 19000 кПа.

Предпочтительно, аммиачный выходной поток охлаждают во втором теплообменнике до температуры от около 335°C до около 385°C.

Предпочтительно, первая часть составляет от около 40 объемных процентов до около 52 объемных процентов подаваемого газа.

Предпочтительно, вторая часть внутри второй оболочки имеет температуру от около 120°C до около 160°C.

Предпочтительно, катализатор включает магнетит, один или более металлов платиновой группы, их производные или комбинации.

Предпочтительно, от около 45 объемных процентов до около 55 объемных процентов аммиачного выходного потока используют для нагревания второй части подаваемого газа.

Согласно четвертому объекту настоящего изобретения создан способ модернизации системы для получения аммиака, причем система включает конвертор аммиака, имеющий внутреннее обменное устройство для нагревания аммиачного подаваемого газа, обменное устройство для передачи теплоты от аммиачного продукта потоку технологических отходов, причем способ содержит этапы, на которых: удаляют внутреннее обменное устройство из конвертора; обеспечивают колпак, внутри которого размещен теплообменник; соединяют внутреннюю оболочку колпака с внутренней оболочкой конвертора аммиака;

соединяют наружную оболочку колпака с наружной оболочкой конвертора аммиака; обеспечивают проточный канал наружу колпака; передают теплоту от аммиачного продукта для получения пара высокого давления внутри первого теплообменника, размещенного снаружи конвертора; передают теплоту от аммиачного продукта аммиачному подаваемому газу внутри второго теплообменника, размещенного снаружи конвертора; и возвращают нагретый аммиачный подаваемый газ в конвертор.

Предпочтительно, пар высокого давления имеет давление от около 10300 кПа до около 12500 кПа.

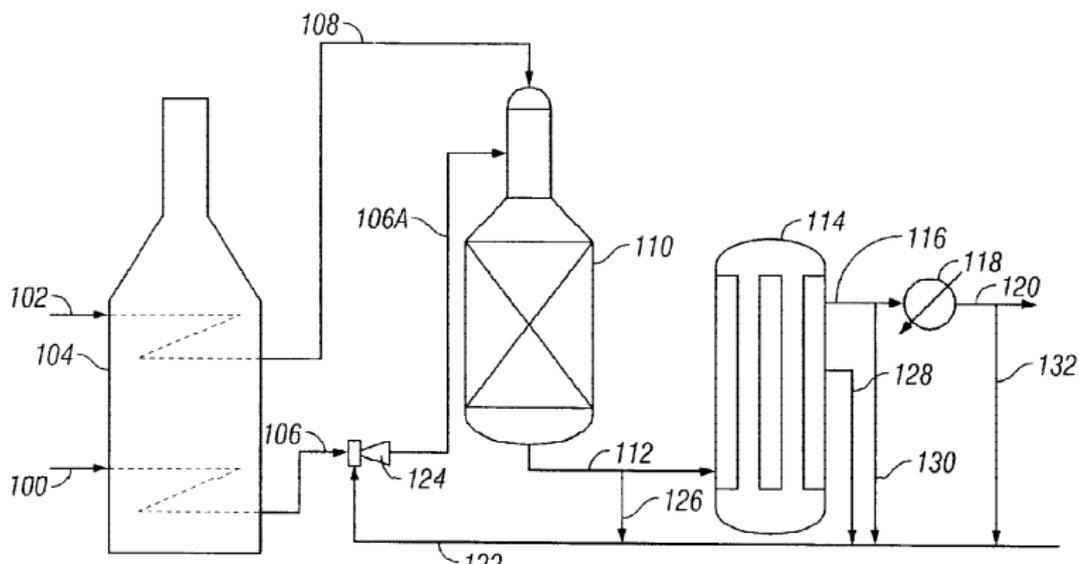
Предпочтительно, аммиачный продукт имеет температуру от около 440°C до около 465°C.

6.3.5 Способ парового риформинга и устройство для его осуществления

Патентообладатель: Келлогг Браун Энд Рут, Инк. (Kellogg Brown & Root)

Патент № RU 2 325 3193

Изобретение относится к двум способам риформинга (варианты), содержащим газ-окислитель, при температуре 980-1000°C. Описана рециркуляция части выходящего потока из автотермического реформера в подаваемый поток пар-углеводород с эжектором термокомпрессора с использованием предварительно нагретой подаваемой смеси как движущей текучей среды. Молярные соотношения рециркулирующего синтетического газа и движущей текучей среды составляют 0,2-1,0, что выбрано для оптимизации общей конфигурации. Посредством рециркуляции вводится водород и пар в подачу и повышается температура подачи для того, чтобы провести процесс в реформере в режиме, в котором не происходит образования сажи. При этом имеет место некоторый перепад давления между исходной подаваемой смесью пар-природный газ и подачей в реформер, в связи с чем требуется, чтобы исходная подаваемая смесь поступала под более высоким давлением, но это компенсируется более низким перепадом давления в нагревателе процесса и другом оборудовании выше и ниже по потоку из-за более низкого количества пара. Также изобретение относится к двум устройствам для парового риформинга и способу запуска устройства.



7. Производство аммиака сегодня

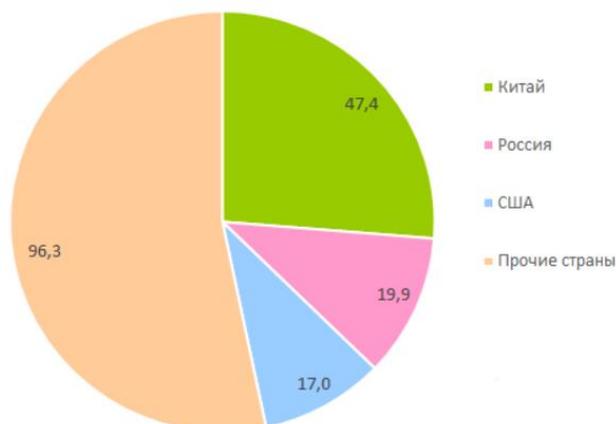


Рисунок 7.1 – Производство аммиака в мире 2021 г, млн.т

Производство аммиака в мире за 2017-2021 гг выросло на 3,4%: со 174,8 до 180,6 млн т.

Рост производства поддерживался высоким спросом на продовольствие, а, следовательно, и на минеральные удобрения, в выпуске которых активно используется аммиак. Заметнее всего выпуск аммиака в 2020 г вырос в следующих странах: США (на 608,3 тыс т), Россия (на 394,4 тыс т), Малайзия (на 377,1 тыс т) и Саудовская Аравия (на 365,0 тыс т). При этом сильнее всего производство просело в Тринидад и Тобаго и Индонезии – на 377,1 и 243,3 тыс т соответственно. Дело в том, что из-за снижения котировок на продукт канадская компания Nutrien вывела из эксплуатации две аммиачные установки в Тринидад и Тобаго суммарной мощностью 965 тыс т. Кроме того, в конце 2019 г норвежский производитель минеральных удобрений Yara International объявил о закрытии аммиачного завода мощностью 270 тыс т/год в г. Пойнт-Лисас (Тринидад и Тобаго). В свою очередь в Индонезии завод PT Panca Amara Utama (PAU) в Сулавеси по выпуску аммиака (660 тыс т/год) также приостановил работу в 2020 г, другой аммиачный завод – Kaltim 1A – не функционировал с июня до конца августа.

Сокращение производства аммиака на мировом рынке в 2021 г было связано с существенным удорожанием природного газа, который является основным сырьем для его выпуска. Дефицит «голубого топлива» поверг Европу в настоящий энергетический кризис. Уже в сентябре европейские производители удобрений и аммиака, начали массово снижать выпуск продукции или вовсе приостанавливать работу.

8. Перспективы применения технологий в Мире

К настоящему времени в мировой практике производства как синтез-газа, так и собственно синтеза аммиака появились новые технологические процессы:

- повышение чистоты синтез-газа за счет применения на стадии конверсии природного газа избытка воздуха с последующим выделением этого избытка в процессе низкотемпературной конденсации;
- отказ от применения трубчатых печей с переходом к конверторам с газовым обогревом;
- проведение процесса синтеза аммиака в радиальной колонне при давлении 9 МПа и конденсацией всего производимого аммиака с применением искусственного холода.

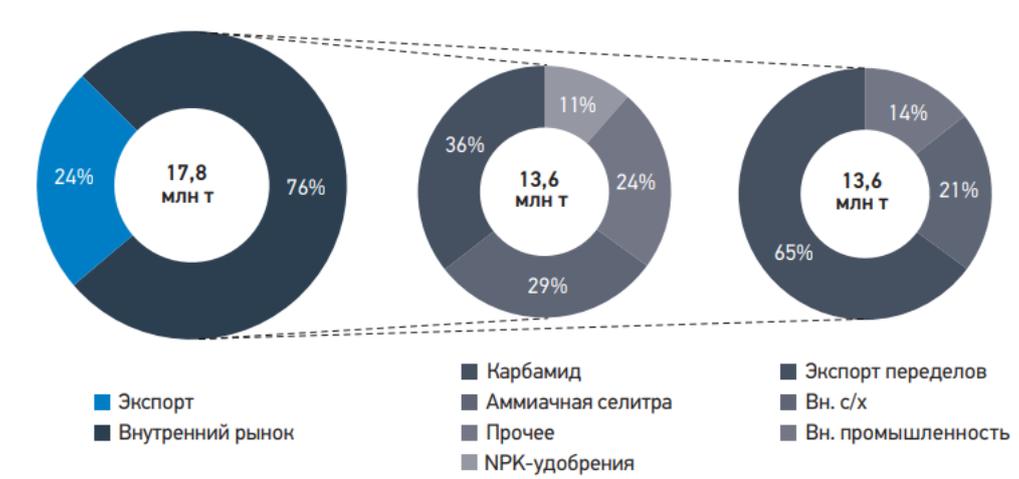
Оценки перспективы производства аммиака и удобрений на его основе показывают, что при существующей цене природного газа рентабельными и конкурентоспособными на мировом рынке станут производства азотных удобрений (карбамида и селитры), которые будут использовать аммиак, получаемый с затратами энергии не более, чем 7-7,5 Гкал/т.

9. Перспективы применения технологий получения аммиака и карбамида в России

Сегмент минеральных удобрений является одним из наиболее развитых в структуре российской химической промышленности и сохранит свое развитие в дальнейшем, укрепляя свои экспортные позиции, с одновременным развитием внутреннего рынка и повышением эффективности компаний.

В Российской Федерации государственная стратегия развития аммиачной отрасли устарела и не соответствует текущим реалиям и вызовам. Большинство актуальных крупных проектов в стратегии просто нет, а значительное число включенных проектов неактуально. В утвержденной Энергетической стратегии РФ до 2035 г. аммиачная химия даже не упоминается.

В тоже время в Российской Федерации аммиак занимает первое место по объемам производства (17,8 млн т) среди продуктов метановой химии, в разы опережая метанол (4,4 млн т). Основная часть продукта направляется на переработку с получением карбамида, аммиачной селитры и других удобрений.



При этом в России работают **27 агрегатов аммиака** которые производят **19 млн тонн продукции** ежегодно.



70% аммиака в сыром или переработанном виде отправлялось за рубеж, что обусловлено ограниченностью спроса внутреннего рынка и высокой конкурентоспособностью российских производителей из-за доступа к дешевому сырью. Суммарно отечественные покупатели приобретают порядка 30% выпущенной продукции, в том числе для промышленного применения и производства сложных удобрений. На внутреннем рынке, помимо сельского хозяйства, продукты аммиачной химии в значительных объемах используются в промышленности. Структура потребления удобрений в России имеет свои особенности – весьма значительную роль играет все-таки аммиачная селитра, а не карбамид.

В Российской Федерации перспективы практического применения аммиака заключаются в трех вариантах его производства:

- модернизация и техперевооружение действующих агрегатов;
- интеграция производства;
- строительство новых современных агрегатов.

Модернизация существующих предприятий в сегменте азотных удобрений с целью повышения энергоэффективности, ресурсосбережения и экологической безопасности позволит сохранить конкурентоспособность на глобальном рынке.

Мировые достижения в области технологии, аппаратуры и катализаторов создают научную и техническую базу для разработки и строительства перспективных новых российских аммиачных агрегатов большой производительности.

Перспективной технологией получения крупнотоннажного аммиака является автотермический риформинг (ATR).

Перспективной технологией получения плава карбамида считается стриппинг-процесс в токе CO₂, для крупнотоннажного производства карбамида - технология полного жидкостного рецикла с применением энергосберегающих решений.

Одной из перспективных технологий получения твердых форм товарного карбамида является технология грануляции в скоростном барабанном грануляторе (СБГ), которая может быть использована для кондиционирования приллированного продукта — так называемой «докатки» приллированного карбамида, а также использования современных башен приллирования.

10. Китай, как из основных партнеров предоставления доступа к технологиям получения аммиака и карбамида

Ведущим производителем аммиака в мире является Китай, доля которого в совокупном производстве в течение последних пяти лет составляла в среднем 26,7%.

В основу большинства технологий получения аммиака заложена газификация угля, получения карбамида - полный жидкостный рецикл с применением энергосберегающих решений и приллированием. Создание крупнотоннажных производств аммиак-карбамид дотируются государством с применением решений химических институтов при Китайской академии наук по лицензиям мировых компаний.

11. Барьеры, стоящие на пути развития рынка аммиака и карбамида

Первый — отсутствие поддержки на уровне государства. Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года не предусматривает развития отечественных технологий получения аммиака и карбамида.

Соответственно - цена природного газа и электроэнергии.

Второй — отсутствие возможности существенно увеличить объем производства, модернизация и техперевооружение действующих агрегатов. Замедление или остановка строительства новых современных агрегатов.

Третий — отсутствие необходимой инфраструктуры для перевалки аммиака и карбамида. На данный момент специализированные морские терминалы по перевалке аммиака и карбамида в России отсутствуют.

Четвертый — ограниченность использования зарубежных технологий.

Пятый — специфические источники опасности. Неконденсируемые отработанные газовые потоки, поступающие из отделений улавливания аммиака и сепараторов.

Шестой — декарбонизация.

Седьмой — интеграция производства. Организация диверситета.

12. Одни из основных проблем получения аммиака и карбамида

– дорогое сырье, электроэнергия, ограниченное использование технологий

13. Основные выводы

14.1 Главным долгосрочным фактором потребления азотных удобрений остается увеличение населения планеты.

14.2 Аммиак уже на следующем переделе является конечным продуктом, причем как промышленного, так и конечного использования.

14.3 Российские удобрения внесены в перечень товаров первой необходимости, тем самым исключая удобрения из санкционного списка.

14.4 Ключевыми факторами высокой конкурентоспособности российского аммиака и карбамида на мировом рынке служат дешевое сырье и периодическая девальвация рубля.

14.5 Выпуск азотных удобрений в России на существующих мощностях по-прежнему экономически эффективен. Из новых проектов на данный момент устойчиво рентабельны только карбамидные проекты на действующем производстве аммиака, при этом экономическая эффективность таких инвестиций не зависит от расположения производств.

- 14.6 В России работают 15 крупных предприятий с суммарной мощностью производства аммиака около 20 млн т. Их загрузка на протяжении последних лет остается стабильно высокой. В российской аммиачной отрасли заявлено девять новых крупных проектов, в каждом из которых конечным продуктом производства является карбамид. Если все они будут реализованы, производство аммиака вырастет более чем на треть (до 27 млн т), а карбамида – вдвое (до 23 млн т). Реализация новых проектов пока не может стать инструментом монетизации дополнительных объемов газа, но позволят нефтегазовым компаниям диверсифицировать свой бизнес в период высокого санкционного давления.
- 14.7 Для производителей азотных удобрений характерна высокая степень вертикальной интеграции вплоть до сбыта продукции через собственные розничные сети. Для создания бизнеса по производству удобрений новому игроку нужно либо сформировать сбытовую сеть самостоятельно, либо воспользоваться чужой, принимая на себя риск зависимости от потребителя.
- 14.8 В ближайшее время основные изменения на мировом рынке будут происходить в плоскости перераспределения продаж российских удобрений из Европы и США в страны Азии и Латинской Америки. Перспективным направлением для наращивания экспорта российского аммиака является Индия. Для карбамида и аммиачной селитры – Бразилия.
- 14.9 Перспективным направлением является строительство новых агрегатов получения аммиака по технологии: «голубой» аммиак.
- 14.10 Технология Haldor Topsoe SynCOR — лучший выбор для крупномасштабного производства аммиака и метанола на одной технологической линии. Технология SynCOR очень эффективно интегрируется с технологическим процессом производства карбамида.
- 14.11 Технология TEC ACES 21 — лучший выбор для крупномасштабного производства карбамида.
- 14.12 Стоимость постройки современного нового агрегата по зарубежной технологии составляет порядка 700 млн. евро. Доступ российских компаний к западным технологиям ограничен, поэтому идет вовлечение китайских нефтехимических компаний. При этом ориентировочные капитальные затраты на строительство нового производства аммиака, направленного на снижение негативного воздействия на окружающую среду и повышение энергоэффективности производства, составят:

Производство	Производительность установки	Полная стоимость установки	Примечание
Производство аммиака	2100 т/сут	29,4 млрд руб.	При строительстве нового производства обеспечивается максимальная энергоэффективность технологического процесса

Строительство интегрированного производства аммиака, метанола и карбамида	455 т/сут	105 млрд руб.	Устранение сырьевой зависимости существующего производства минеральных удобрений от сторонних поставщиков
Производство аммиака	2700 т/сут	1 млрд долларов	Новое производство

- 14.13 Аммиачная промышленность подвергается дальнейшей модернизации.
- 14.14 Наиболее значимые новые проекты: Лукойл-Ставролене и НЗМУ.
- 14.15 Китай может рассматриваться как из основных партнеров для сотрудничества по созданию новых производств карбамида для стран АТР, а также как платформа для доступа к технологиям получения аммиака и карбамида.

В связи с вышесказанным, на данный момент имеются предпосылки научно-методической работы по разработке перспективного способа получения карбамида.

Приложение А –
Технологии производства аммиака
ПАРОВАЯ КОНВЕРСИЯ

А.1 ГИАП

Технология производства аммиака АМ-76

производительностью до 3000 тонн в сутки

Главной особенностью предлагаемой схемы производства аммиака мощностью является то, что в ней может быть использована значительная часть известного, надежного оборудования, используемого в агрегатах АМ-76, которое имеет существенные запасы по производительности.

Технологический процесс состоит из следующих основных стадий:

- 1) каталитическое гидрирование органических соединений серы, содержащихся в подаваемом природном газе. Подогрев природного газа перед стадией гидрирования осуществляется в змеевике БТА трубчатой печи за счет тепла дымового газа;
- 2) очистка газа от сероводорода с помощью окиси цинка;
- 3) каталитическая конверсия углеводородов природного газа, осуществляемая в трубчатой печи и в параллельной установке паровоздушной конверсии метана по **технологии «Тандем»**;
- 4) двухступенчатая конверсия оксида углерода;
- 5) очистка газа от диоксида углерода раствором МДЭА;
- 6) метанирование остаточного оксида и диоксида углерода;
- 7) компрессия очищенного синтез-газа до давления 18,14÷ 19,12 МПа;
- 8) синтез аммиака под давлением 17,65 ÷ 18,63 МПа.

Наименование стадии или аппарата	Краткое описание, отличие от АМ-76	Примечание
Компримирование природного газа	Осуществляется в одноступенчатом компрессоре с паровым приводом. Давление в линии всаса — 2,45 МПа	
Компримирование воздуха	Производится четырехступенчатым компрессором увеличенной мощности с паровым приводом	
Подогрев природного газа перед сероочисткой	Производится в змеевике БТА трубчатой печи	Подогреватель природного газа, в котором используется топливный природный газ, отсутствует
Сероочистка	Проводится в аппаратах тех же габаритов, как в АМ-76	Аппараты сероочистки сохраняются в тех же габаритах, как в АМ-76

Наименование стадии или аппарата	Краткое описание, отличие от АМ-76	Примечание
Конверсия метана I и II ступени	Осуществляется в трубчатой печи, трубчатом и шахтном реакторах. Для этого в БТА трубчатой печи встраивается дополнительный змеевик по- догрева ПГС для подачи ее в трубчатый реактор. Трубы трубчатого реак- тора обогреваются конвертированным газом после шахтного реактора. Трубчатая печь содержит трубы увеличенного диаметра. Модернизируется смеситель шахтного реактора	Реактор вторичного рифор- минга сохраняется в тех же габаритах, как в агрегате АМ-76
Котлы-утилизаторы I ступени		Полностью сохраняются
Котел-утилизатор II ступени	Котел заменяется на котел аналогичный котлу-утилизатору, установленному после конвертора СО I ступени (при максимальной мощности)	Сохраняется при мощности 2000 т/сут
Охлаждение конвертирован- ного газа	Теплообменник неочищенной АВС заменяется	
Конвертор СО II ступени	Устанавливается аналогичный конвертору I ступени с однополочной насад- кой радиального типа	Сохраняется при мощности 2000 т/сут в модернизирован- ном варианте по 7.1.3
Очистка газа от СО ₂	Применяется МДЭА-очистка. Изменяется система утилизации тепла после стадии очистки без связи с АХУ. Перекачивающие насосы МДЭА- рас- твора — с паровым приводом от конденсационной турбины. Устанавлива- ется агрегат мотор-насос-турбина для сокращения расхода энергии при пе- рекачке раствора	
Метанирование	Изменяется система утилизации тепла на стадии метанирования. Заменяются подогреватели недеаэрированной питательной воды	Метанатор сохраняется в тех же габаритах
Компрессор синтез- газа	Компрессор синтез-газа мощностью 27 МВт, трехступенчатый с системой осушки газа после I ступени, с паровым приводом от модернизированной турбины. Давление нагнетания третьей ступени 18,14 ÷ 19,12 МПа (в зависи- мости от активности катализатора синтеза аммиака)	
Циркуляционный компрессор	Циркуляционный компрессор мощностью 2500 кВт	
Синтез аммиака	Синтез аммиака — с предреактором. Основной реактор синтеза — трехпо- лочный, с межполочными теплообменниками и объемом катализатора 50÷55 м ³ , расположенном в трех корпусах. В циркуляционной смеси на выходе из основного реактора — 17,5 ÷ 19 % NH ₃ . Максимальный циркуляционный поток — 920 тыс. нм ³ /час. Предреактор — двухполочный, с межполочным теплообменником и объе- мом катализатора 20 ÷ 22 м ³	
Система охлаждения и кон- денсации аммиака	Для охлаждения и конденсации аммиака устанавливается компрессионная машина с приводом от паровой турбины	

Технология производства аммиака ГИАП «SMR AM»

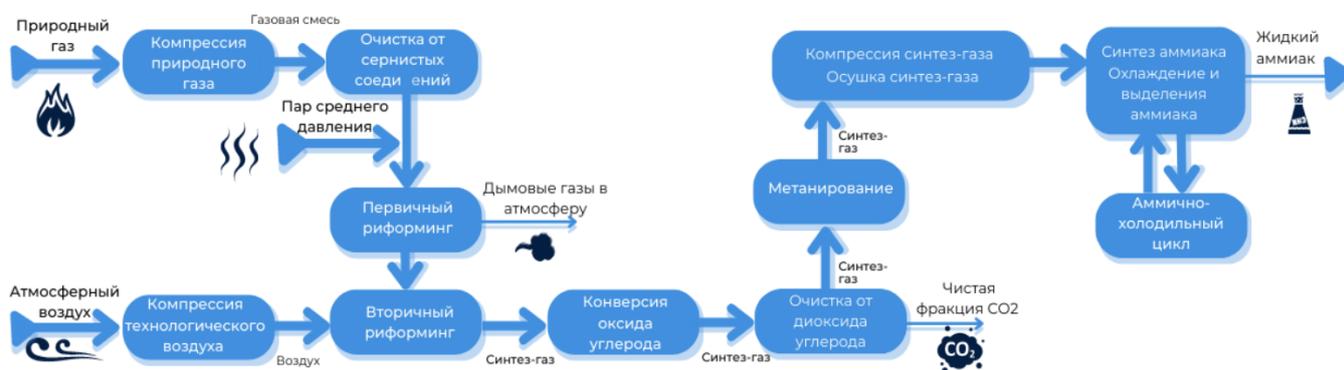
производительностью до 3 500 тонн в сутки

Оригинальная технология ГИАП «SMR AM» использует **паровой риформинг** для получения синтез-газа. Потребление природного газа может достигать уровня 950 нм³ на тонну произведенного аммиака в валовом выражении. В России и мире данная технология является наиболее распространенной при производстве аммиака из природного газа.

