

Физико-химические свойства аммиака

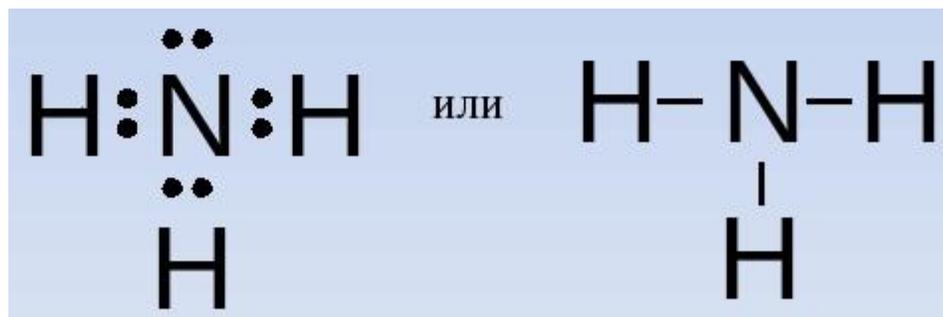
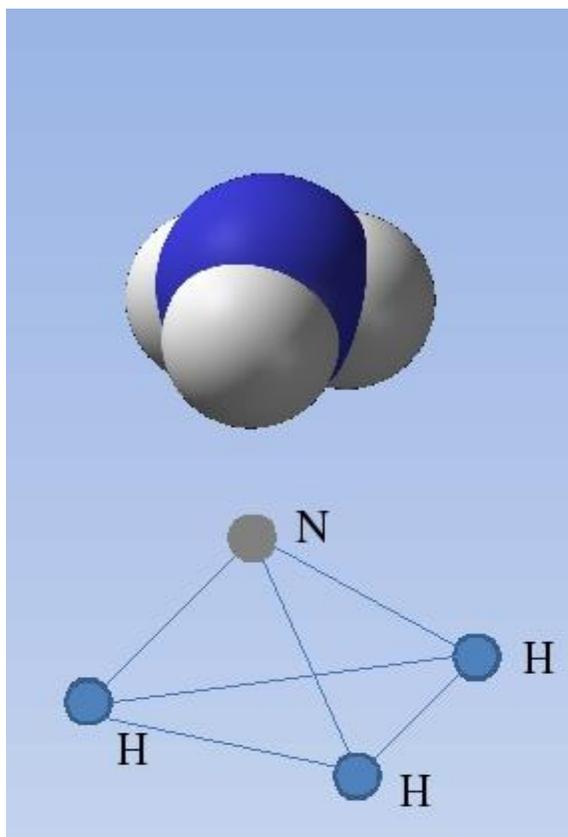
Бубнова Е,
Никитина А, Усова
Д, Кондратьев М.

- Аммиак, NH_3 , простейшее химическое соединение азота с водородом. Один из важнейших продуктов химической промышленности; синтез аммиака из азота воздуха и водорода — основной метод получения т. н. связанного азота. В природе аммиак образуется при разложении азотсодержащих органических веществ. Название «аммиак» — сокращенное от греч. *hals ammoniakos* или лат. *sal ammoniacus*; так назывался нашатырь (аммония хлорид).

Физические и химические свойства.

- Аммиак — бесцветный газ с резким удушливым запахом и едким вкусом. Плотность газообразного аммиака при (760 мм рт. ст.) $0,7714 \text{ кг/м}^3$, $t_{\text{кип}} -33,35^\circ\text{C}$, $t_{\text{пл}} -77,70^\circ\text{C}$.
- Сухая смесь аммиака с воздухом способна взрываться.
- Аммиак хорошо растворим в воде (при 0°C объём воды поглощает около 1200 объёмов аммиака, при 20°C — около 700 объёмов аммиака).
- Подобно воде, жидкий аммиак сильно ассоциирован, главным образом за счёт образования водородных связей. Жидкий аммиак практически не проводит электрический ток. Жидкий аммиак — хороший растворитель для очень большого числа органических, а также для многих неорганических соединений. Твёрдый аммиак — бесцветные кубические кристаллы.

В молекуле аммиака три ковалентные полярные связи, между атомом азота и атомами водорода.



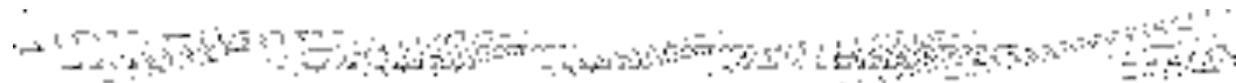
Свойства молекул NH_3

- Интересным свойством является их способность к структурной инверсии, т. е. к «выворачиванию наизнанку» путём прохождения атома азота сквозь образованную атомами водорода плоскость основания пирамиды.
- Аммиак — весьма реакционноспособное соединение. За счёт наличия не поделённой электронной пары у атома N особенно характерны и легко осуществимы для аммиака реакции присоединения.
- Наиболее важна реакция присоединения протона к молекуле аммиака, ведущая к образованию иона аммония NH_4^+ , который в соединениях с анионами кислот ведёт себя подобно ионам щелочных металлов. Такие реакции происходят при растворении аммиака в воде с образованием слабого основания — аммония гидроксидом NH_4OH .

Для аммиака характерны также реакции замещения. Щелочные и щёлочноземельные металлы реагируют с жидким и газообразным аммиаком, образуя в зависимости от условий нитриды (Na_3N) или амиды (NaNH_2). Аммиак реагирует также с серой, галогенами, углем, CO_2 и др. К окислителям в обычных условиях аммиак довольно устойчив, однако, будучи подожжён, горит, образуя воду и свободный азот. Каталитическим окислением аммиака получают окись азота, превращаемую затем в азотную кислоту.

Получение аммиака

- В лабораторных условиях аммиак может быть получен вытеснением его сильными щелочами из аммониевых солей по схеме: $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 = 2\text{NH}_3 + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Старейший промышленный способ получения аммиака — выделение его из отходящих газов при коксовании угля. Основной современный способ промышленного получения аммиака — синтез из элементов — азота и водорода, предложенный в 1908 немецким химиком Ф. Габером.
- Синтез аммиака из простых веществ протекает с выделением тепла и уменьшением объёма.