Типовые мощности технологии «SMR AM»: 600, 1 500, 2 100, 2 500, 3 500 тонн в сутки.

Технология производства аммиака ГИАП «SMR AM» состоит из следующих стадий:

Блок-схема технологического процесса производства аммиака "SMR AM"



- 1) Компрессия природного газа;
- 2) Очистка природного газа от сернистых соединений;
- 3) Первичный риформинг;
- 4) Вторичный риформинг;
- 5) Двухступенчатая конверсия оксида углерода
- 6) Очистка конвертированного газа от диоксида углерода;
- 7) Метанирование остатков моно-, и диоксида углерода;
- 8) Компрессия синтез-газа и осушка синтез-газа;
- 9) Синтез аммиака.

Технология производства аммиака ГИАП «Tandem AM»

производительностью до 3500 тонн в сутки

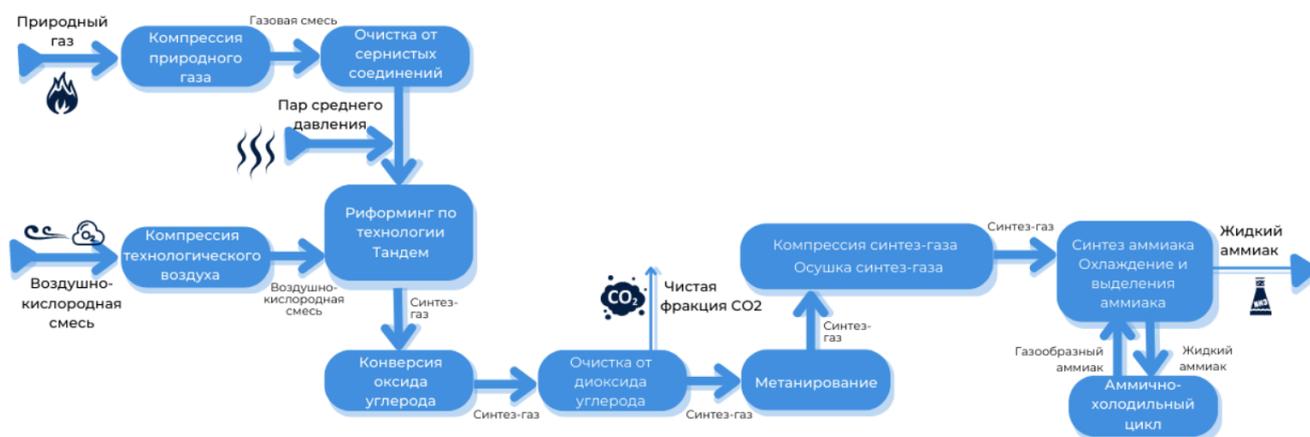
В технологии ГИАП «Tandem AM» вместо традиционного парового риформинга используется оригинальное решение ГИАП по конверсии природного газа «Тандем». Потребление природного газа может достигать уровня 900 нм³ на тонну произведенного аммиака в валовом выражении. По сравнению с технологией ГИАП «SMR AM», данная технология позволяет сократить потребление природного газа и

выбросы CO₂, а также обладает большим потенциалом для дальнейшего увеличения производительности.

Типовые мощности технологии «Tandem AM»: 600, 1500, 2100, 2500, **3500** тонн в сутки.

Технология производства аммиака ГИАП «Tandem AM» состоит из следующих стадий:

Блок-схема технологического процесса производства аммиака "Tandem AM"



- 1) Компрессия природного газа;
- 2) Очистка природного газа от сернистых соединений;
- 3) Риформинг по технологии «Тандем»;
- 4) Конверсия оксида углерода;
- 5) Очистка конвертированного газа от диоксида углерода;
- 6) Метанирование остатков моно-, и диоксида углерода;
- 7) Компрессия синтез-газа и осушка синтез-газа;
- 8) Синтез аммиака.

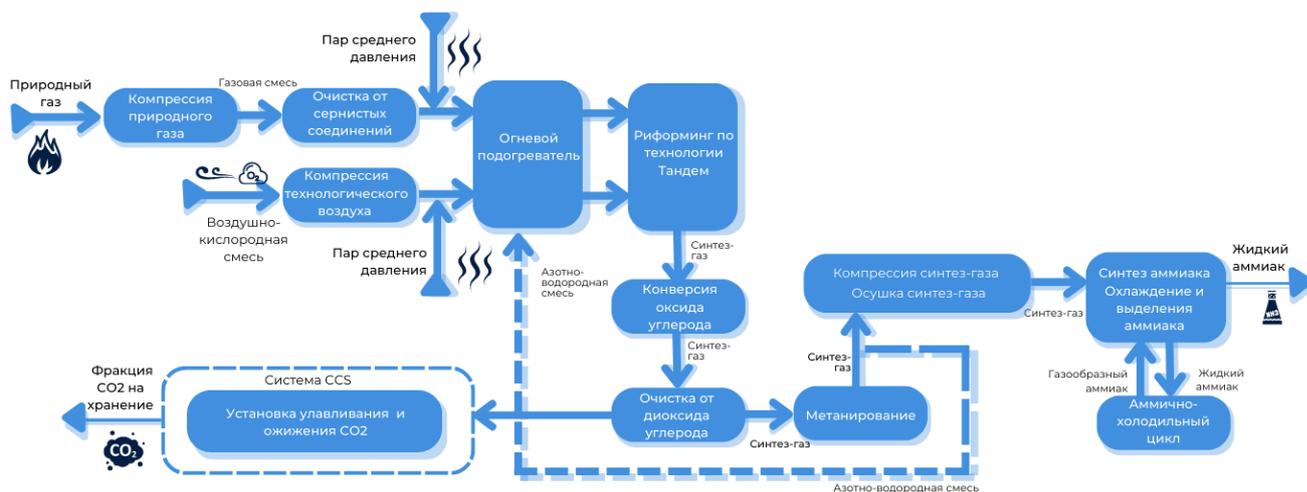
Технология производства «голубого» аммиака ГИАП «Tandem AM B»

Технология производства низкоуглеродного аммиака

Низкоуглеродным или «голубым» называют аммиак, произведенный из природного газа с использованием метода улавливания и связывания углерода (CCS). В качестве оптимального решения ГИАП разработал технологию «**Tandem AM B**», в которой предусмотрена конверсия природного газа по технологии Tandem, использование азотно-водородной смеси из производственного цикла в качестве топлива в блоке нагрева газа, а также системы улавливания и ожижения CO₂ с последующим захоронением или использованием. Все это позволяет снизить потребление природного газа и уловить 90% выбросов CO₂.

Технология производства аммиака ГИАП «Tandem AM B» состоит из следующих стадий:

Блок-схема технологического процесса производства "голубого" аммиака "Tandem AM B"



- 1) Компрессия природного газа;
- 2) Очистка природного газа от сернистых соединений;
- 3) Риформинг по технологии «Тандем»;
- 4) Конверсия оксида углерода;
- 5) Очистка конвертированного газа от диоксида углерода;
- 6) Ожигание и улавливание CO₂;
- 7) Метанирование остатков моно-, и диоксида углерода;
- 8) Компрессия синтез-газа и осушка синтез-газа;
- 9) Синтез аммиака.

A.2 UHDE (Нидерланды)

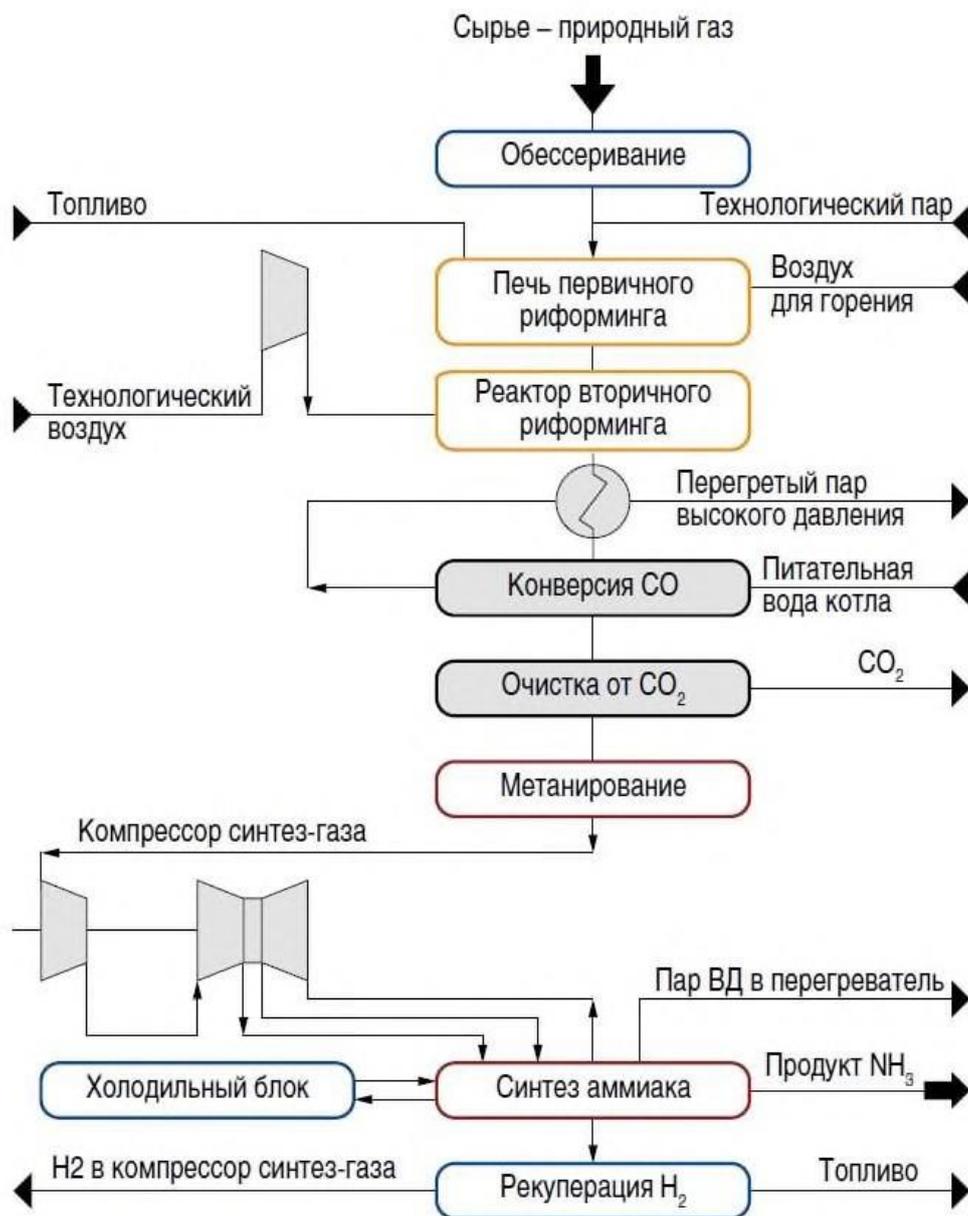
является одним из немногих производителей, кто может быть одновременно и лицензиаром технологии, и поставщиком оборудования

Технология производства аммиака UHDE

Технология двойного давления
производительностью до 3000 тонн в сутки

В паровом риформинге особое внимание заслуживает перегреватель пара, расположенный за реактором вторичного риформинга. В энергосберегающих установках тепло конвекционной зоны максимально рекупируется для использования в технологическом процессе и сокращения расхода топлива. Таким образом, в конвекционной зоне имеется меньше тепла для перегрева пара ВД, а необходимая для этого энергия рекупируется в перегревателе за реактором вторичного риформинга. Он служит для рекуперации 15 до 40 % тепла, имеющегося в распоряжении между выходом реактора

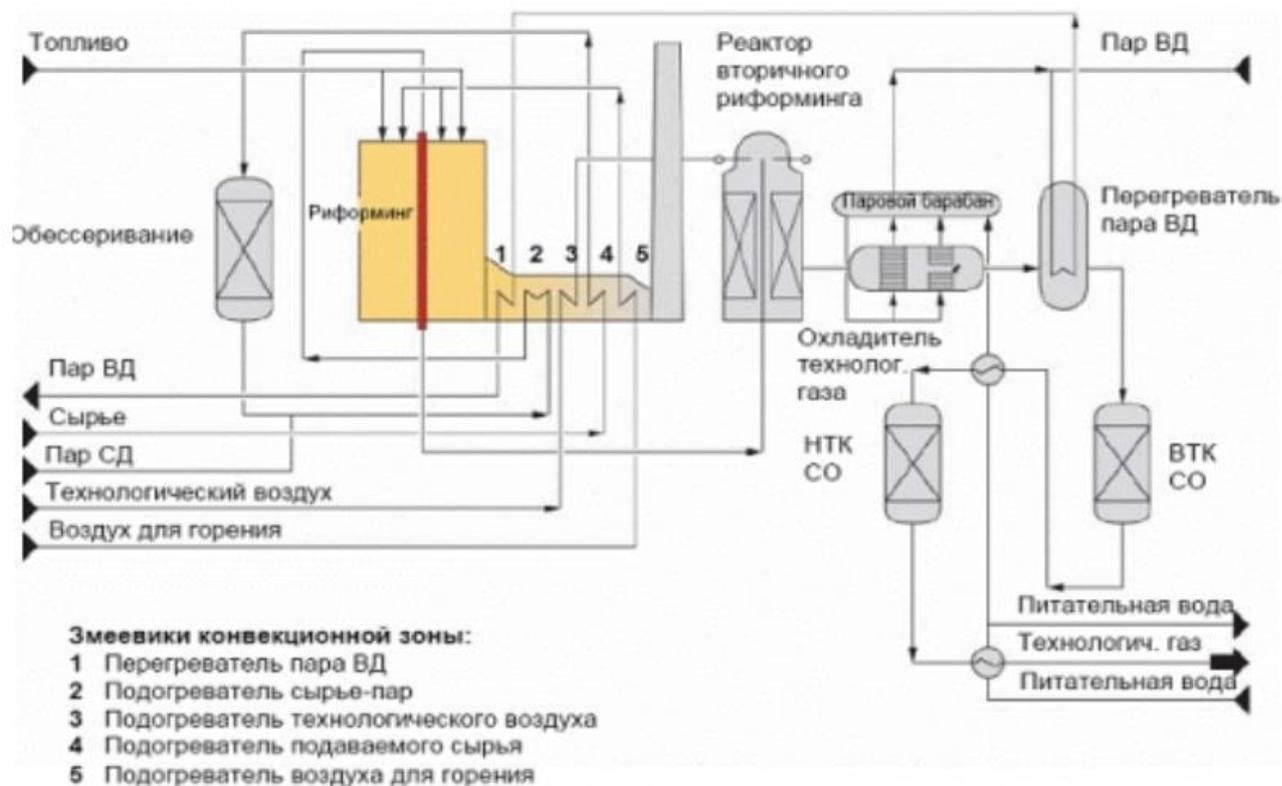
вторичного риформинга и входом высокотемпературной конверсии CO (ВТК CO), в зависимости от выбранных технологических параметров.



Чем ниже расходный коэффициент, тем больше тепла технологического газа утилизируется для перегрева пара ВД. В итоге генерируется меньше пара ВД. Другими словами: С сокращением расхода топлива уменьшается и нетто-экспорт энергии. С одной стороны, это решение обеспечивает необходимую гибкость работы установки по любым технологическим требованиям, с другой стороны оно обеспечивает безопасную работу паровой системы в нормальных или ненормальных режимах. Внутренний байпас в зоне испарения позволяет смещать передачу тепла в сторону испарителя или перегревателя.

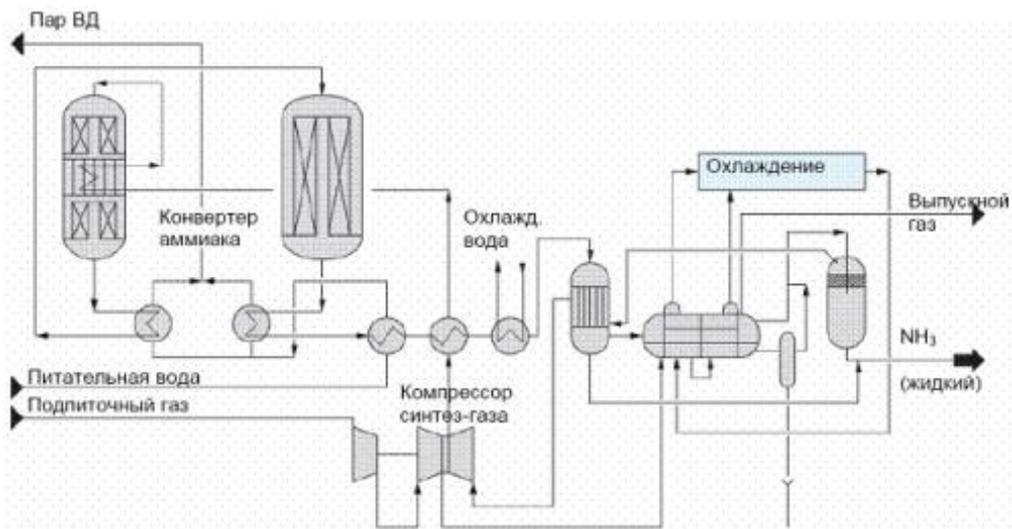
При нормальном режиме работы внутренний байпас остается частично открытым. При закрытии байпаса температура газа на входе перегревателя может быть понижена и генерация пара повышена. Эта

черта важна для преодоления частичных нарушений работы установки, таких как, например, прекращение работы генерации пара на стадии синтеза аммиака.



Для обеспечения максимальной надежности и эффективности затрат компания Uhde во всех трех слоях реактора исключительно использует свои хорошо зарекомендовавшие себя катализаторы на основе магнетита. Обычно для ускоренного запуска первый из трех слоев заполняется предварительно окисленным катализатором.

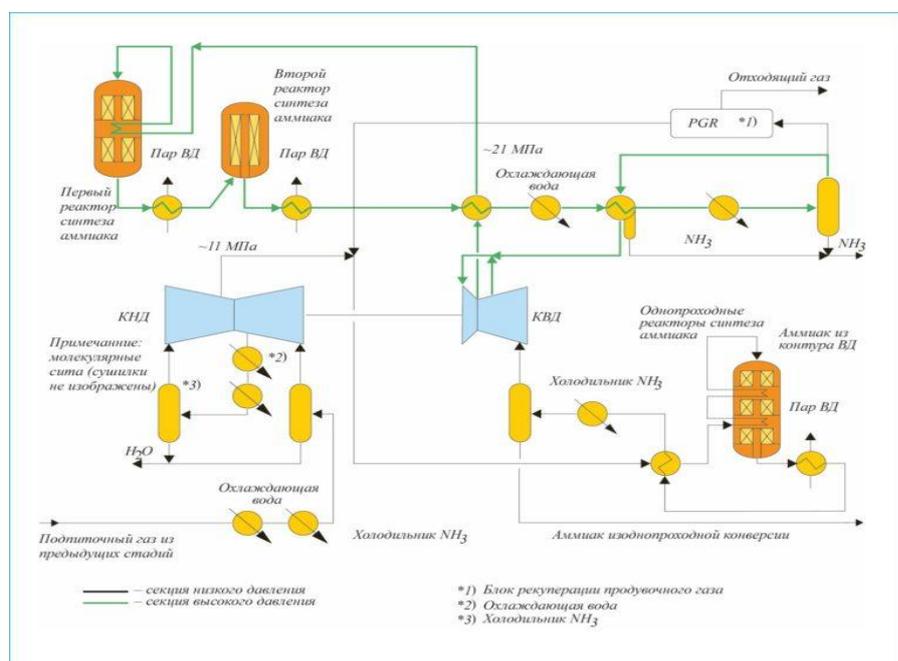
В узле синтеза аммиака Uhde установлена система трехслойных реакторов радиального типа. В зависимости от условий на промплощадке и специфики проекта эти три слоя катализатора размещаются либо в одном реакторе, либо в двух реакторах синтеза аммиака. Схемы с одним реактором синтеза аммиака и одним котлом-утилизатором не позволяют оптимально использовать тепло реакции для генерации пара высокого давления. Для этого требуется размещение между вторым и третьим слоями катализатора дополнительного котла-утилизатора.



Такая компоновка положительно влияет на температуру на стороне газа котла-утилизатора, и температура питательной воды на входе котла-утилизатора может быть выше. Питательная вода может быть подогрета использованием тепла низкого уровня, имеющегося в других местах установки, например, за стадией низкотемпературной конверсии CO (НТК CO).

Синтез с высокой степенью конверсии имеет значительные преимущества, потому что существенно уменьшаются количество циркуляционного газа, мощность циркуляционного насоса и поверхность теплообмена. Энергопотребление на охлаждение также уменьшается пропорционально, потому что основная часть полученного аммиака конденсирует уже перед холодильником контура синтеза.

На основе существующей технологии thyssenkrupp Industrial Solutions в партнерстве с JM Catalysts, обладающими ноу-хау в катализе, эксплуатации и сервисных услугах для производств аммиака, разработали процесс с двумя ступенями давления, позволяющий строить установки по производству аммиака большой мощности с использованием испытанного и хорошо зарекомендовавшего себя оборудования. Производительность таких установок составляет более 3 тыс. т/сут, а в принципе возможно достижение и более высоких мощностей (например, 4...5 тыс. т/сут).



Ключевым новшеством технологии двойного давления Uhde является установка дополнительного однопроходного реактора синтеза аммиака среднего давления перед традиционным контуром синтеза аммиака высокого давления. Конверсия происходит следующим образом. При однопроходном синтезе аммиака подпиточный газ компримируется в корпусе низкого давления (КНД) компрессора синтез-газа до давления ~11 МПа. При этом давлении однопроходный реактор синтеза аммиака с тремя слоями катализатора и промежуточным охлаждением обеспечивает примерно треть общего выхода по аммиаку. Смесь синтез-газ – аммиак далее охлаждается, и 85% полученного аммиака отделяется от газа в жидком виде.

Использование технологии двойного давления Uhde для производства аммиака позволяет увеличить производительность и энергоэффективность установки при сохранении традиционного оборудования и эффективных катализаторов, отлично зарекомендовавших себя на действующих установках.

Первая промышленная установка, созданная на базе новой технологии, – производство аммиака SAFCO IV в Эль-Джубайле, Саудовская Аравия (подрядчик – thyssenkrupp Industrial Solutions AG), – пущенная в эксплуатацию в 2006 г.. Она является также крупнейшей в мире установкой по производству аммиака: изначальная ее мощность составляла 3 300 т/сут., в настоящий момент установка модернизируется до производительности 3 670 т/сут.

А.3 ICI (Великобритания)

AMV-технология производства аммиака

производительностью до 3000 тонн в сутки

Компания ICI решила повышать эффективность путем уменьшения подводимой энергии и смягчения, а не ужесточения, условий проведения процесса.

Процесс AMV компании ICI включает в себя усовершенствованные стадии очистки от соединений серы паровой риформинг углеводородов, конверсию CO, удаление CO₂, метанирование и синтез.

В процессе AMV компании во вторичный риформер воздух подается с небольшим избытком. Обычно этот избыток на 20 % превышает стехиометрическое количество. Это влечет за собой всего лишь один незначительный недостаток, связанный с мощностью воздушного компрессор (менее 1 МВт для установки производительностью 1000 т/сутки), однако предоставляет ряд преимуществ:

- уменьшение размеров первичного риформера;
- смягчение условий риформинга;
- способствует выводу инертных газов из контура синтеза.

Температура на выходе первичного риформера на 20-40 °С ниже, чем в традиционной технологии, даже несмотря на малое паровое соотношение. Это существенно снижает размер и стоимость риформера.

LCA -технология производства аммиака

производительностью до 3000 тонн в сутки

В LCA–процессе линии сырья и воздуха взаимосвязаны, при неисправности одной из них другая прекращает работу автоматически, это обеспечивает безопасную остановку производства. "Горячий" запуск LCA–процесса можно повторить уже через 2–4 часа, это позволяет восстановить работу установки после нарушений гораздо быстрее и безопаснее, чем в традиционном процессе.

Использование катализатора вторичного риформинга с низкой термической инерцией обеспечило простую конструкцию GHR. Монолитная конфигурация обеспечивает низкий общий объем катализатора и минимальный вес катализатора и носителя.

Для того, чтобы уменьшить размер установки, теплоперенос через трубы был интенсифицирован с помощью "труб–оболочек", которые окружали содержащие катализатор трубки и увеличивали теплоотдачу от горячего отходящего газа вторичного риформинга. Ребра на трубах тоже усиливали теплоотдачу.

Одностадийная конверсия CO. LCA–процесс использует один изотермический реактор конверсии CO. В этой системе вместо обычных двух используется один реактор; но для рекуперации тепла по-прежнему используется циркуляция воды. Специальный изотермический катализатор конверсии на основе меди высоко активен и стабилен, так что может работать при температурах, превышающих температуры в традиционном реакторе низкотемпературной конверсии; кроме того, этот катализатор хорошо приспособляется к высоким концентрациям CO в технологическом газе. Катализатор на основе меди гораздо менее опасен для окружающей среды, чем хромсодержащий катализатор конверсии; он позволяет безопасно использовать низкие паровые соотношения на стадии риформинга, избегая при этом проблем "перевосстановления" катализатора.

Разделение по разности давлений. Для достижения нужного теплового баланса в GHR между выделением тепла в блоке вторичного риформинга и потреблением тепла в блоке первичного риформинга количество добавляемого воздуха превосходит стехиометрически необходимое для производства аммиака. Для удаления избыточного азота используется система разделения по разности давлений (PSS). В этом сепараторе удаляется также двуокись углерода, которую иначе все равно пришлось бы удалять в большом жидкостном скруббере. Система не имеет энергетических ограничений по удалению CO₂ и успешно заменяет довольно сложную комбинацию адсорбера, регенерационной башни и жидкостных циркуляционных систем, используемую на более традиционных заводах.

Компрессор синтез-газа. Схема LCA-процесса включает маленький двухступенчатый компрессор синтез-газа. GHR может работать при давлении, превышающем нормальное давление риформинга;

благодаря этому, а также низкому давлению в контуре синтеза, можно использовать компрессор простой конструкции. Весь агрегат монтировался на передвижной опоре, затем полностью собранный и проверенный блок доставляли на место; такой подход выгоден с конструкционной и эксплуатационной точек зрения.

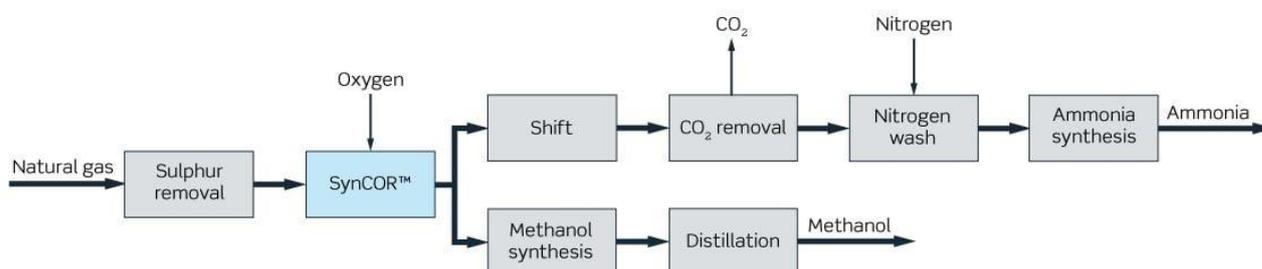
Синтез аммиака низкого давления. ICI Katalco представила усовершенствованный железный катализатор синтеза аммиака, специально приспособленный для синтеза при низких давлениях порядка 9,0 МПа. Это позволило включить в схему контур синтеза низкого давления и, благодаря этому, снизить требования к компрессору и упростить конструкцию элементов контура синтеза.

A.4 Haldor Topsoe (Дания)

является одним из немногих производителей, кто может быть одновременно и лицензиаром технологии, и поставщиком оборудования

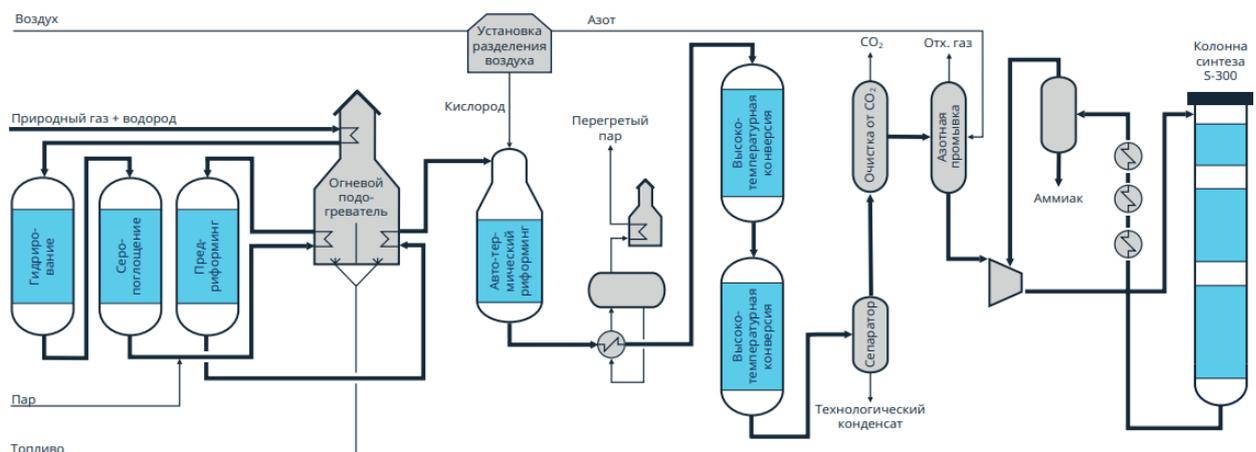
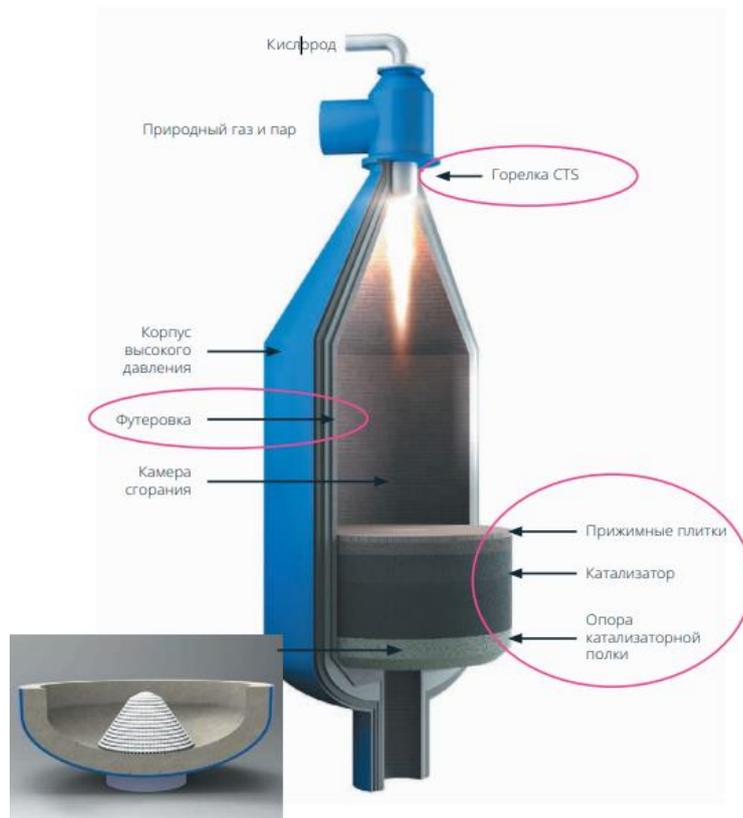
Технология производства аммиака SynCOR Ammonia, SynCOR Plus

Автотермический риформинг
производительностью до 10000 тонн в сутки



В основе технологического процесса SynCOR Ammonia™ лежит реактор риформинга SynCOR™. Его рабочие условия более жёсткие, чем в обычных кислородных реакторах вторичного риформинга. Это автономный реактор кислородного автотермического риформинга, работающий при очень низком соотношении пар/углерод 0,6. Технологическое оборудование SynCOR™ разработано специально с учетом столь низкого соотношения пар/углерод, результатом чего является очень высокая интенсивность горения и температура пламени. Подтверждением его надежности в промышленных условиях является успешный опыт работы со средним коэффициентом готовности свыше 99 % за период эксплуатации более 5 лет.

Конструкция реактора риформинга SynCOR™ включает горелку, камеру сгорания, прижимные плитки, катализаторную полку с неподвижным слоем, опорное устройство катализаторной полки, огнеупорную футеровку и корпус высокого давления



Технология SynCOR Ammonia™ очень эффективно интегрируется с технологическим процессом производства карбамида. Чтобы исключить наличие жидкого аммиака производители карбамида обычно требуют 100 % конверсии аммиака в карбамид. Тем не менее, производство CO₂ в стандартных схемах не всегда соответствует этому требованию, особенно когда сырьем является легкий природный газ. SynCOR™, напротив, полностью отвечает данному требованию. Замена традиционного парового реформинга паро-кислородным реформингом дает преимущество в виде синтез-газа, обладающего изначально более высоким соотношением углерод/водород. Соответственно, возможно достижение оптимального соотношения CO₂/NH₃ при производстве карбамида путем регулирования проскока CO из отделения конверсии за счёт добавления пара. Это очень удачное решение, в отношении капитальных и эксплуатационных затрат, и оно применимо в широком диапазоне видов сырья.

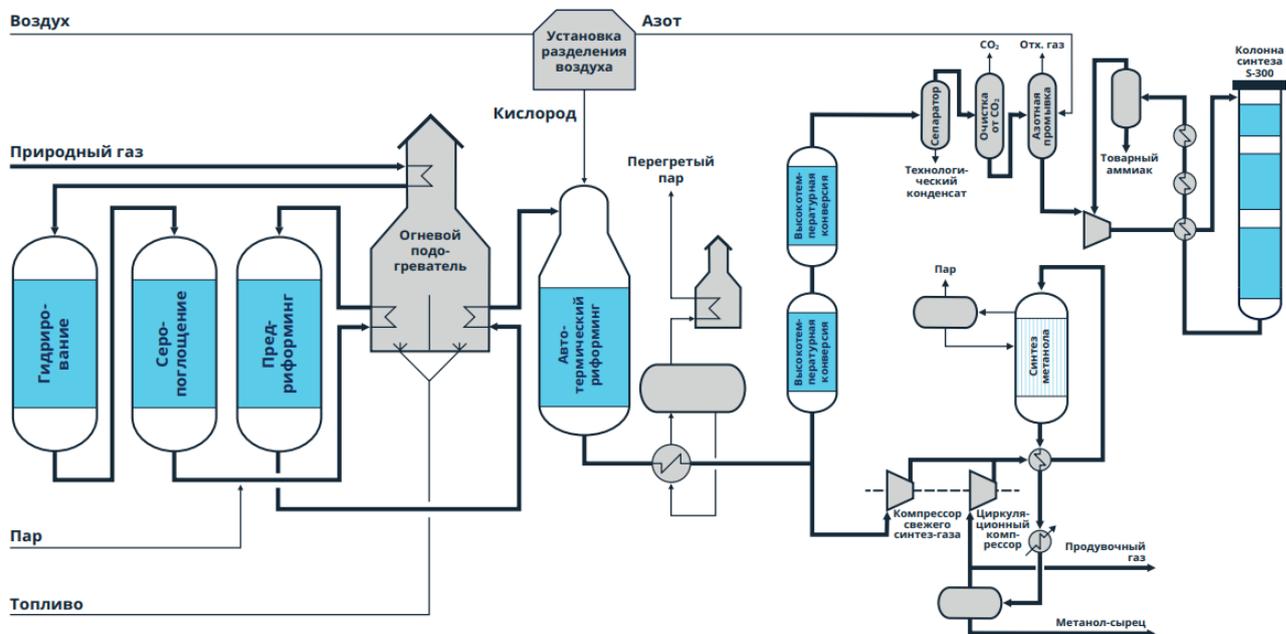
Основные различия между традиционным агрегатом на основе SMR и агрегатом SynCOR Ammonia™

Технология	Традиционный агрегат NH ₃	SynCOR Ammonia™
Отделение сероочистки	Стандартное	Стандартное
Соотношение пар/углерод	3,0	0,6
Отделение риформинга	Печь парового риформинга и реактор воздушного вторичного риформинга	Реактор предриформинга и кислородного автотермического риформинга
Отделение конверсии CO	Высокотемпературная конверсия CO с последующей низкотемпературной конверсией CO	Две последовательных реактора высокотемпературной конверсии CO с циркуляцией побочных продуктов
Отделение очистки от CO ₂	Стандартное	Стандартное
Очистка синтез-газа	Метанирование	Азотная промывка с продувкой и добавлением азота
Синтез аммиака	Цикл синтеза аммиака с продувкой	Цикл синтеза без инертных компонентов без продувки
Очистка продувочного газа	Выделение аммиака с последующим выделением водорода	Очистка не требуется
Относительное удельное энергопотребление	100	97
Относительное потребление питьевой воды	100	40–50
Макс. промышленная производительность, производство NH ₃ в одну линию / другие отрасли	3,500 т/сутки / —	4,000 т/сутки*) / >6,000 т/сутки

Технология риформинга SynCOR™ имеет целый ряд дополнительных преимуществ по сравнению с традиционным трубчатый риформингом любого типа. Это более простая концепция, которая позволяет снизить объем полевых работ. Реактор автотермического риформинга сам по себе не требует полевых работ при его эксплуатации. Как правило, от рабочей смены требуется только обход установки с целью наружного контроля, и вместо этого можно эффективно использовать камеры наблюдения. SynCOR™ требует для обслуживания на 2-3 человека меньше, чем для большого трубчатого риформинга. Для производителей аммиака это означает снижение затрат и повышение безопасности персонала.

Для оптимального использования природного газа SynCOR™ может обеспечивать синтез-газом несколько последующих блоков синтеза. Такая технология под названием SynCOR Plus™ обеспечивает оптимальную интеграцию технологических процессов и оптимизацию энергопотребления, а также дает возможность извлечь выгоду из большой гибкости товарного продукта в период нестабильности цен на оптовом рынке. Гибкость производства снижает риски, связанные с изменением рыночных условий.

Сегодня стандартная производительность агрегатов метанола и аммиака составляет соответственно 5 000 и 2 000 т/сутки. Существуют и более крупные агрегаты аммиака, но учитывая, что такой объект является агрегатом с одной технологической линией и его целевым конечным продуктом является карбамид, производительность 2 000 тонн аммиака в сутки является достаточной.



Упрощенная технологическая схема SynCOR Plus™: синтез метанола (5 000 т/сутки) и аммиака (2 000 т/сутки)

Основные различия требований к оборудованию традиционных современных агрегатов с производительностью 5 000 т/сутки по метанолу и 2 000 т/сутки по аммиаку и интегрированного комплекса SynCOR Plus™

	2 000 т аммиака в сутки	5 000 т метанола в сутки	SynCOR Plus™ аммиак + метанол
Схема	Традиционная схема (первичный + вторичный риформинг)	Традиционная схема (двухступенчатый риформинг) + Установка ASU (кислород)	Общее отделение газоподготовки на основе SynCOR™ + Отделение синтеза аммиака без инертных компонентов + Компактное отделение синтеза метанола + Установка ASU (кислород и азот)
Установки	Первичный и вторичный	Первичный и ATR	1 SynCOR™
Размер	Стандартный	Стандартный	Меньше стандартного
Размер реактора синтеза	Стандартный	Стандартный	70-75 %
Уровень кап. затрат (в ГУ)	Базовый	Базовый	90 %

A.5 Ammonia Casale (Швейцария)

Технология производства аммиака CASALE

производительностью до 1500 тонн в сутки

Стандартная технология Казале производства аммиака на основе природного газа основана на классическом применении парового риформинга. Основные стадии процесса:

- ■ обессеривание;
- ■ первичный и вторичный риформинг;
- ■ НТК и ВТК;
- ■ очистка от CO₂;
- ■ метанирование;
- ■ осушка синтез"газа;
- ■ компрессия;
- ■ синтез аммиака;
- ■ выделение водорода.

Основные характеристические элементы технологии Казале:

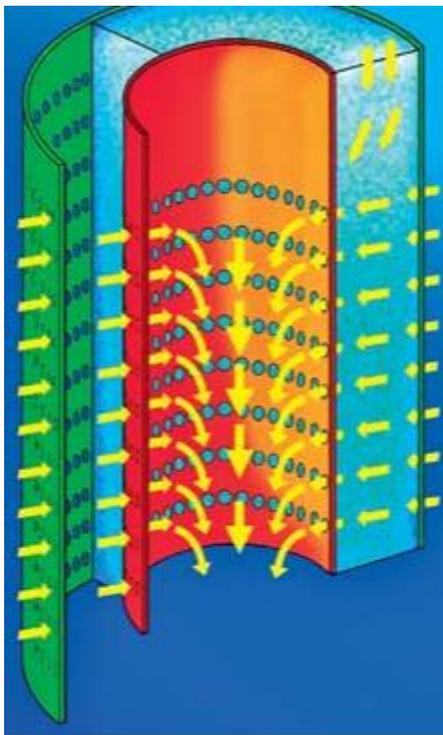
- ■ высокоэффективная конструкция вторичного риформинга;
- ■ аксиально"радиальная конструкция аппаратов конверсии CO;
- ■ система промывки аммиаком
(с использованием эжектора);
- ■ аксиально радиальная конструкция конвертора синтеза аммиака;
- ■ передовая конструкция котла утилизатора в контуре синтеза.

Высокоэффективная конструкция Казале для вторичного рифор минга основана на самой передовой технологии для горелки вторичного риформинга, которая была разработана на основе глубоких знаний процессов горения и механики сплошных сред с целью достижения очень высокой эффективности горения с низким потреблением энергии. Высокоэффективная горелка Казале для вторичного риформинга имеет следующие особенности:

- ■ идеальное смешивание в пламени;
- ■ низкие перепады давления как в воздушном, так и в технологическом потоке;
- ■ однородный состав газа и распределение температуры на входе в слой катализатора;
- ■ меньшая длина языка пламени во избежание его попадания на катализатор при больших нагрузках;
- ■ низкая температура поверхностей горелки, подвергающихся воздействию пламени;
- ■ защита огнеупорной футеровки от горячей активной части пламени.

Аксиально-радиальная конструкция Казале используется для проектирования как конверторов CO, так и колонн синтеза аммиака.

Распределение аксиально-радиального потока газа на полках происходит следующим образом: большее количество (около 90%) газа проходит через катализаторную полку в радиальном направлении со значительным понижением перепада давления по сравнению с осевым потоком. Оставшееся количество поступает вниз через верхний слой катализатора в осевом направлении, устраняя необходимость в верхней крышке катализаторных полок.



Аксиально-радиального потока

Важнейшими преимуществами использования технологии катализаторных полок с аксиально-радиальным направлением потока, в какой бы установке производства аммиака она ни применялась, являются:

- ■ низкий перепад давления;
- ■ высокая эффективность благодаря применению мелкозернистого катализатора.

Оба эти преимущества являются важными особенностями, позволяющими свести к минимуму размер оборудования и энергопотребление. Использование аксиально «радиальной конструкции Казале в конверторах ВТК и НТК гарантирует дополнительно к названным выше следующие преимущества:

- ■ низкая средняя концентрация СО на выходе;
- ■ высокая надежность и больший срок службы катализатора благодаря более высокому сопротивлению ядам и уносу воды;
- ■ больший срок службы катализатора благодаря постоянному перепаду давления в аппарате.

Важной чертой в проектировании контура синтеза аммиака является современная конструкция котла утилизатора фирмы «Казале» после колонны синтеза. Котел утилизатор Казале представляет собой теплообменник с U-образными трубками, в которых кипит вода со стороны трубного пространства, а со стороны межтрубного пространства проходит технологический газ. Корпус высокого давления охлаждается более холодным потоком газа на выходе. Единственные ферритные части, которые находятся в контакте с горячим газом, — трубы, охлаждающиеся кипящей водой. С такой специальной конструкцией становится возможным избежать риска нитрирования.

Стандартная технология производства аммиака Казале имеет высокоэффективные характеристики:

- ■ соотношение пар/углерод (относится только к потоку ПГ): от 2.9 до 1;

- ■ остаточная концентрация CO с НТК: менее 0,3 об. % (в пересчете на сухой);
- ■ CO₂ из абсорбера: менее 300 об. ppm;
- ■ давление в контуре синтеза аммиака: 140"160 бар;
- ■ степень конверсии аммиака: около 20%.

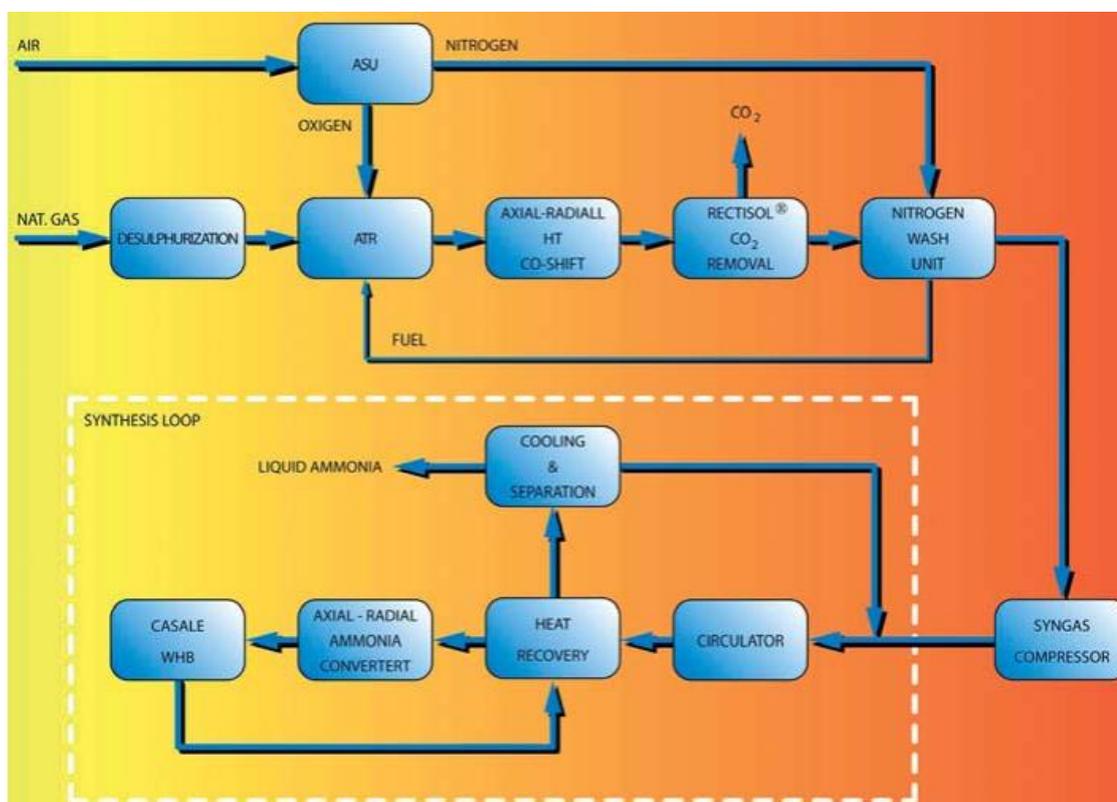
А также очень низкие показатели энергопотребления (оцениваемые как сырьевые потоки + топливо + импорт пара от пускового котла и экспорт пара на агрегат карбамида):

- ■ около 6,7 Гкал/MT аммиака.

Технология производства аммиака CASALE MEGAMMONIA

производительностью от 4000 и выше тонн в сутки

Технология MEGAMMONIA разработана Казале вместе с компанией Lurgi для проектирования агрегатов аммиака на природном газе в одну нитку с очень большой мощностью. Основная концепция технологии MEGAMMONIA заключается в использовании автотермического риформинга для производства синтез газа при более высоком давлении по сравнению со стандартным процессом, использовании техно"логии очистки от диоксида углерода, основанной на физической абсорбции CO₂ (Rectisol), которая более эффективна при повышенном давлении по сравнению со стандартными химическими процессами, а также в высокоэффективной конструкции конвертеров CO и конвертеров синтеза аммиака, что позволяет в комбинации с узлом промывки азотом сохранить размеры конвертеров CO и колонн синтеза аммиака, равно как и всего контура синтеза в конструкционных рамках даже при очень высокой производительности.



Технологический процесс MEGAMMONIA включает следующие основные отделения:

- разделение воздуха (ASU);
- обессеривание;
- автотермический риформинг (ATR);
- высокотемпературный кон" вертор CO;
- очистка от CO₂;
- промывка азотом;
- компрессия;
- синтез аммиака.

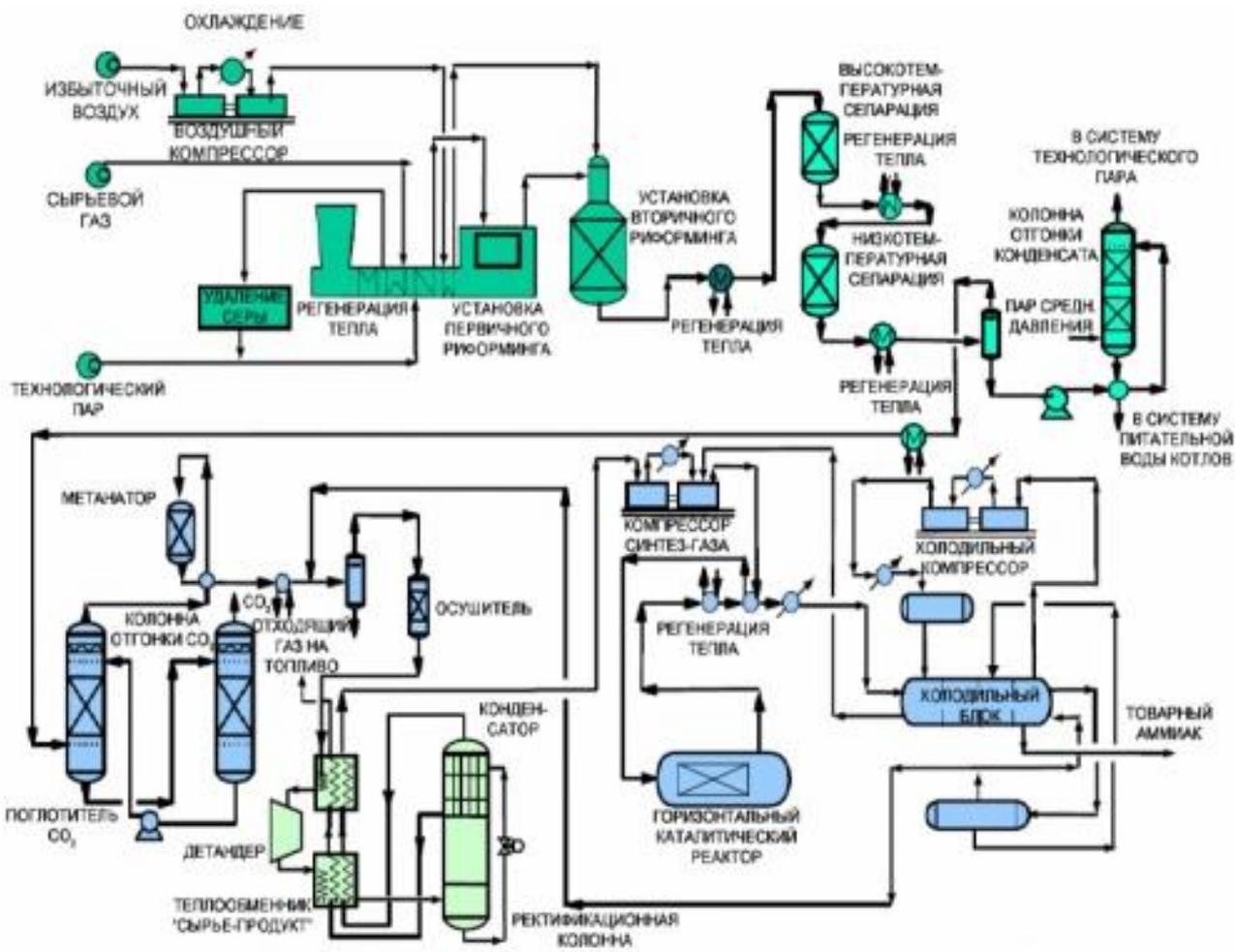
Блок ASU, являясь хорошо известным и широко используемым процессом, используется для получения газообразного потока почти чистого кислорода, который требуется в ATR, и потока чистого азота, который используется для осушки синтез-газа и удаления всех инертных, поставляя при этом требуемое количество азота для отделения синтеза. Блок ATR, располагающийся после секции обессеривания природного газа, состоит из предриформинга, где происходит превращение всех высших углеводородов в водород и метан, далее находится огневой подогреватель газа и сам реактор ATR. Использование ATR позволяет получать большое количество синтез-газа без ограничений первичного риформинга по размерам и рабочему давлению. Фактически ATR помогает избежать установки параллельно работающих отделений и максимально упрощает конструкцию агрегата, что, в свою очередь, дает преимущество — уменьшение капитальных затрат.

Отделение синтеза аммиака основано на применении аксиально-радиальной конструкции. Колонна синтеза аммиака имеет трехполочную конструкцию с двумя промежуточными теплообменниками. Наиболее эффективная конструкция конвертора синтеза в комбинации с отсутствием инертных позволяет достичь очень большой мощности контура синтеза. После колонны синтеза располагается котел, сконструированный с соответствия с передовым проектом Казале. Благодаря инновационному проекту и особенностям технологии MEGAMMONIA обладает выдающимися показателями работы, такими как очень низкое энергопотребление (оцениваемые как сырьевые потоки + топливо + импорт пара от пускового котла и экспорт пара на агрегат карбамида) — около 6,6 Гкал/МТ аммиака. Эти выдающиеся показатели позволяют строить агрегаты в одну нитку с очень большой мощностью (4000 т/сут и выше).

A.6 KBR [Kellogg Brown& Root] (США)

Технология производства аммиака KBR Purifier

производительностью до **2200** тонн в сутки



Очищенное от серы сырье смешивается с паром среднего давления, и смесь подогревается в конвективной части печи первичного риформинга с верхним расположением горелки. Далее подогретая сырьевая смесь распределяется по трубам, подвешенным в радиантной части печи. В трубах находится никелевый катализатор риформинга. Теплота, необходимая для эндотермической реакции риформинга, обеспечивается за счет сжигания топливного газа и отходящих газов из системы Purifier. Горелки расположены между рядами катализаторных трубок в верхней части печи. Таким образом, нагрев труб осуществляется с обеих сторон. Кроме того, плотность теплового потока достигает наибольшего уровня у верхней части труб, где температура технологического процесса ниже всего. Это позволяет обеспечить относительно равномерную нагрузку на трубы.

Выпускные коллекторы и вертикальные трубки располагаются внутри печи риформинга в целях экономии тепловой энергии. В печи первичного риформинга применены новейшие технологии обеспечения жаропрочности и теплоизоляции. Футеровка из керамического волокна в радиантной части печи, благодаря слабой аккумуляции тепла, обеспечивает высокую скорость термического реагирования. В местах возможного контакта пламени со стенками применяется твердый материал высшей огнеупорности. Такая конструкция печи риформинга позволяет эксплуатировать установку первичного риформинга с содержанием кислорода на выходе из радиантной части на уровне 2% (в пересчете на сухой вес).

Установка первичного риформинга рассчитана на достижение максимального теплового КПД (не ниже 93%) за счет рекуперации теплоты топочного газа в конвективной части. Регенерированное тепло применяется для следующих целей:

- Предварительный подогрев сырьевой смеси (газ/пар).
- Предварительный подогрев технологического воздуха.
- Перегрев пара. • Предварительный подогрев сырьевого газа.
- Предварительный подогрев воздуха горения.

Печи вторичного риформинга частично конвертированный газ из печи первичного риформинга вступает в реакцию с воздухом. На аммиачных заводах традиционной конструкции скорость тока воздуха устанавливается таким образом, чтобы обеспечивалась подача азота в объеме, необходимом для реакции синтеза аммиака. В установке с применением технологии Purifier™ воздух используется с избытком до 50%. Кислород воздуха выжигает часть технологического газа с выделением теплоты, необходимой для реакции риформинга. Затем поток газа направляется вниз сквозь слой никелевого катализатора риформинга, где температура снижается вследствие эндотермической реакции риформинга.

Избыток воздуха в технологическом процессе с применением технологии Purifier™ обеспечивает выработку теплоты, необходимой для интенсификации реакции в установке вторичного риформинга. Это позволяет примерно на треть уменьшить размеры установки первичного риформинга и существенно снизить температуру технологического процесса на выходе (около 725°) по сравнению с традиционной технологией производства аммиака. Снижение рабочей температуры позволяет продлить срок эксплуатации трубок и катализатора. Перенос нагрузки по риформингу из установки первичного риформинга в установку вторичного риформинга также дает преимущество, поскольку теплота в установке вторичного риформинга на 100% используется в технологическом процессе без потерь тепла в дымовых трубах.

В печи вторичного риформинга предусмотрена двухслойная жаропрочная футеровка. Внешняя водяная рубашка защищает корпус от прогара в случае нарушения целостности футеровки. Поток на выходе из установки вторичного риформинга, содержащий около 2,0% метана (в пересчете на сухой вес), охлаждается за счет производства и перегрева пара высокого давления перед подачей на конверсию. Для конверсии применяется традиционная двухступенчатая схема с использованием реакторов высокой и низкой температуры. Очистка от двуокиси углерода осуществляется с использованием проверенного двухступенчатого технологического процесса, приобретенного по лицензии у компании BASF. Технологический конденсат собирается, проходит очистку паром среднего давления в стриппинг-колонне и возвращается в качестве технологического пара на участок риформинга. Синтез-газ из расположенного в верхней части поглотителя CO₂ подогревается в теплообменнике и пропускается над катализатором метанаии для преобразования остаточных оксидов углерода в метан.

Для подготовки к сушке поток на выходе из метанатора охлаждается в теплообменнике сырьем метанатора и водой системы охлаждения. Затем поток, вышедший из метанатора, смешивается с

продувочным газом из рециркуляционной линии системы синтеза и дополнительно охлаждается аммиачным хладагентом до температуры около 4°C. Охлажденный газ из сепаратора конденсата поступает в систему осушки синтез-газа. Предусмотрены две установки осушки. В них расположены влагопоглощающие молекулярные фильтры; установки функционируют попеременно с рабочим циклом 24 часа. На выходе из этих установок совокупное содержание воды, CO₂ и NH₃ снижается до уровня менее 1,0 объемных частей на миллион. Регенерация молекулярных фильтров системы осушки осуществляется с помощью отходящего газа из установки Purifier.

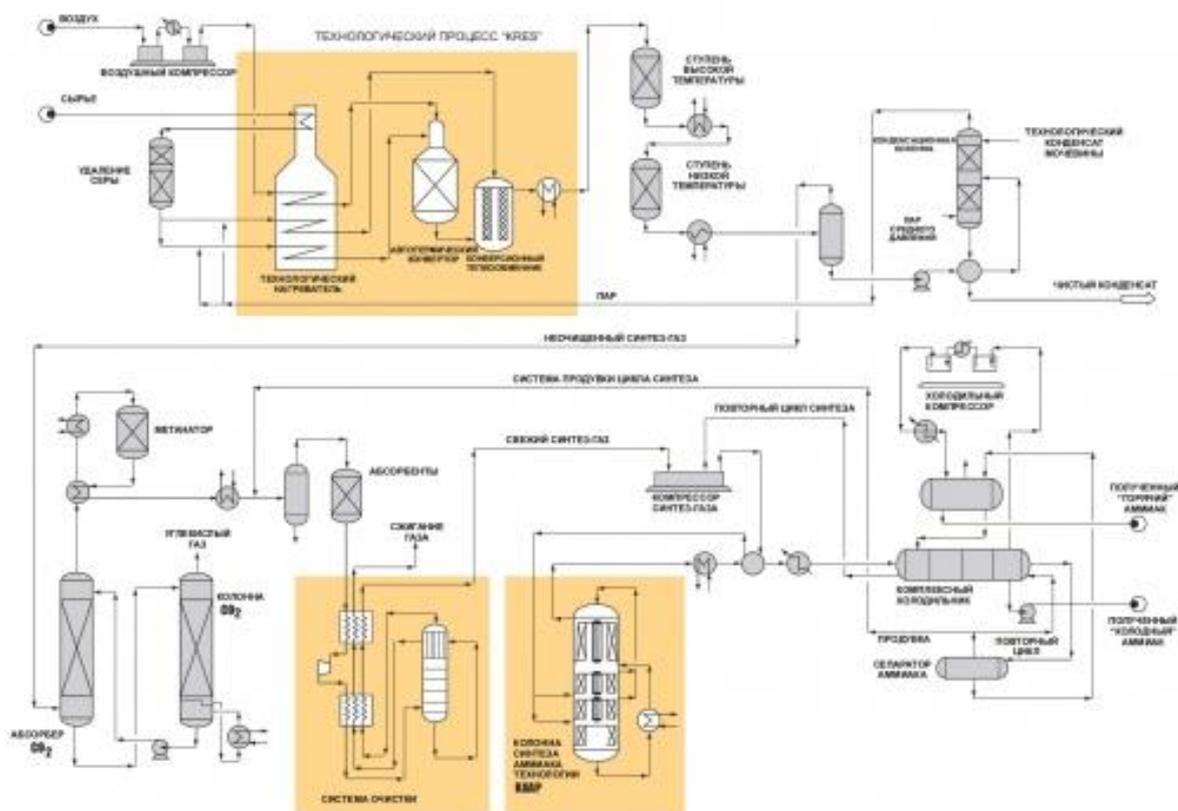
Криогенная система Purifier осуществляет окончательную очистку сырьевого синтез-газа. В состав установки входят три компонента: теплообменник «сырье-продукт», низкоскоростной детандер и ректификационная колонна со встроенным конденсатором в верхней части. Осушенное сырье, поступающее в установку Purifier с соотношением H/N около 2,0, сначала охлаждается в верхней части теплообменника за счет очищенного и отходящего газа. Затем поток поступает в турбодетандер, где происходит расширение сырья и отбор энергии для общего охлаждения в криогенной установке. Поток на выходе из детандера дополнительно охлаждается и частично конденсируется в нижней части теплообменника, а затем поступает в ректификационную колонну. Весь метан, около 60% аргона и весь избыток азота, поступающие в установку Purifier, удаляются в виде «остатка» ректификации. Жидкость из нижней части ректификационной колонны частично испаряется при пониженном давлении во внутрубной зоне конденсатора в верхней части ректификационной колонны для обеспечения орошения колонны.

Далее она подогревается за счет теплообмена с сырьевым газом установки Purifier и отводится в виде отходящего газа для регенерации молекулярных фильтров. Далее отходящий газ используется в качестве топлива в технологическом подогревателе. Синтез-газ с содержанием аргона около 0,25% и отношением H/N около 3 вновь подогревается за счет теплообмена с сырьем установки Purifier и поступает на вход компрессора синтез-газа.

Очищенный газ компримируется примерно до 150 бар в смеси с непрореагировавшим рециркуляционным газом. По выходе из компрессора поток подогревается в теплообменнике «сырье-продукт» и поступает в горизонтальный реактор. В реакторе уровень конверсии аммиака поднимается с примерно 2% до 19% за счет прохождения над тремя слоями магнетита, выступающего в качестве катализатора. Поток на выходе из реактора охлаждается за счет производства пара высокого давления, в теплообменнике «сырье-продукт», в системе водяного охлаждения и, наконец, в холодильном блоке Unitized Chiller, разработанном компанией KBR. Традиционная система охлаждения обеспечивает требуемый уровень охлаждения. Незначительный поток продувочного газа рециркулирует выше установок осушки с целью восстановления водорода и азота. Охлажденный аммиак поступает из системы синтеза в хранилище.

Технология производства аммиака KBR KAAPlus

производительностью до 2200 тонн в сутки



В технологической схеме KAAPplus™ используется технология KRES с подачей избыточного количества воздуха в автотермическую установку риформинга. Избыточное количество азота, а также метан и большая часть аргона и иных примесей удаляются в установке «Purifier», разработанной компанией КБР. Получающийся в результате этого подпиточный синтез-газ высокой степени очистки подвергается компримированию в однокорпусном компрессоре синтез-газа до давления системы синтеза технологии КААР, которое составляет порядка 90 бар.

По сравнению с традиционными технологическими схемами, сокращение капитальных затрат при использовании технологии KAAPplus™ составляет порядка 10%. Данное сокращение затрат обусловлено следующими проектными факторами:

- Отсутствие установки сепарации воздуха
- Отсутствие установки первичного риформинга
- Однокорпусный компрессор синтез-газа
- Синтез при давлении 90 бар
- Отсутствие системы улавливания продувочного газа
- Меньшая площадь завода

При уменьшении капитальных затрат логичным является также и сокращение затрат на выполнение технического обслуживания. Это действительно так, поскольку при использовании

технологической схемы KAAPplus™ не применяется установка первичного риформинга и в значительной мере упрощается конструкция компрессора синтез-газа, а именно эти два элемента оборудования традиционных заводов по производству аммиака требуют наибольшего объема технического обслуживания. Кроме того, технологическая схема KAAPplus™ обеспечивает снижение экстремальности рабочих условий. По сравнению с установками, использующими традиционные технологии, температура на выходе риформингового теплообменника и автотермической установки риформинга ниже на 100°. Давление синтеза составляет 90 бар, что значительно ниже давления синтеза у других технологических процессов.

Как при использовании технологии КААР, технологическая схема KAAPplus™ обеспечивает экономию порядка 0,25 Гкал/тонну по сравнению с проектами, использующими в качестве катализатора синтеза магнетит.

По сравнению с другими технологиями производства аммиака, при использовании технологической схемы KAAPplus™ повышается эксплуатационная гибкость. Это обусловлено:

- Более быстрый и менее сложный запуск в эксплуатацию, в связи с применением технологии KRES;
- Упрощенная регулировка соотношения водорода и азота на установке «Purifier»;
- Отключение установки риформинга и замена катализатора не влияет на производительность систем.

Сочетание технологий KRES и Purifier позволяет усовершенствовать технологическую схему производства аммиака в двух отношениях. Во-первых, отпадает необходимость обеспечения малого уровня переноса метана из установки риформинга. При наличии установки Purifier ниже по потоку относительно установки KRES температура процесса риформинга может быть понижена. Хотя при этом возрастает перенос метана, установка Purifier очистит синтез-газ и обеспечит высокую чистоту смеси в системе синтеза.

Во-вторых, при сочетании технологий KRES и Purifier отпадает потребность в установке сепарации воздуха. Избыточный технологический воздух обеспечивает достаточное количество теплоты для поддержания процесса риформинга в теплообменнике KRES. Только компания KBR располагает проверенной технологической схемой, которая может использовать риформинговый теплообменник без установки сепарации воздуха.

Помимо сочетания технологий Purifier и KRES, ряд преимуществ предлагает и сочетание технологии Purifier с технологией синтеза КААР. К числу таких преимуществ относятся уменьшение скорости продувки и ликвидация потребности в установке регенерации продувочного газа. Новые заводы на базе технологии КААР оптимизированы для эксплуатации системы синтеза при концентрации инертного газа около 5,5%. Для поддержания столь низкой концентрации при подаче синтез-газа, подготовленного по обычной технологической схеме, требуется довольно высокая скорость продувки.

В синтез-газе, поступающем из установки Purifier, содержание инертного газа существенно ниже, всего около 0,25%, причем весь оставшийся газ – аргон. В результате, для поддержания уровня концентрации инертных газов в системе синтеза КААРplus™ на том же уровне достаточно скорости продувки, составляющей 15% от скорости продувки в системе КААР без установки Purifier. Более низкая скорость продувки представляет ряд преимуществ. Она позволяет снизить мощность оборудования регенерации аммиака, используемого для очистки от аммиака продувочного газа. Во-вторых, поскольку продувочный газ рециркулируется через компрессор синтез-газа, мощность данного оборудования также может быть снижена. Сокращение расхода составляет приблизительно десять процентов по массе или около трех процентов по объему.

Наибольшее преимущество использования технологии Purifier в сочетании с системой КААР заключается в том, что в этом случае отпадает потребность в установке регенерации продувочного газа. Небольшой поток продувочного газа после регенерации аммиака подается на врезку выше сушилок синтез-газа для восстановления водорода и азота. Поскольку в установке Purifier за один проход отделяется лишь 60% аргона, аргон скапливается в этом рециркулирующем потоке до тех пор, пока весь аргон, поступающий с технологическим воздухом, не будет отделен. Таким образом, установка Purifier выполняет также функции установки регенерации продувочного газа. Весь аргон и метан в конечном итоге удаляются из синтез-газа в установке Purifier и направляются в технологический подогреватель, где используются в качестве топлива.

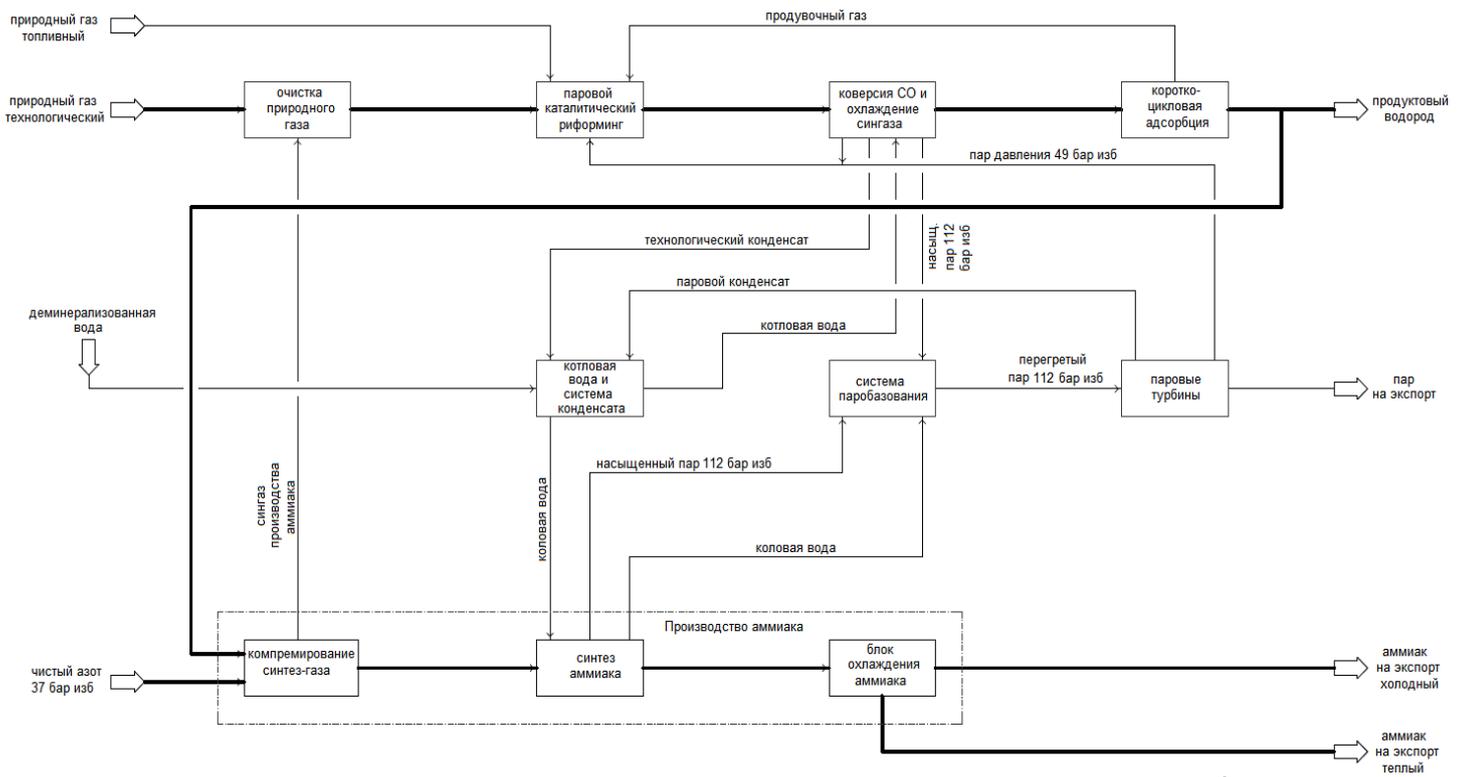
A.7 Linde (Германия)

Описание процесса LAC Linde Ammonia Concept

производительностью до **2200** тонн в сутки

Процесс производства аммиака по технологии LAC основан на получении чистого водорода из природного газа с последующим смешением с чистым азотом для получения аммиака. Процесс состоит из следующих основных стадий:

- очистка природного газа от сернистых соединений и тяжелых металлов;
- смешение пара и очищенного природного газа;
- паровой каталитический риформинг природного газа;
- охлаждение конвертированного газа;
- паровая каталитическая конверсия оксида углерода;
- коротко-цикловая адсорбция с получением чистого водорода;
- смешение очищенного водорода с чистым азотом;
- компримирование синтез-газа до 15 МПа;
- синтез аммиака;
- конденсация аммиака из циркуляционного газа;
- охлаждение жидкого аммиака.



Блок-схема технологического процесса производства аммиака по технологии LAC

ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Процесс газификации угля осуществляется в несколько стадий. Итоговая реакция процесса газификации угля является эндотермической и для ее реального осуществления необходимо подводить к системе теплоту (900-1200°C). Эта теплота в конечном итоге может быть получена за счет дополнительного сжигания некоторого количества угля (автотермический процесс). Подвод теплоты для осуществления реакций окисления углерода может быть организован также через стенку реактора или непосредственным добавлением кислорода и водяного пара в реакционный объем (аллотермический процесс). Продукты парокислородной газификации представляют собой смесь CO₂, CO и H₂. На первой стадии обычно не весь углерод оказывается полностью окисленным, что требует организации последующего доокисления окиси углерода до CO₂ с целью получения дополнительного количества водорода.

На рисунке А3 показана схема производства газообразного водорода по методу газификации угля. По этой технологии удельный расход угля равен 7,0-7,5 кг/кг H₂; воды - 9 кг; электроэнергии - 0,7-0,8 кВтч. Выбросы CO₂ составляют 21,8 кг. Как видно, в процессе газификации угля при одинаковом выходе водорода выбросы CO₂ оказываются в 2,3 раза больше, чем при получении газообразного водорода по методу ПКМ.

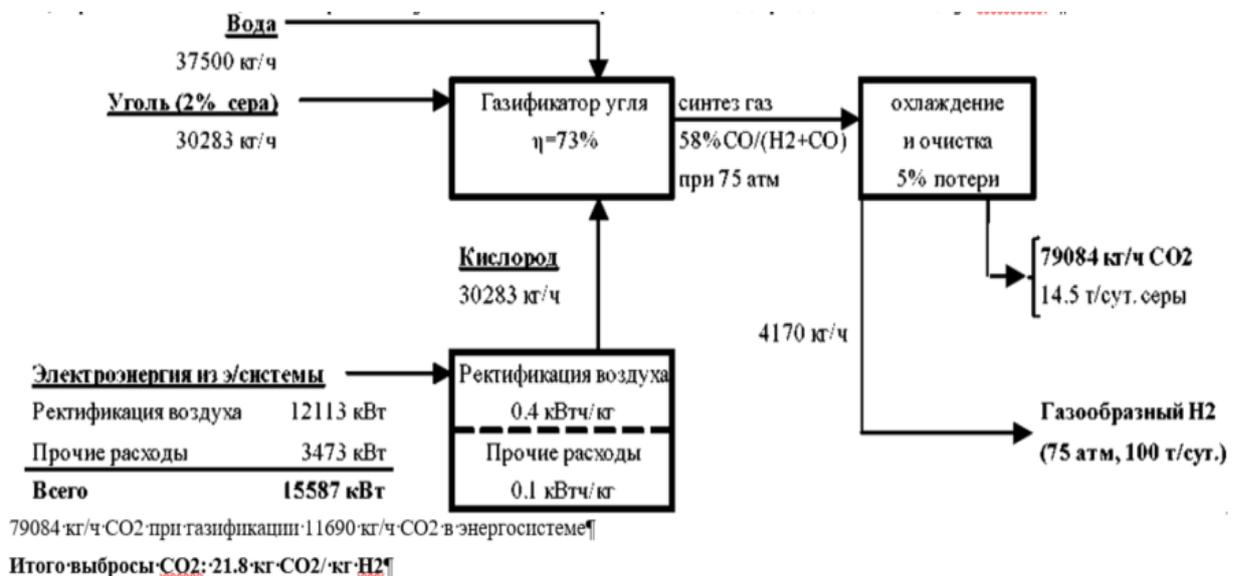


Рисунок А3 - Модель производства сжатого водорода путем газификации угля

ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДЫ

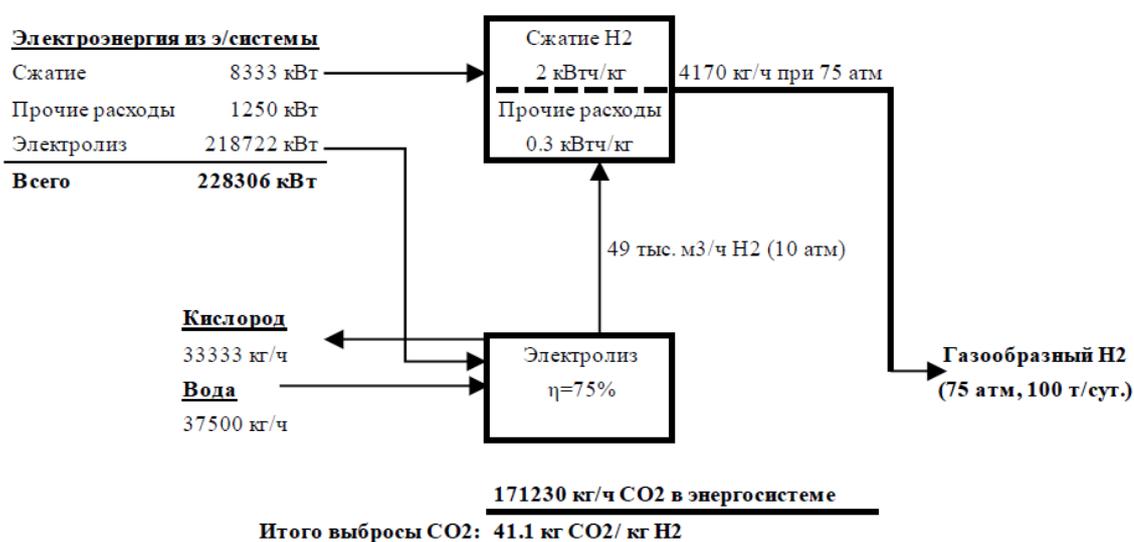
Наиболее широко используемая технология электролиза основана на применении щелочных

электролитов. Усовершенствованные щелочные электролизеры могут быть использованы для крупномасштабного производства водорода из воды с относительно высокой суммарной эффективностью преобразования первичной энергии, равной 2836% с учетом КПД электростанции на уровне 35-40%.

Между тем, перспективы электролиза связаны с применением твердо-полимерных электролизеров (ТПЭ) с платиновыми катализаторами, обеспечивающих более высокий выход водорода. ТПЭ электролизеры характеризуются значительно большими удельными капитальными затратами, чем щелочные, но эти затраты уменьшатся при переходе к большим объемам производства. ТПЭ электролизеры имеют преимущества при эксплуатации, чем щелочные, и способны работать в обратном направлении, как топливные элементы для производства электричества из водорода.

Еще один тип электролизеров - высокотемпературные электролизеры. Высокотемпературный электролиз водяного пара происходит при температурах 800 - 1000°C. Требования к электродным материалам при таких условиях очень высоки. Материалы должны обладать высокой коррозионной стойкостью и механической прочностью.

В качестве источника электроэнергии для электролиза целесообразно рассматривать несколько вариантов: энергоснабжение от энергосистемы и выработка электроэнергии на месте на базе возобновляемых источников энергии, например, солнечной или ветровой энергии.

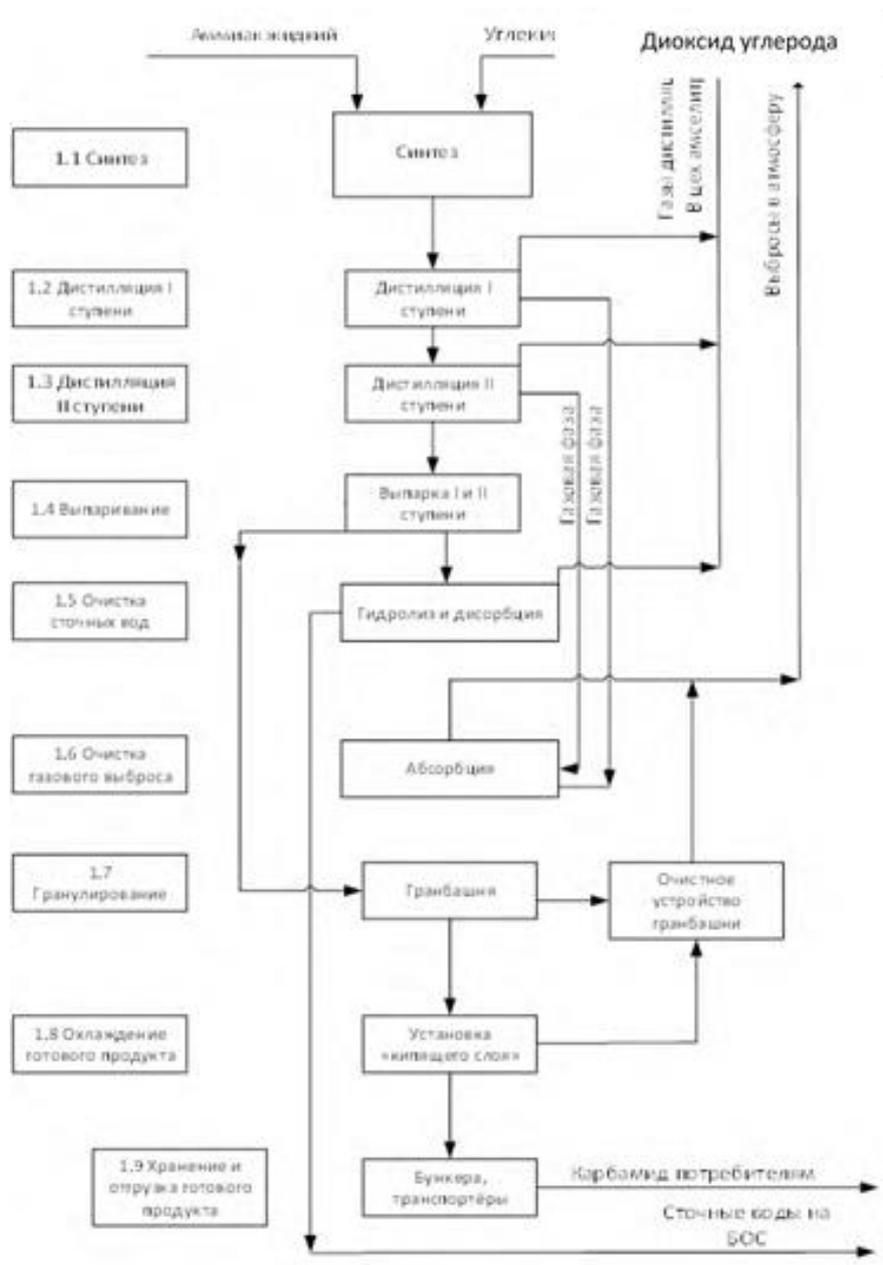


**Приложение Б –
Технологии производства карбамида
ПОЛНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ РЕЦИКЛ**

Б.1 НИИК

Технология производства карбамида АК-70

Синтез карбамида из жидкого аммиака и газообразного диоксида углерода по технологии полного жидкостного рецикла проходит при температуре 180–195 °С и давлении 18,5–20 МПа, с последующим выделением непрореагировавших компонентов на двух ступенях дистилляции и возвратом (рециклом) в узел синтеза в виде раствора карбамата.



Описание технологического процесса

№ подпроцесса	Вход	Подпроцесс	Выход	Основное оборудование	Эмиссии (наименование)
1.1	Аммиак	Компрессия	Аммиак	Насос	
1.2	Диоксид углерода	Компрессия	Диоксид углерода	Компрессор	
1.3	Аммиак, диоксид углерода	Смешение	Раствор карбамата	Смеситель	
1.4	Аммиак, диоксид углерода, карбамат аммония	Синтез	Раствор карбамида и карбамата аммония	Реактор синтеза	
1.5	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Дистилляция и рециркуляция	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Колонна дистилляции, конденсаторы	Аммиак, диоксид углерода
1.6	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Выпаривание, конденсация	Плав карбамида	Испаритель, вакуум-сепаратор, конденсатор	Аммиак
1.7	Газы дистилляции	Абсорбция газов	Водный раствор аммиака	Абсорбер	Аммиак
1.8	Водный раствор аммиака и карбамида	Десорбция и гидролиз	Аммиак	Десорбер (колонна ректификации аммиака), гидролизёр	Аммиак, карбамид

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Насос аммиака высокого давления	Компримирование аммиака	Давление нагнетания 20 МПа
Компрессор CO ₂ центробежный с паровой турбиной	Компримирование диоксида углерода	Давление нагнетания 20 МПа
Карбаматный насос	Подача раствора карбамата в узел синтеза	Давление нагнетания 20 МПа
Смеситель	Смешение аммиака с диоксидом углерода (синтез карбамата)	Давление 20 МПа
Реактор синтеза карбамида	Синтез карбамида	Давление 20 МПа Температура 200 °С
Ректификационная колонна 1-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 1,8 МПа Температура 160 °С
Подогреватель 1-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 1,8 МПа Температура 160 °С
Сепаратор 1-й ступени	Разделение газожидкостной смеси	Давление 1,8 МПа Температура 160 °С

Конденсатор 1-й ступени (барботер)	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 1,8 МПа Температура 100 °С
Промывная колонна	Поглощение CO ₂ из газовой фазы	Давление 1,8 МПа Температура 70 °С
Конденсатор аммиака	Конденсация NH ₃	Давление 1,8 МПа Температура 25 °С
Ректификационная колонна 2-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 0,3 МПа Температура 140 °С
Подогреватель 2-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 0,3 МПа Температура 140 °С
Сепаратор 2-й ступени	Разделение газожидкостной смеси	Давление 0,3 МПа Температура 140 °С
Конденсатор 2-й ступени	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 0,3 МПа Температура 50 °С
Испаритель 1-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,03 МПа (абс.) Температура 130 °С
Сепаратор 1-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,03 МПа (абс.) Температура 130 °С
Испаритель 2-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С
Сепаратор 2-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С

Технология производства карбамида URECON Stripping 3000

Усовершенствованная технология **стриппинг-процесса в токе CO₂** для установок мощностью свыше 1000 т/сутки. Благодаря запатентованной АО «НИИК» схеме, повышается эффективность работы узла синтеза по сравнению с классической схемой CO₂-стриппинга. Технология URECON Stripping 3000 рассматривается как технология для строительства новых агрегатов большой мощности (до 3000 т/сутки). Отдельные элементы технологии могут быть использованы для реконструкции действующих производств, работающих по стриппинг-технологиям.

Краткая характеристика технологии URECON Stripping 3000:

- Благодаря более эффективной работе узла синтеза снижаются размеры оборудования и соответственно инвестиционные затраты на строительство установки. Наиболее привлекательным является использование процесса для строительства новых агрегатов большой мощности.
- Техничко-экономические показатели на уровне мировых лицензиаров. Расходные коэффициенты составляют: по NH₃ – 584 кг/т, по CO₂ – 767 кг/т, по пару – 0,756 Гкал/т.
- Возможность реконструкции существующих агрегатов с CO₂ стриппинг-процессом.
- Проведён успешный пуск в работу агрегата мощностью **2050 т/сутки на ПАО «Акрон»**.
- Разработан базовый проект для агрегата мощностью до 3000 т/сутки.
- Разработано ТЭОИ строительства агрегата мощностью 3150 т/сутки.

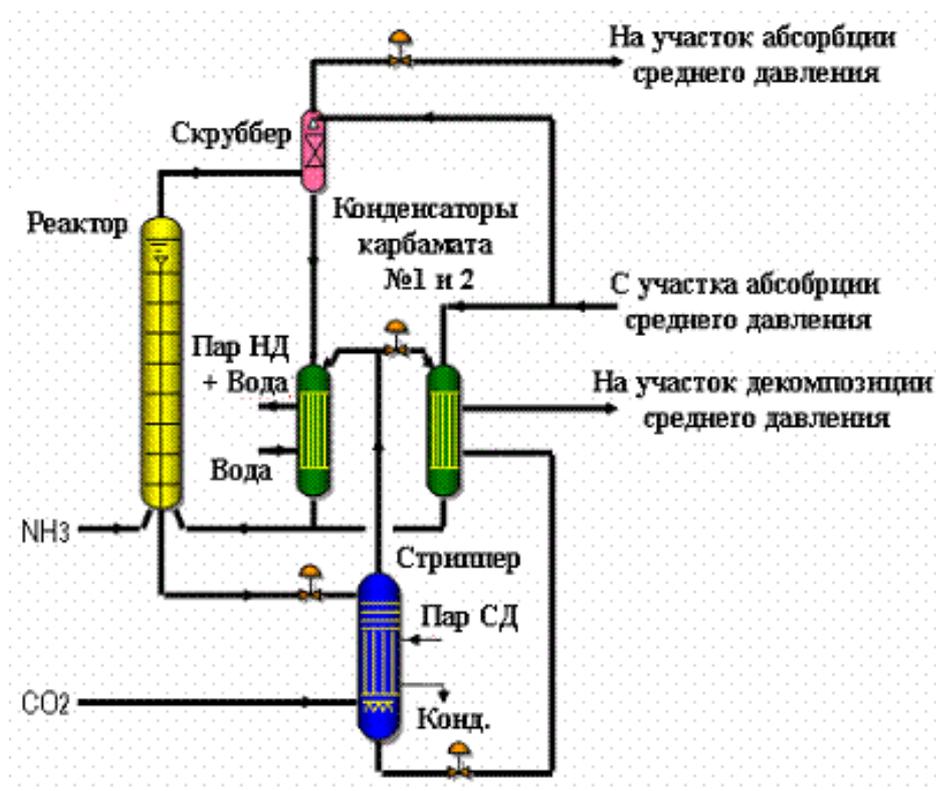
Б.3 ТЕС [Тоyo Engineering corp.] (Япония)

Технология производства карбамида ТЕС ACES 21

усовершенствованный процесс «С» с полным жидкостным рециклом

С момента учреждения в 1961 году компания Тоyo Engineering Corporation приобрела известность как инженеринговый подрядчик и лицензиар процесса получения карбамида. За прошедшие годы компания выполняла проектирование, строительство и пуско-наладку более чем 100 установок карбамида по собственным технологиям, включая процесс грануляции карбамида.

В схеме ТЕС, как и в классической схеме с полным жидкостным рециклом используется один аппарат с высоким давлением (реактор синтеза) и трехступенчатая дистилляция.



Основным оборудованием на участке синтеза являются реактор, стриппер, конденсатор карбамата и эжектор. Реакция синтеза протекает при температуре 190 °С и давлении 170 бар.

Описание технологического процесса

№ подпроцесса	Вход	Подпроцесс	Выход	Основное оборудование	Эмиссии (наименование)
1.1	Аммиак, диоксид углерода	Прием и хранение сырья	Аммиак, диоксид углерода	Скруббер-охладитель CO ₂ , реактор выжигания горючих, фильтр NH ₃	
1.2	Аммиак	Компрессия	Аммиак	Насос	

1.3	Диоксид углерода	Компрессия	Диоксид углерода	Компрессор	
1.4	Аммиак, диоксид углерода, раствор карбамата	Синтез карбамида	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Реактор синтеза	
1.6	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Дистилляция и рециркуляция	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Подогреватели, сепараторы, конденсаторы	
1.7	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Кристаллизация, конденсация	Плав карбамида	Кристаллизаторы, конденсаторы	
1.8	Водный раствор аммиака и карбамида	Десорбция, гидролиз	Аммиак	Десорбер, гидролизер	Аммиак, карбамид
1.9	Газообразный аммиак, инерты	Абсорбция	Газообразный аммиак, инерты	Абсорберы	Аммиак

Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Насос аммиака высокого давления	Компримирование аммиака	Давление нагнетания 25 МПа
Компрессор CO ₂ центробежный с паровой турбиной	Компримирование диоксида углерода	Давление нагнетания 25 МПа
Реактор синтеза карбамида	Синтез карбамида	Давление 25 МПа Температура 200 °С
Насос раствора карбамата	Подача раствора карбамата в узел синтеза	Давление 25 МПа Температура 100 °С
Колонна дистилляции 1-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 1,7 МПа Температура 165 °С
Кипятильник 1-й ступени дистилляции	Разложение карбамата аммония	Давление 1,7 МПа Температура 151 °С
Конденсатор 1-й ступени дистилляции (барботер)	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 1,7 МПа Температура 100 °С
Абсорбер высокого давления	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 1,7 МПа Температура 60 °С
Колонна дистилляции 2-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 0,25 МПа Температура 115 °С
Кипятильник 2-й ступени дистилляции	Разложение карбамата аммония	Давление 0,25 МПа Температура 115 °С
Абсорбер низкого давления (барботер)	Абсорбция NH ₃ и CO ₂	Давление 0,25 МПа Температура 70 °С
Газосепаратор (3-я ступень дистилляции)	Разложение карбамата аммония	Давление — атмосферное Температура 106 °С
Абсорбер под атмосферным давлением (узла дистилляции)	Очистка отходящих газов	Давление — атмосферное Температура 36 °С
Кристаллизатор	Разделение жидкой и газовой фаз	Давление — атмосферное Температура 60 °С

Природоохранное оборудование

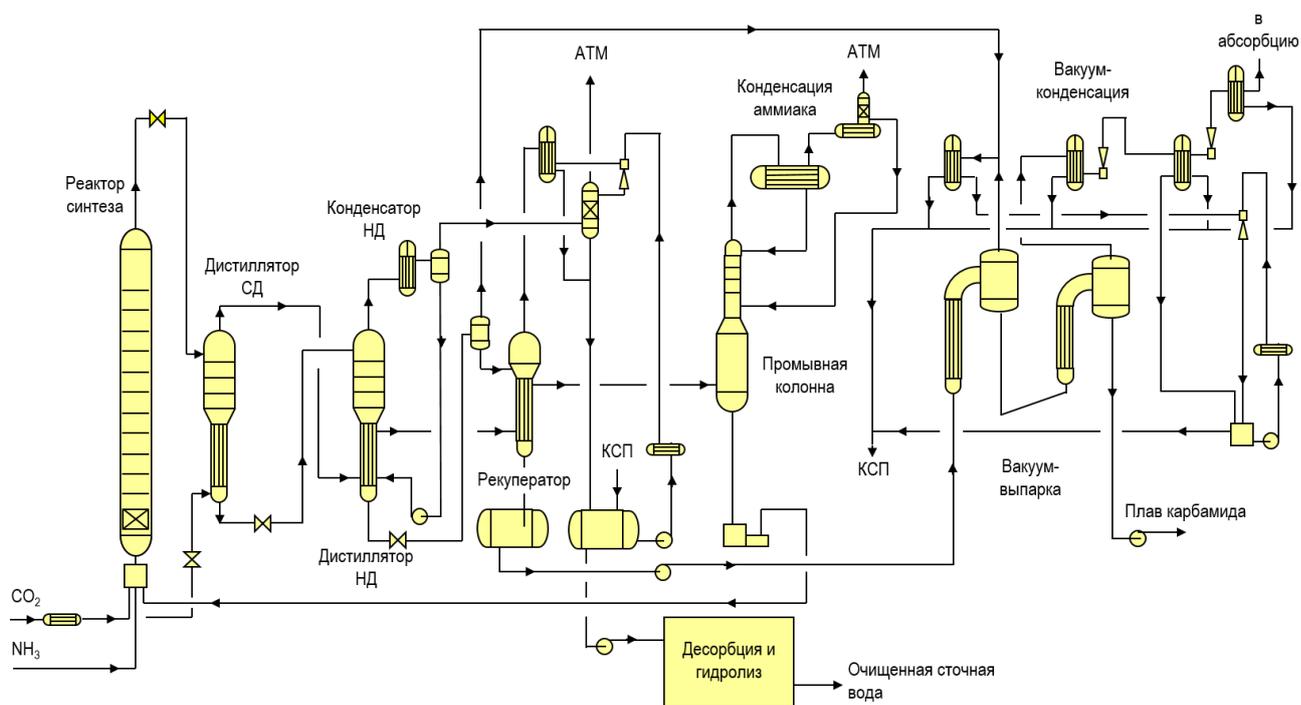
Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Промывная колонна отходящих газов	Очистка отходящих газов	Давление — атмосферное Температура 40 °С
2-ая отпарная колонна	Удаление NH ₃ и CO ₂ из сточной воды	Давление 0,28 МПа Температура 125 °С
Гидролизер	Разложение карбамида в сточной воде	Давление — 1 МПа Температура 180 °С

Б.3 STAMICARBON

Технология производства карбамида URECON®2006

Технология URECON® 2006 представляет собой усовершенствованную схему с полным жидкостным рециклом. URECON® 2006 использует принципиально новые аппараты и устройства с оптимизированной гидродинамикой движения потоков внутри аппаратов и высокой эффективностью тепло- и массообмена. Технология URECON® 2006 может быть использована как для проведения реконструкции агрегата карбамида, так и для строительства нового агрегата карбамида по схеме усовершенствованного полного жидкостного рецикла.

Основные отличия URECON®2006 от технологии полного жидкостного рецикла кроются в конструкции узла синтеза и оформлении узлов дистилляции среднего и низкого давлений.



Описание технологического процесса

№ подпроцесса	Вход	Подпроцесс	Выход	Основное оборудование	Эмиссии (наименование)
1.1	Аммиак	Компрессия	Аммиак	Насос	
1.2	Диоксид углерода	Компрессия	Диоксид углерода	Компрессор	
№ подпроцесса	Вход	Подпроцесс	Выход	Основное оборудование	Эмиссии (наименование)
1.3	Аммиак, диоксид углерода	Смешение	Раствор карбамата	Смеситель	
1.4	Аммиак, диоксид углерода, раствор карбамата	Синтез	Раствор карбамида и карбамата аммония	Реактор синтеза	
1.5	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Дистилляция и рециркуляция	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Колонна дистилляции, конденсаторы	
1.6	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Выпаривание, конденсация	Плав карбамида	Испаритель, вакуум-сепаратор, конденсатор	
1.7	Газы дистилляции	Абсорбция газов	Водный раствор аммиака	Абсорбер	Аммиак
1.8	Водный раствор аммиака и карбамида	Десорбция и гидролиз	Аммиак	Десорбер (колонна ректификации аммиака), гидролизёр	Аммиак, карбамид

Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Насос аммиака высокого давления	Компримирование аммиака	Давление нагнетания 20 МПа
Компрессор CO ₂ центробежный с паровой турбиной	Компримирование диоксида углерода	Давление нагнетания 20 МПа
Карбаматный насос	Подача раствора карбамата в узел синтеза	Давление нагнетания 20 МПа
Смеситель	Смешение аммиака с диоксидом углерода (синтез карбамата)	Давление 20 МПа
Реактор синтеза карбамида	Синтез карбамида	Давление 20 МПа Температура 200 °С
Дистиллятор 1-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 1,8 МПа Температура 165 °С
Конденсатор 1-й ступени (барботер)	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 1,8 МПа Температура 100 °С
Промывная колонна	Поглощение CO ₂ из газовой фазы	Давление 1,8 МПа Температура 70 °С
Конденсатор аммиака	Конденсация NH ₃	Давление 1,8 МПа Температура 25 °С

Дистиллятор 2-й ступени	Разложение карбамата аммония	Давление 0,3 МПа Температура 135 °С
Конденсатор 2-й ступени	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 0,3 МПа Температура 50 °С
Теплообменник-рекуператор	Удаление аммиака из раствора карбамида.	Давление 0,05–0,06 МПа (абс.) Температура 105 °С
Испаритель 1-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,03 МПа (абс.) Температура 130 °С
Сепаратор 1-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,03 МПа (абс.) Температура 130 °С
Испаритель 2-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С
Сепаратор 2-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С

Природоохранное оборудование

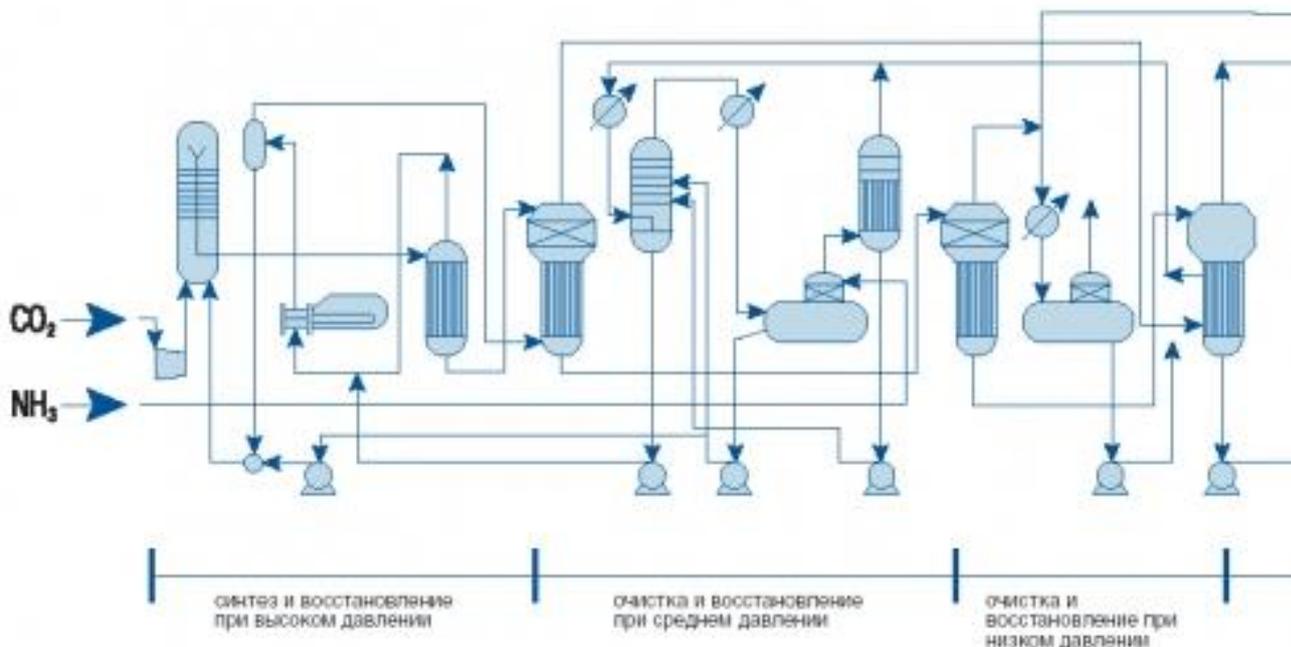
Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Хвостовой абсорбер	Абсорбция аммиака после стадий: синтеза; дистилляции; ректификации	Давление — атмосферное Температура 45 °С
Хвостовой конденсатор	Конденсация аммиака после узла выпаривания	Давление — атмосферное Температура 45 °С
Десорбер 1-й ступени	Удаление NH ₃ и CO ₂ из сточной воды	Давление 0,35 МПа Температура 140 °С
Десорбер 2-й ступени	Удаление NH ₃ и CO ₂ из сточной воды	Давление — атмосферное/ или 0,35 МПа Температура 110 °С
Гидролизер	Разложение карбамида в сточной воде	Давление 1,8-2,1 МПа Температура 190 °С

СТРИППИНГ

Б.4 SNAMPROGETTI

Технология производства карбамида SNAMPROGETTI

Технология производства карбамида SNAMPROGETTI состоит из следующих стадий:



- 1) синтез и восстановление при высоком давлении (ВД)
- 2) очистка и восстановление при среднем давлении (СД)
- 3) очистка и восстановление при низком давлении (НД)
- 4) вакуумная концентрация
- 5) процесс очистки конденсата
- 6) завершающий этап: приллирование

Б.5 CASALE

Технология производства карбамида CASALE

Контур с разделенными потоками™

малой производительности

Эта технология представляет собой улучшенный процесс стриппинга CO₂.

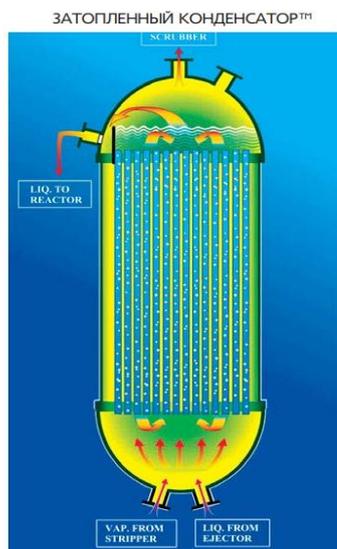
При технологии Контур с разделенными потоками™ секция синтеза работает с очень низким содержанием инертов и имеет следующие преимущества:

- ■ высокая степень конверсии CO₂ в реакторе (до 63-64%);
- ■ высокая эффективность стриппингования;
- ■ высокая эффективность конденсации.

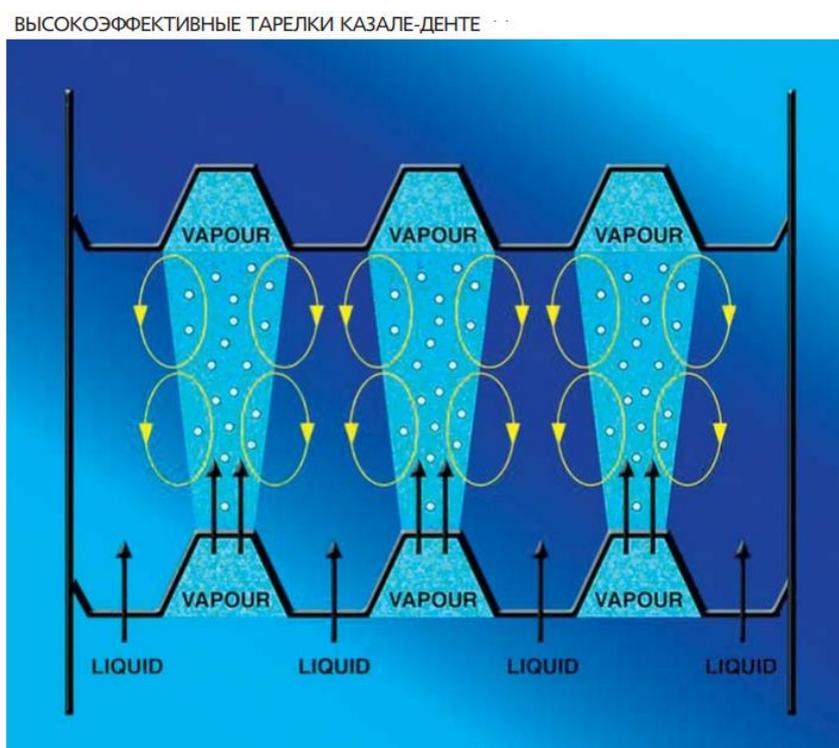
Поэтому технология Контур с разделенными потоками™ является высокоэффективной технологией для малой производительности и оборудования небольшого размера с низкими капитальными вложениями. Технология Контур с разделенными потоками™ фирмы «Казале» подходит также для агрегатов с большой мощностью. Наиболее критическое оборудование для данной производительности имеет меньшие размеры, чем в агрегатах с традиционными технологиями.

Основными элементами, характеризующими контур ВД Контур с разделенными потоками™, являются:

- ■ Затопленный конденсатор Казале.

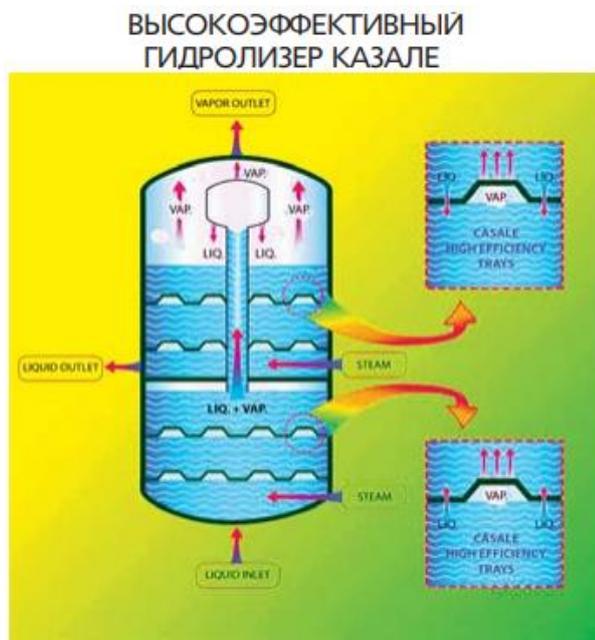


- ■ Высокоэффективные тарелки Казале-Денте.



- ■ Высокоэффективный гидролизер Казале, используемый в установке обработки технологического конденсата.

.Высокоэффективный гидролизер Казале повышает эффективность процесса стриппинга паром для удаления NH_3 и CO_2 из конденсата с отделения обработки сточных вод для полного гидролиза содержания карбамида.



Технология Контур с разделенными потоками™ имеет очень высокие показатели:

- ■ общее потребление пара (24 бар) — 750 кг/МТ;
- ■ потребление CO_2 — 735 кг/МТ;
- ■ потребление NH_3 — 568 кг/МТ;
- ■ потребление электроэнергии — 22 кВт ч/МТ.

Высокая эффективность технологии Контур с разделенными потоками™ позволяет снизить для данной производительности размер оборудования и, следовательно, построить завод с более низкими капитальными затратами по сравнению с другими технологиями.

Конструкция Казале-Денте улучшает геометрию тарелок, обеспечивая очень хороший перенос NH_3 и CO_2 из паров в жидкую фазу, в которой образуется карбамид.

Б.6 STAMICARBON

Технология производства карбамида Stamicarbon

Производство карбамида из жидкого аммиака и газообразной двуокиси углерода по технологии стриппинга в токе CO_2 компании Stamicarbon, Нидерланды производится при температуре 170–185 °С и давлении 13,5–14,5 МПа.

Непрореагировавшие NH_3 и CO_2 выделяют из плава синтеза и конденсируют их при высоком давлении. При этом теплоту конденсации газов дистилляции можно отводить при сравнительно высокой температуре, получая пар низкого давления, пригодный для утилизации. Выделение непрореагировавших веществ при высоком давлении осуществляют продувкой CO_2 .

В стриппинг-процессах большую часть непревращенного карбамата аммония, содержащегося в плаве синтеза, удаляют и возвращают в реактор до того, как понизить давление. Это позволяет снизить количество воды в возвращаемых компонентах, что приводит к улучшению условий синтеза, уменьшению энергозатрат.

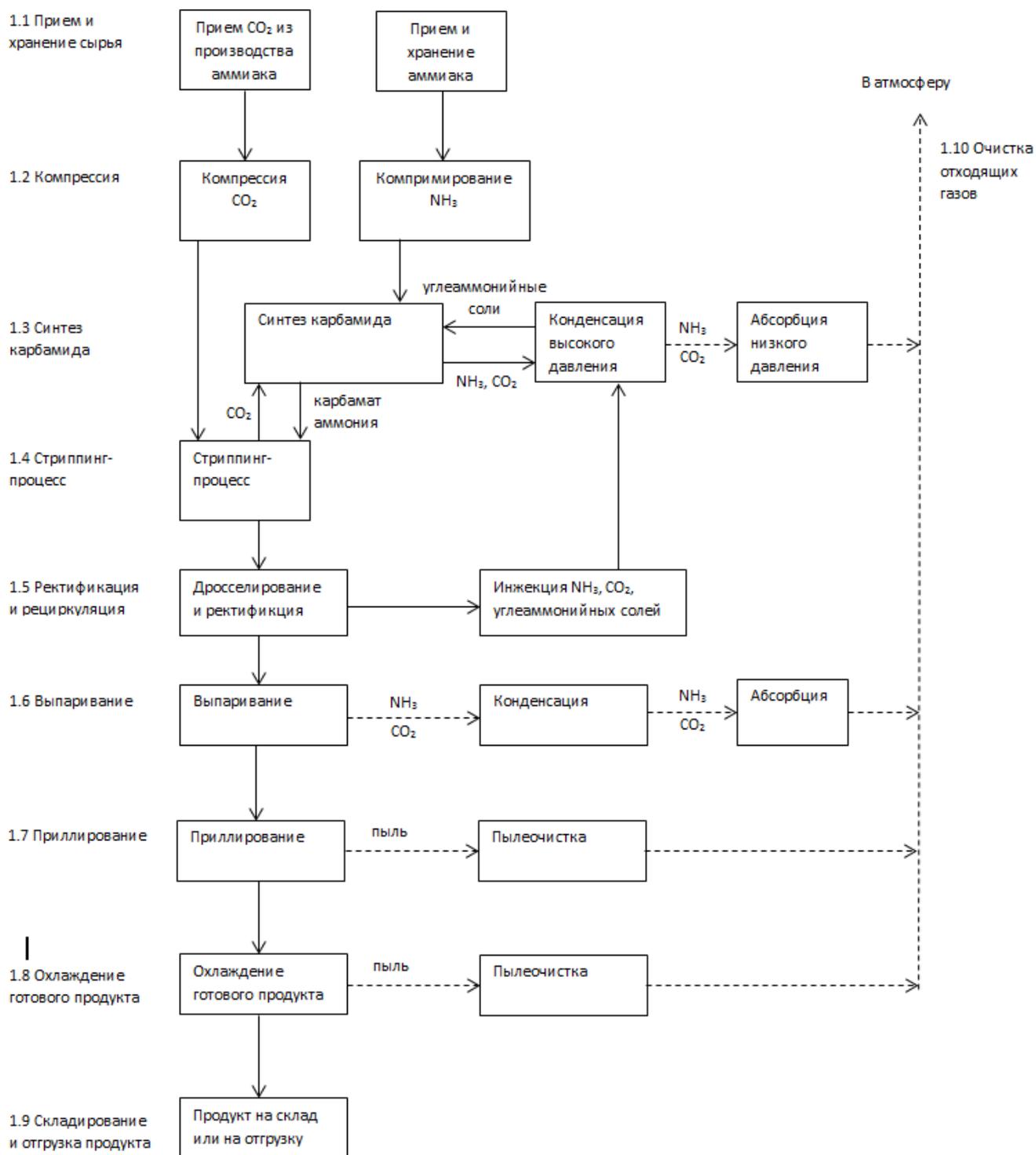


Схема технологического процесса

Описание технологического процесса

№ подпроцесса	Вход	Подпроцесс	Выход	Основное оборудование	Эмиссии (наименование)
1.1	Аммиак, диоксид углерода	Прием и хранение сырья	Аммиак, диоксид углерода	Скруббер-охладитель CO ₂ , фильтр NH ₃	
1.2	Аммиак	Компрессия	Аммиак	Насос	
1.3	Диоксид углерода	Компрессия	Диоксид углерода	Компрессор	
1.4	Аммиак, диоксид углерода, раствор карбамата	Синтез карбамида	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Реактор синтеза, скруббер высокого давления, конденсатор высокого давления	Аммиак
1.5	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Стриппинг-процесс	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Стриппер	
1.6	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Дистилляция и рециркуляция	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Ректификационная колонна, конденсатор	
1.7	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Выпаривание, конденсация	Плав карбамида	Испаритель, вакуум-сепаратор, конденсатор	
1.8	Газы дистилляции	Абсорбция газов	Водный раствор аммиака	Абсорбер	Аммиак
1.9	Водный раствор аммиака и карбамида	Десорбция, гидролиз	Аммиак	Десорбер, гидролизер	Аммиак, карбамид

Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Насос аммиака высокого давления	Компримирование аммиака	Давление нагнетания 16 МПа
Компрессор CO ₂ центробежный с паровой турбиной	Компримирование диоксида углерода	Давление нагнетания 14,5 МПа
Реактор синтеза карбамида	Синтез карбамида	Давление 14 МПа Температура 190 °С
Стриппер высокого давления	Разложение карбамата аммония	Давление 14 МПа Температура 170 °С

Скруббер высокого давления	Конденсация NH ₃ и CO ₂ , отходящих из реактора синтеза	Давление 14 МПа Температура 170 °С
Конденсатор карбамата высокого давления	Конденсация NH ₃ и CO ₂ из стриппера высокого давления	Давление 14 МПа Температура 175 °С
Ректификационная колонна	Разложение карбамата аммония	Давление 0,3 МПа Температура 140 °С
Конденсатор карбамата низкого давления	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 0,3 МПа Температура 80 °С
Испаритель 1-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,05 МПа (абс.) Температура 130 °С
Сепаратор 1-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,05 МПа (абс.) Температура 130 °С
Испаритель 2-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С
Сепаратор 2-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С

Таблица 8.13 – Природоохранное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Абсорбер низкого давления	Очистка отходящих газов	Давление 0,7 МПа Температура 75 °С
Абсорбер атмосферный концевой	Очистка отходящих газов	Давление — атмосферное Температура 45 °С
Десорбер 1-й и 2-й ступени	Удаление NH ₃ и CO ₂ из сточной воды	Давление 0,35 МПа Температура 140 °С
Гидролизер	Разложение карбамида в сточной воде	Давление 2,0 МПа Температура 195 °С

Б.7 TECNIMONT

Технология производства карбамида Stamicarbon

Схема Tecnimont работает с полным жидкостным рециклом. Синтез проводится под давлением 20–22 МПа с высоким мольным соотношением NH₃:CO₂. Дистилляция осуществляется в три ступени — под давлениями 7, 1,2 и 0,3 МПа. При этом образовавшийся в узлах конденсации карбамат возвращается в реактор синтеза в виде раствора с помощью карбаматного насоса ВД

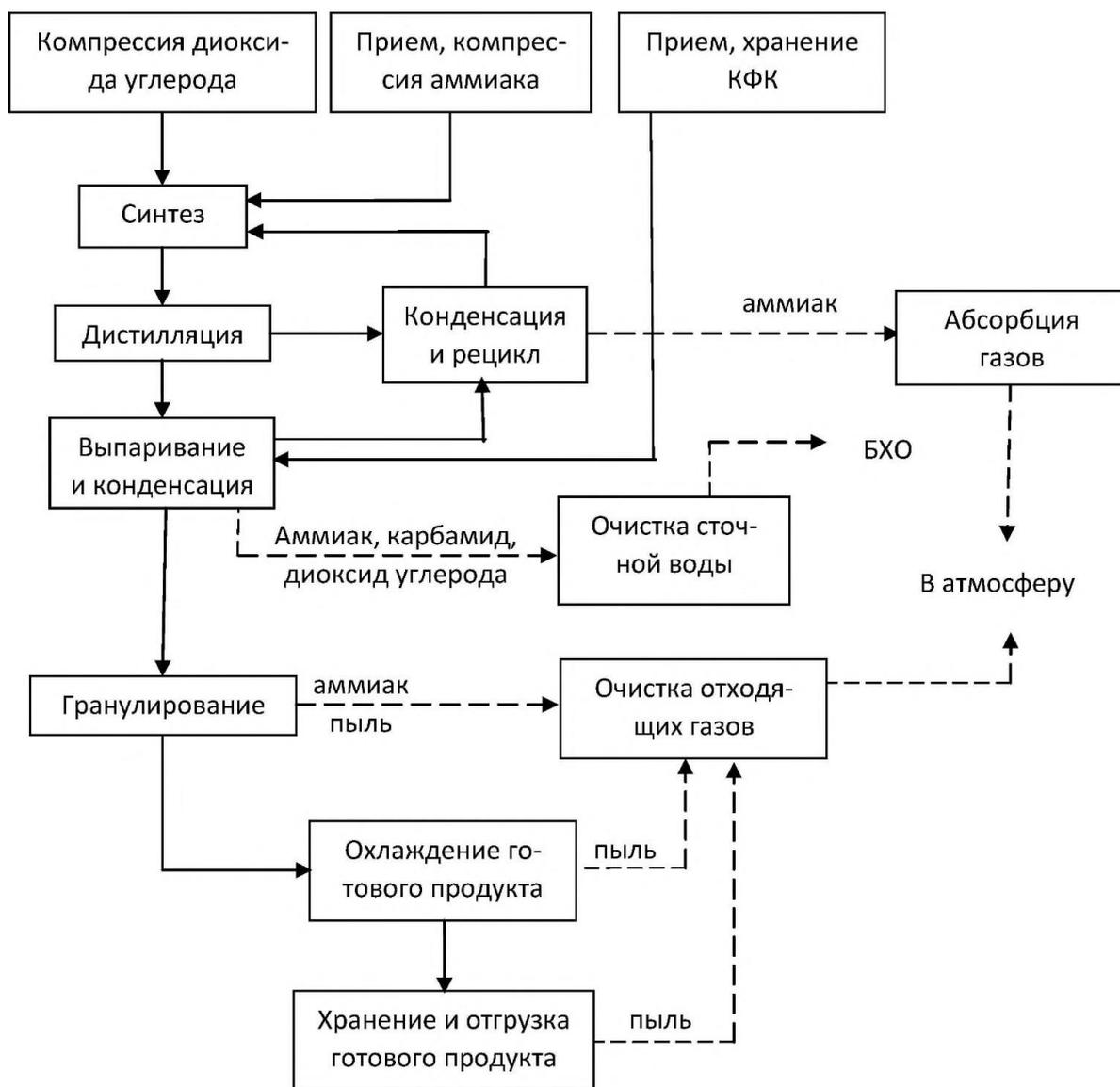


Схема технологического процесса (включая получение готового продукта)

Описание технологического процесса

№ под-процесса	Вход	Подпроцесс	Выход	Основное оборудование	Эмиссии (наименование)
1.1	Аммиак, диоксид углерода	Прием и хранение сырья	Аммиак, диоксид углерода	Скруббер-охладитель CO ₂ , фильтр NH ₃	
1.2	Аммиак	Компрессия	Аммиак	Насос	
1.3	Диоксид углерода	Компрессия	Диоксид углерода	Компрессор	
1.4	Аммиак, диоксид углерода, раствор карбамата	Синтез карбамата	Раствор карбамата, карбамата аммония, аммиак, вода	Реактор синтеза	

1.6	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Дистилляция и рециркуляция	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Подогреватели, сепараторы, конденсаторы	
1.7	Раствор карбамида, карбамата аммония, аммиак, вода	Выпаривание, конденсация	Плав карбамида	Испаритель, вакуум-сепаратор, конденсатор	
1.8	Водный раствор аммиака и карбамида	Десорбция	Аммиак	Десорбер	Аммиак, карбамид
1.9	Газообразный аммиак, инерты	Абсорбция	Газообразный аммиак, инерты	Абсорбер	Аммиак

Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Насос аммиака высокого давления	Компримирование аммиака	Давление нагнетания 20 МПа
Компрессор CO ₂ центробежный с паровой турбиной	Компримирование диоксида углерода	Давление нагнетания 20 МПа
Реактор синтеза карбамида	Синтез карбамида	Давление 20 МПа Температура 195 °С
Насос раствора карбамата	Подача раствора карбамата в узел синтеза	Давление 20 МПа Температура 110 °С
Подогреватель 1-й ступени дистилляции	Разложение карбамата аммония	Давление 7 МПа Температура 200 °С
Сепаратор 1-й ступени дистилляции	Разделение жидкой и газовой фаз	Давление 7 МПа Температура 185 °С
1-ый конденсатор 1-й ступени дистилляции	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 7 МПа Температура 150 °С
2-й конденсатор 1-й ступени дистилляции	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 7 МПа Температура 110 °С
Подогреватель 2-й ступени дистилляции	Разложение карбамата аммония	Давление 1,2 МПа Температура 155 °С
Сепаратор 1-й ступени дистилляции	Разделение жидкой и газовой фаз	Давление 1,2 МПа Температура 150 °С
Конденсатор 2-й ступени дистилляции	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 1,2 МПа Температура 60 °С
Подогреватель 3-й ступени дистилляции	Разложение карбамата аммония	Давление 0,3 МПа Температура 130 °С
Сепаратор 3-й ступени дистилляции	Разделение жидкой и газовой фаз	Давление 0,3 МПа Температура 125 °С
Конденсатор 3-й ступени дистилляции	Конденсация NH ₃ и CO ₂	Давление 0,3 МПа Температура 45 °С
Испаритель 1-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,05 МПа (абс.) Температура 130 °С
Сепаратор 1-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение	Давление 0,05 МПа (абс.) Температура 130 °С

	брызгоуноса	
Испаритель 2-й ступени выпарки	Упаривание раствора карбамида	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С
Сепаратор 2-й ступени выпарки	Разделение газовой и жидкой фазы, предотвращение брызгоуноса	Давление 0,005 МПа (абс.) Температура 140 °С

Природоохранное оборудование

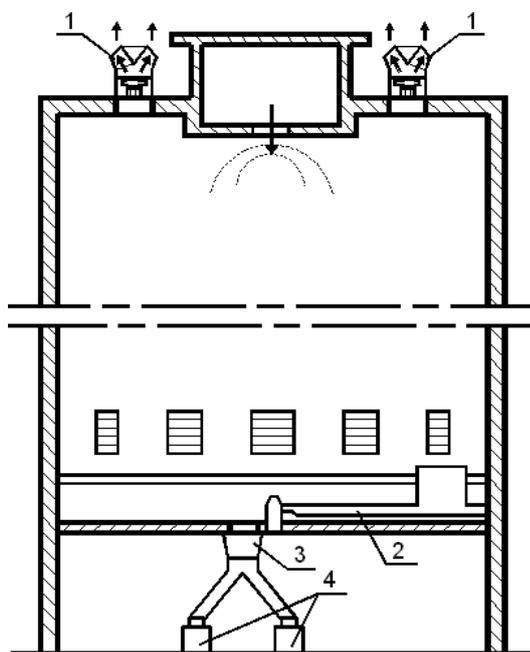
Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Абсорбер низкого давления	Очистка отходящих газов	Давление — 0,6 МПа Температура 55 °С
Абсорбер под атмосферным давлением (узла дистилляции)	Очистка отходящих газов	Давление — атмосферное Температура 45 °С
Десорбер	Удаление NH ₃ и CO ₂ из сточной воды	Давление 0,12 МПа Температура 125 °С
Абсорбер под атмосферным давлением (узла десорбции)	Очистка отходящих газов	Давление — атмосферное Температура 45 °С
Скруббер кислотного улавливания (серная или азотная кислота)	Очистка отходящих газов	Давление — атмосферное Температура 45 °С

Приложение В– Технологии получение твердых форм карбамида

В.1 TECNIMONT

Технология полный жидкостный рецикл (AK-70), URECON®2006

Процесс приллирования осуществляли изначально в «старых» башнях, выполненных из железобетона с высотой полета частиц 32 м и диаметром 16 м.

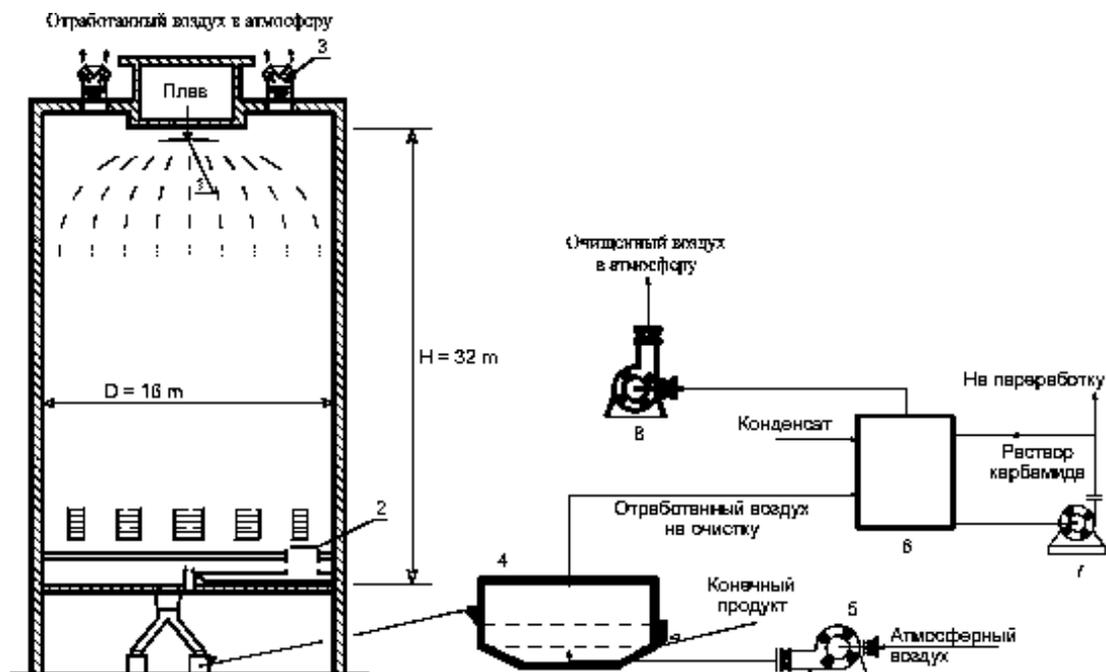


Верхняя часть башни закрыта железобетонным перекрытием, в центре которого установлен диспергатор (приллер) плава и вытяжные вентиляторы (иногда циклоны для очистки воздуха от пыли). В нижней части башни по окружности расположен ряд окон, через которые в башню поступает атмосферный воздух. Днище имеет плоскую форму. Установленное внизу скребковое устройство движется по окружности и собирает упавшие на подину гранулы, которые через специальную щель выгружаются из башни. Производительность башни: 550–600 т/сут.

Малая высота полета гранул и низкая плотность орошения снижают эффективность теплообмена и исключают возможность получения карбамида высокого качества. Полученный в таких башнях товарный карбамид обладает низким качеством: мелкий, неоднородный продукт (содержание фракции менее 1 мм до 3 %), с низкой прочностью (до 0,5 кгс/гранулу) и высокой температурой 80–100 °С (по ГОСТ 2081—2010 не выше 50 °С). Поэтому в жаркий период года для обеспечения требуемой температуры продукт перед отгрузкой вылеживается на складе. Потери продукта с отходящим воздухом — до 2,5 кг/т.

В дальнейшем технология приллирования на старых башнях была усовершенствована с использованием инновационных методов реконструкции:

- установка нового приллера вибрационного типа;
- монтаж узла охлаждения прилл в КС (аппарат КС);
- монтаж «мокрых» пылеуловителей (см. рисунок 8.11).



Принципиальная схема узла приллирования после реализации мероприятий по модернизации башен

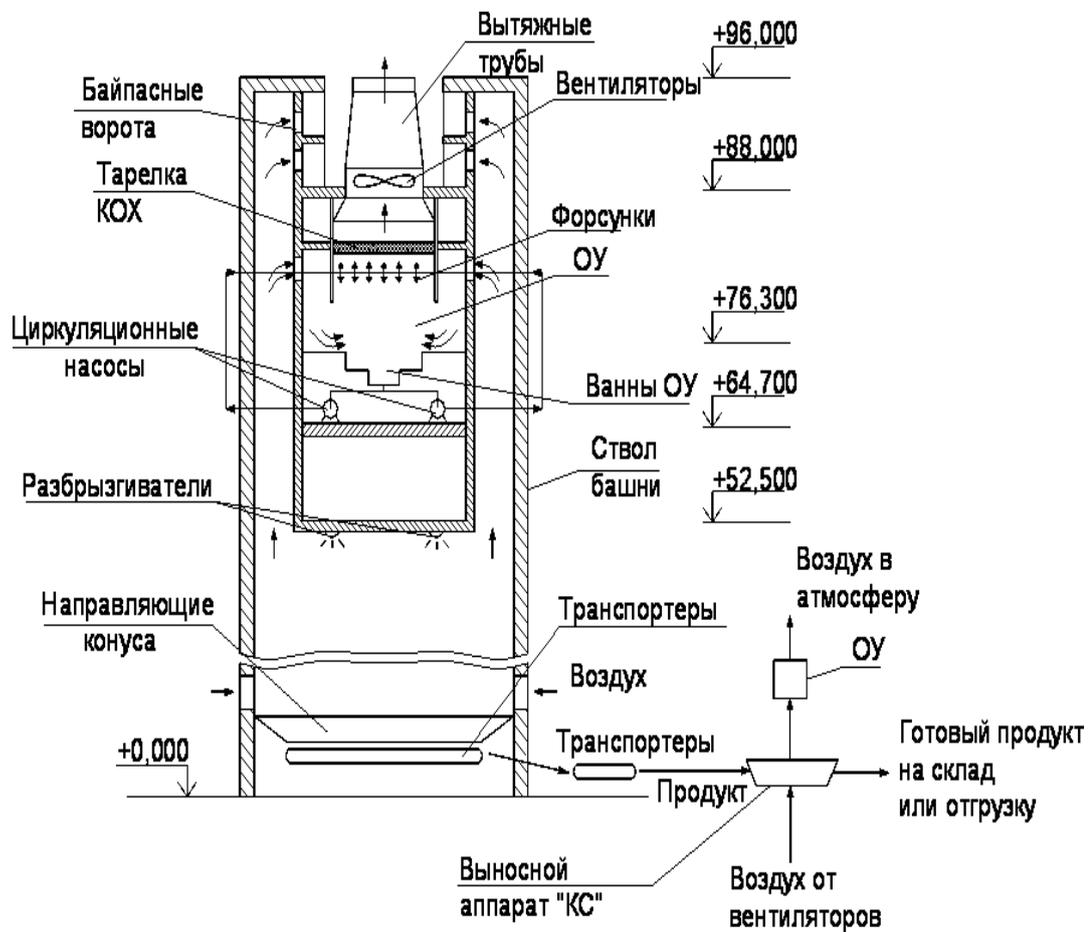
Конструкция виброприллера позволяет обеспечить равномерное распределение капель расплава по поперечному сечению башни, в результате чего достигается максимально возможное использование объема башни для контакта прилл и охлаждающего воздуха, уменьшается пылеобразование.

К основным техническим преимуществам аппарата охлаждения прилл в КС можно отнести: развитую поверхность контакта твердого продукта и охлаждающего агента (воздуха), что позволяет обеспечить температуру продукта на выходе из аппарата не более 45–50 °С при температуре атмосферного воздуха до 35–40 °С, увеличить размер прилл и их прочность.

Применение пылеуловителей «мокрого» типа позволяет сохранить на прежнем уровне валовый выброс пыли карбамида за счет эффективной очистки запыленного воздуха от аппарата КС и уменьшения пылеобразования в стволе башни.

Технология полный жидкостный рецикл (AK-70), URECON®2006

Башня приллирования — железобетонная, прямоугольного сечения (22 × 15 м) и высотой полета прилл ~53 м.



Конструкция башни приллирования фирмы Tecnimont

Поскольку часть оборудования узла выпарки установлена на верху башни и там же смонтирована система очистки воздуха, выходящего из башни, то общая высота башни составляет ~96 м. Система очистки состоит из ванны, тарелки «КОХ» с клапанами, промывочных форсунок, брызгоотбойника, циркуляционных насосов и вытяжных вентиляторов. Предусмотрены два варианта работы башни: с включенной очисткой воздуха и с подачей запыленного воздуха, минуя систему очистки через два ряда «байпасных» ворот в атмосферу.

В ряде случаев система очистки воздуха из башни не эксплуатируется. Атмосферный воздух через окна, расположенные внизу башни за счет естественной тяги поступает в башню, далее, минуя очистное устройство и вытяжные вентиляторы, выбрасывается в атмосферу. Запыленный воздух из каналов от отм. +76,0 м промывается конденсатом от циркуляционных насосов, установленных на отм. +64,0 м и далее, пройдя тарелку «КОХА», также орошаемую конденсатом, направляется на всас вытяжных вентиляторов. Раствор карбамида собирается в ваннах и, по мере закрепления, направляется на доупарку.

Горячие гранулы после башни приллирования транспортерами подают на грохот, в котором отделяют мелкую (менее 1 мм) и крупную (более 4 мм) фракции. После классификации продукт обрабатывают раствором формочевин — 80, охлаждают с 60–75 °С до 30–35 °С в выносном холодильнике с псевдооживленным слоем и передают на склад.

Из-за низкой высоты полета гранул в башне приллирования температура продукта в месте падения составляет 80–100 °С. При движении продукта по тракту транспортировки до выносного аппарата охлаждения гранул в псевдооживленном слое наблюдается явление разрушения гранул. Одна из действующих башен при проведении реконструкции была дооборудована встроенным

аппаратом охлаждения гранул. Температура гранул на выходе из встроенного аппарата охлаждения не превышает 45 °С, содержание фракции менее 1 мм уменьшилось, а крупной фракции — увеличилось. Статическая прочность гранул возросла с 0,57–0,66 кгс/гран до 0,76 кгс/гран.

На одной из действующих башен была проведена реконструкция очистной системы с ее заменой на очистку инжекционного типа, обеспечивающую работу башни без вытяжных вентиляторов.

В.2 ТЕС

Усовершенствованный процесс «С» полного жидкостного рецикла фирмы

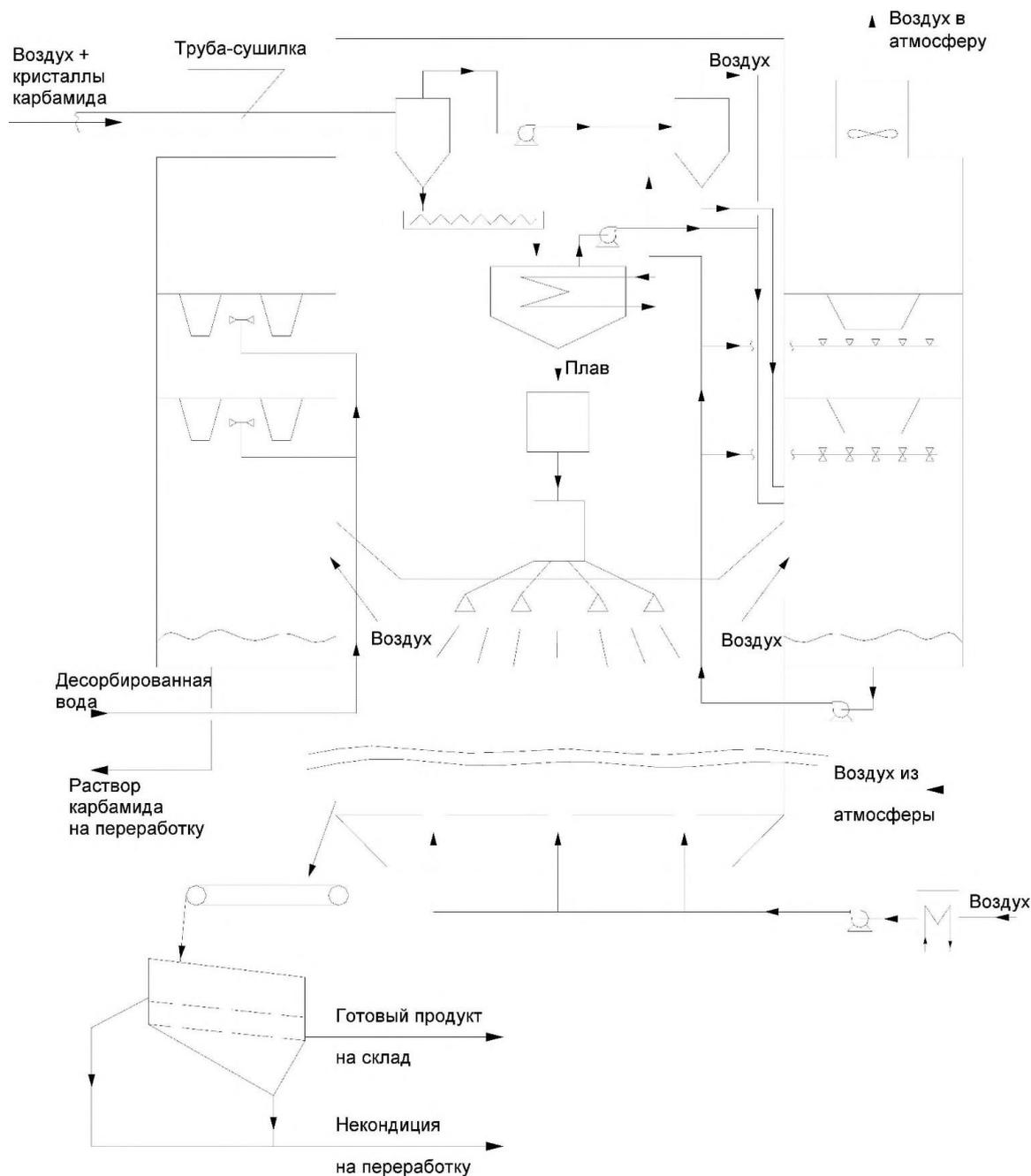


Схема узла прилирования фирмы ТЕС

Воздушный поток с кристаллами карбамида по стволу системы пневмотранспорта поступает в циклоны, в которых происходит отделение кристаллов от воздуха. С помощью шнековых питателей кристаллы подаются в плавильник, где они расплавляются при температуре 135–142 °С. Плав карбамида, пройдя очистку от механических примесей в фильтре стекает в напорный бак, из которого равномерно распределяется на диспергаторы, с помощью которых разбрызгивается в объем башни приллирования.

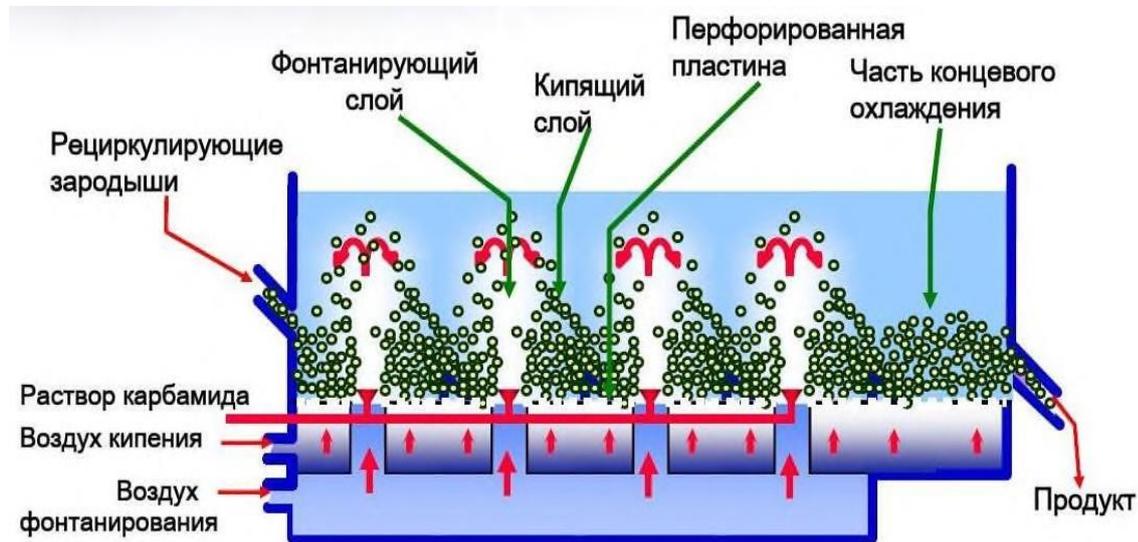
В нижней части башни смонтирован аппарат охлаждения гранул в КС, на рабочей решетке которого гранулы в КС охлаждаются до температуры не более 50 °С. Атмосферный воздух с помощью дутьевого вентилятора подают в аппарат КС. При необходимости воздух подогревают в теплообменнике паровым конденсатом или теплофикационной водой. Пройдя аппарат КС, воздух попадает в ствол башни и поднимается вверх, охлаждая поток падающих частиц, после чего поступает в очистное устройство. Воздух в очистном устройстве проходит через два яруса пенополиуретановых (ППУ) фильтров и с помощью вентиляторов выбрасывается в атмосферу. ППУ фильтры орошают технологическим конденсатом. Воздушный поток из циклонов, содержащий пыль карбамида, направляют в «мокрые» циклоны, в которых происходит поглощение пыли раствором карбамида из ванны ОУ, подаваемым циркуляционными насосами. Раствор карбамида из циклонов стекает в ванну ОУ. Полученный раствор из ванны ОУ отводят в технологическую схему на переработку.

Если в процессе приллирования сразу на выходе диспергатора из расплава формируются сферические капли, которые, застывая в свободном падении, превращаются в гранулы, размер которых определен диаметром отверстий истечения, то при грануляции при движении частиц в КС происходит постепенное увеличение их размера за счет многократного наслаивания пленок, формируемых из осаждающихся на частицах капель раствора. В отличие от процесса приллирования, который осуществляется только из высококонцентрированного плава, процесс грануляции в КС проводят из 96–98 % раствора карбамида.

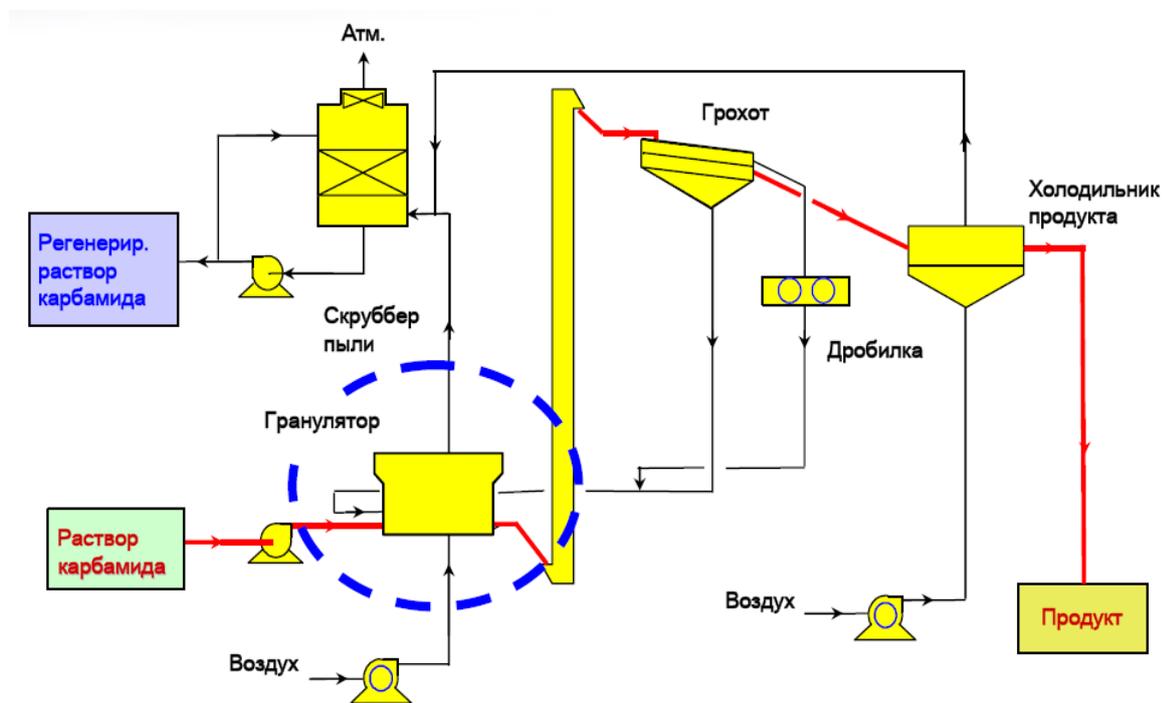
Разновидностью процесса грануляции в КС является грануляция с фонтанирующим слоем, в которой КС формируется вокруг фонтанирующего слоя (см. рисунок 8.19). Такая установка мощностью 1400 т/сут работает в цехе № 24 производства карбамида ООО «Газпром нефтехим Салават». Установка работает на 96 % растворе карбамида (см. рисунок 8.20). Для получения меньшего размера капель, что позволяет иметь большую площадь поверхности, контактирующую с фонтанирующим горячим воздухом и более тонкую пленку на поверхности частиц затравки, применяют многоканальные распылители. Раствор карбамида через многоканальные распылители подают в гранулятор, где в фонтанирующем слое капельки раствора оседают и затвердевают на затравочных частицах. Увеличенные гранулы охлаждаются псевдоожижающим воздухом во внутренних КС гранулятора. Поскольку рост размера частиц в грануляторе происходит за счет многократного наслаивания пленок, формируемых из капель раствора, осаждающихся на частицах, то гранулы получаются неодинакового размера и неправильной формы. Поэтому полученные гранулы классифицируют. Товарная фракция идет на дополнительное охлаждение

атмосферным воздухом в аппарате КС. Мелкая фракция возвращается в гранулятор в качестве затравок. Крупную фракцию измельчают в дробилке и направляют в гранулятор вместе с мелкой фракцией.

Запыленный воздух из гранулятора промывают в пылеулавливающем скруббере мокрого типа. Полученный водный раствор карбамида направляют на рекуперацию на установку карбамида.



Гранулятор с фонтанирующим КС фирмы ТЕС



Принципиальная технологическая схема процесса грануляции ТЕС

B.3 STAMICARBON

Гранулирование карбамида по технологии Stamicarbon

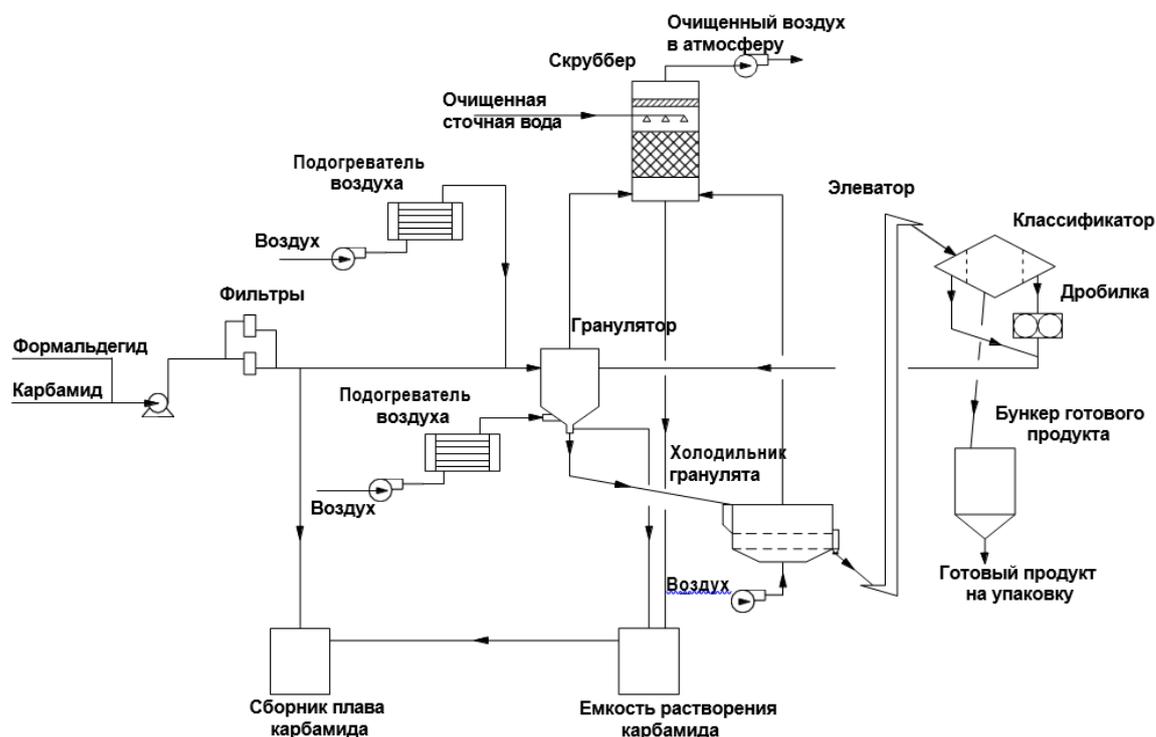


Схема гранулирования карбамида по технологии Stamicarbon

Раствор карбамида с концентрацией 98,5 масс. % вводят в гранулятор. В качестве антислеживателя в трубопровод всаса насосов плава подается карбамидоформальдегидная смола или карбамидоформальдегидный концентрат.

Состав карбамидоформальдегидной смолы или карбамидоформальдегидного концентрата (далее — КФС/КФК) до добавления в поток плава карбамида:

- карбамид 20,0 % общ. веса;
- H₂O 26,0 % общ. веса;
- формальдегид 54,0 % общ. веса.

Линия подачи плава от насосов до гранулятора оборудована паровой рубашкой для предотвращения кристаллизации карбамида.

Давление пара в рубашку регулируется клапаном (0,18–0,23 МПа) для поддержания температуры пара близкой к температуре плава, с целью уменьшения образования биурета.

Для предотвращения забивки форсунок гранулятора, на линии подачи плава, установлены фильтры плава карбамида, подключенные параллельно.

Плав карбамида с нагнетания насосов, после фильтров, подается в гранулятор, а при работе на циркуляции в емкость плава карбамида.

Кроме плава к нагнетательным головкам подается воздух от нагнетателя воздуха распыления, подогретый в нагревателе воздуха распыления до температуры (135–144) °С. Воздух необходим для

распыления плава через форсунки в псевдооживленном слое гранулятора. Высокая температура воздуха требуется для предотвращения кристаллизации карбамида в распылительных форсунках и нагнетательных головках.

Для работы в зимних условиях на всасе нагнетателя воздуха распыления установлен дополнительный подогреватель воздуха.

Воздух для создания «псевдооживленного» слоя в грануляторе подается вентилятором гранулятора. На всасе вентилятора установлен дополнительный подогреватель воздуха, который предназначен для поддержания температуры подаваемого воздуха не менее минус 10 °С.

Воздух, выходящий из верхней части гранулятора с температурой (90–110) °С, попадает в скруббер гранулятора. В линию воздуховода после гранулятора через форсунку периодически подается сточная вода для его промывки.

Полученный продукт грануляции с температурой (80–105) °С, проходит через решетку, где происходит удаление крупных частиц размером более 10 мм. Крупные частицы и комки подаются по течкам в емкость для растворения карбамида. Просеянный продукт после решетки спекшихся гранул, поступает в холодильник гранулята и далее направляется на классификацию, после которой целевая фракция направляется на склад готовой продукции.

Рециркулирующий поток (ретур) твердых материалов, содержащий мелкую фракцию и дробленые частицы, подается через два входных отверстия в гранулятор. В секции грануляции на ретур напыляется расплав карбамида. По мере того как гранулы движутся через секции грануляции, их размер постоянно увеличивается путем добавления слоев, достигая необходимый размер. После грануляции продукт попадает в камеру охлаждения, где происходит затвердевание и удаление пыли с гранул перед последующей обработкой.

При грануляции в КС создаются условия для образования пыли: из высыхающих мелких капель раствора, уносимых воздухом из зоны формирования гранул; в процессе истирания гранул при классификации полученных гранул, при размалывании крупной фракции, а также при транспортировке ретура в гранулятор. Значительная часть пыли осаждается на внутренней поверхности технологического оборудования и внутренней поверхности газоходов. Все это приводит к необходимости проведения периодической чистки оборудования и промывки газоходов, что требует остановки узла грануляции.

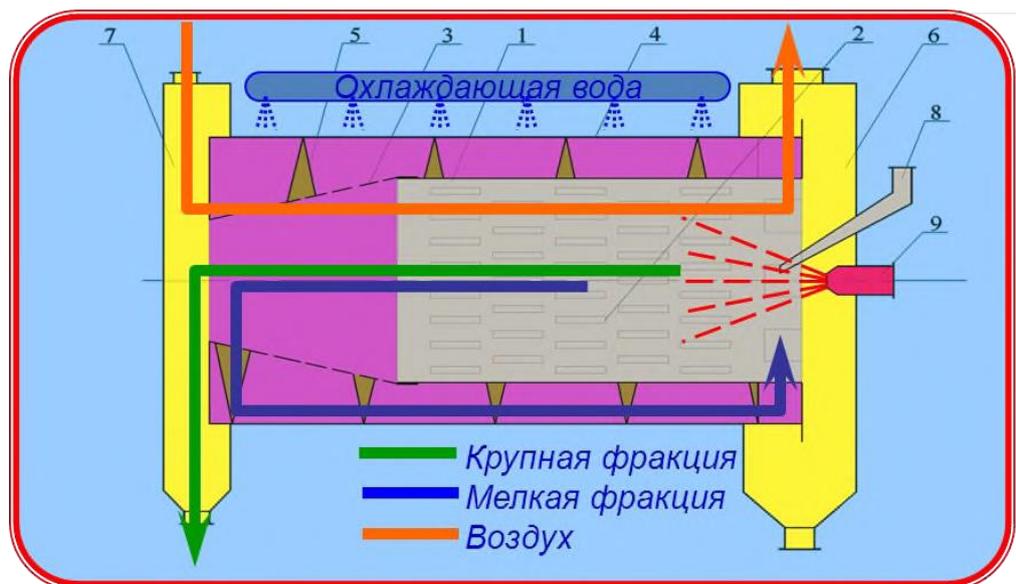
После промывок в технологическую схему поступают дополнительные количества слабых растворов карбамида, переработка которых создает дополнительную нагрузку на узлы выпаривания.

Одним из недостатков грануляции в КС является обязательная подача в раствор карбамида формальдегид-содержащей добавки, которая в своем составе имеет канцерогенное вещество — формальдегид. Кроме того, малые скорости движения раствора карбамида по большому количеству трубопроводов приводят к увеличению времени пребывания при температуре ~140 °С и дополнительному образованию биурета, реакция образования которого идет с выделением аммиака. Условия в грануляторе также способствуют дополнительной десорбции аммиака из раствора карбамида. Удельные

выбросы с этих установок превышают удельные выбросы из узла прилливания

Гранулирование в скоростном барабанном грануляторе (СБГ)

Метод гранулирования с кристаллизацией на поверхности частиц можно осуществлять не только в псевдооживленном (кипящем) слое. Совмещение процессов кристаллизации на поверхности частиц с процессами окатывания и сушки в одном аппарате дает дополнительные преимущества.



Принципиальная конструкция СБГ

Скоростной барабанный гранулятор (СБГ) состоит из внутреннего барабана с насадкой на его поверхности, классификатора и дополнительного наружного барабана. В межбарабанном пространстве расположен шнек. С обоих концов оба скрепленных между собой барабана имеют неподвижные камеры загрузки и выгрузки. На стенке передней камеры загрузки установлена загрузочная труба и форсунка.

СБГ работает следующим образом. Гранулы или кристаллы продукта, подлежащие обработке жидким компонентом, поступают в основной барабан на насадку. Одновременно в переднюю часть основного барабана на завесу из гранул с помощью форсунки распыляется жидкий компонент (это может быть плав, раствор или пульпа). Лопасте насадки при вращении барабана непрерывно поднимают и выбрасывают продукт в поперечном сечении барабана, образуя при этом плотную и равномерную завесу обрабатываемого материала по всему сечению внутреннего барабана. В результате весь продукт многократно подвергается обработке распыляемым агентом. После обработки жидкой фазой гранулированный продукт поступает в классификатор, где отделяется мелкая его фракция, которая подхватывается шнеком, и подается во внутренний барабан. Готовый продукт из классификатора выгружается в камеру выгрузки.

Мелкая фракция гранул, возвращенная во внутренний барабан, вновь подается в завесу для обработки жидкой фазой.

Этот цикл увеличения размеров гранул до заданного, регулируется классификатором и проводится многократно.

На основании данного аппарата была разработана и внедрена промышленная установка кондиционирования приллированного карбамида (увеличение размеров приллированного карбамида в процессе гранулирования раствора карбамида путем нанесения его на мелкую фракцию приллированного карбамида) в скоростном барабанном грануляторе в производстве карбамида

СБГ работает следующим образом. Гранулы или кристаллы продукта, подлежащие обработке жидким компонентом, поступают в основной барабан на насадку. Одновременно в переднюю часть основного барабана на завесу из гранул с помощью фор-сунки распыляется жидкий компонент (это может быть плав, раствор или пульпа). Лопастни насадки при вращении барабана непрерывно поднимают и выбрасывают продукт в поперечном сечении барабана, образуя при этом плотную и равномерную завесу обрабатываемого материала по всему сечению внутреннего барабана. В результате весь продукт многократно подвергается обработке распыляемым агентом. После обработки жидкой фазой гранулированный продукт поступает в классификатор, где отделяется мелкая его фракция, которая подхватывается шнеком, и подается во внутренний барабан. Готовый продукт из классификатора выгружается в камеру выгрузки.

Мелкая фракция гранул, возвращенная во внутренний барабан, вновь подается в завесу для обработки жидкой фазой.

Этот цикл увеличения размеров гранул до заданного, регулируется классификатором и проводится многократно.

На основании данного аппарата была разработана и внедрена промышленная установка кондиционирования приллированного карбамида (увеличение размеров приллированного карбамида в процессе гранулирования раствора карбамида путем нанесения его на мелкую фракцию приллированного карбамида) в скоростном барабанном грануляторе в производстве карбамида. Данная установка рассчитана на производительность 500 т/сут по готовому продукту и предназначена для кондиционирования гранул карбамида размером менее 2 мм и улучшения качества товарного продукта.

Одновременно в переднюю часть внутреннего барабана на завесу из гранул распыляется раствор/расплав с помощью форсунки, поступающий от существующих насосов с гранбашни, в количестве 100 т/сут на каждый барабанный гранулятор в пересчете на готовый продукт. Перед подачей в СБГ плав разбавляется паровым конденсатом до концентрации 96–98 % в узле смешения.

В результате весь продукт многократно подвергается обработке распыляемым раствором/расплавом, вследствие чего укрупняется. По мере выгрузки продукта из барабанных грануляторов осуществляется постоянная дозировка мелкой фракции приллированного карбамида из дозирочного бункера в СБГ.

Процесс кристаллизации карбамида из раствора протекает с выделением тепла, поэтому для поддержания требуемого температурного режима в СБГ предусматривается следующее:

- охлаждение внешней поверхности корпусов СБГ оборотной водой;
- подача атмосферного воздуха в СБГ с температурой 20–35 °С.

Для подачи воздуха в СБГ устанавливаются дутьевые вентиляторы, а для подогрева воздуха в холодный период года паровые калориферы. Для сбора и отвода использованной оборотной воды предусмотрены сборники и насосы.

Отработанный воздух из СБГ, содержащий аммиак и пыль карбамида, направляется на очистку в существующий пылеуловитель мокрого типа. Раствор карбамида из узла растворения и из пылеочистой системы по существующей схеме направляется в узел вакуум-выпарки.

Кондиционированный карбамид из установки СБГ смешивается с товарной фракцией приллированного карбамида.

Приложение Г –

Патенты

КАРБАМИД

В разработках очень большое внимание уделяется конструкциям внутренних устройств (смесители, насадка и тарелки) реакторов синтеза карбамида, обеспечивающих увеличение интенсивности контакта реагирующих веществ и степени их превращения в карбамид (патенты 2256495, 2261141, 2365797, 2441698, 2442643, 2447932).

Разработаны концепции реконструкции для всех известных технологий карбамида с использованием новых высокоэффективных аппаратов и устройств. Таковы технологии URECON®2007 (для реконструкции агрегатов карбамида АК-80 со стриппинг-процессом в токе CO₂; патенты 2233693, 2282121, 2309947, 2402734, 2434850) и URECON®2006 (для реконструкции агрегатов карбамида АК-70 с полным жидкостным рециклом; патенты 2280026, 2429228). Новые технологии используют новые аппараты и устройства с оптимизированной гидродинамикой и высокой эффективностью тепло- и массообмена, такие как стриппер-дистиллятор, теплообменник-рекуператор, дистилляторы I и II ступеней. В последние годы разработан процесс производства карбамида следующего поколения, предназначенный как для строительства новых, так и для реконструкции действующих установок (патенты 2499791, 2529462). Башни приллирования конструкции АО «НИИК» с устройствами для очистки воздуха и встроенным или выносным аппаратом охлаждения гранул в «кипящем» слое (патенты 2396252, 126962) и скоростной барабанный гранулятор (патенты 2328338, 2624693) могут обеспечить любое качество готового продукта. На базе барабанного гранулятора ведется разработка технологий получения сложных удобрений на основе карбамида, карбамида с добавками и микроэлементами (патенты 2436754, 2484072), а также технологии получения гранулированной аммиачной селитры (патент 164069).

На основе опыта, накопленного в ходе эксплуатации установок, специалистами АО «НИИК» разработаны технологии ремонта основного технологического оборудования производства карбамида, включая оборудование высокого давления (патенты 2421274, 2436009).

Наряду с решением проблем производства карбамида в АО «НИИК» создана усовершенствованная технология производства меламина из карбамида при высоком давлении (патенты 2417992, 2495875, 2495876, 2503623, 2544704) и разработана энергоэффективная технология получения метанола для малотоннажных установок (патент 2691073).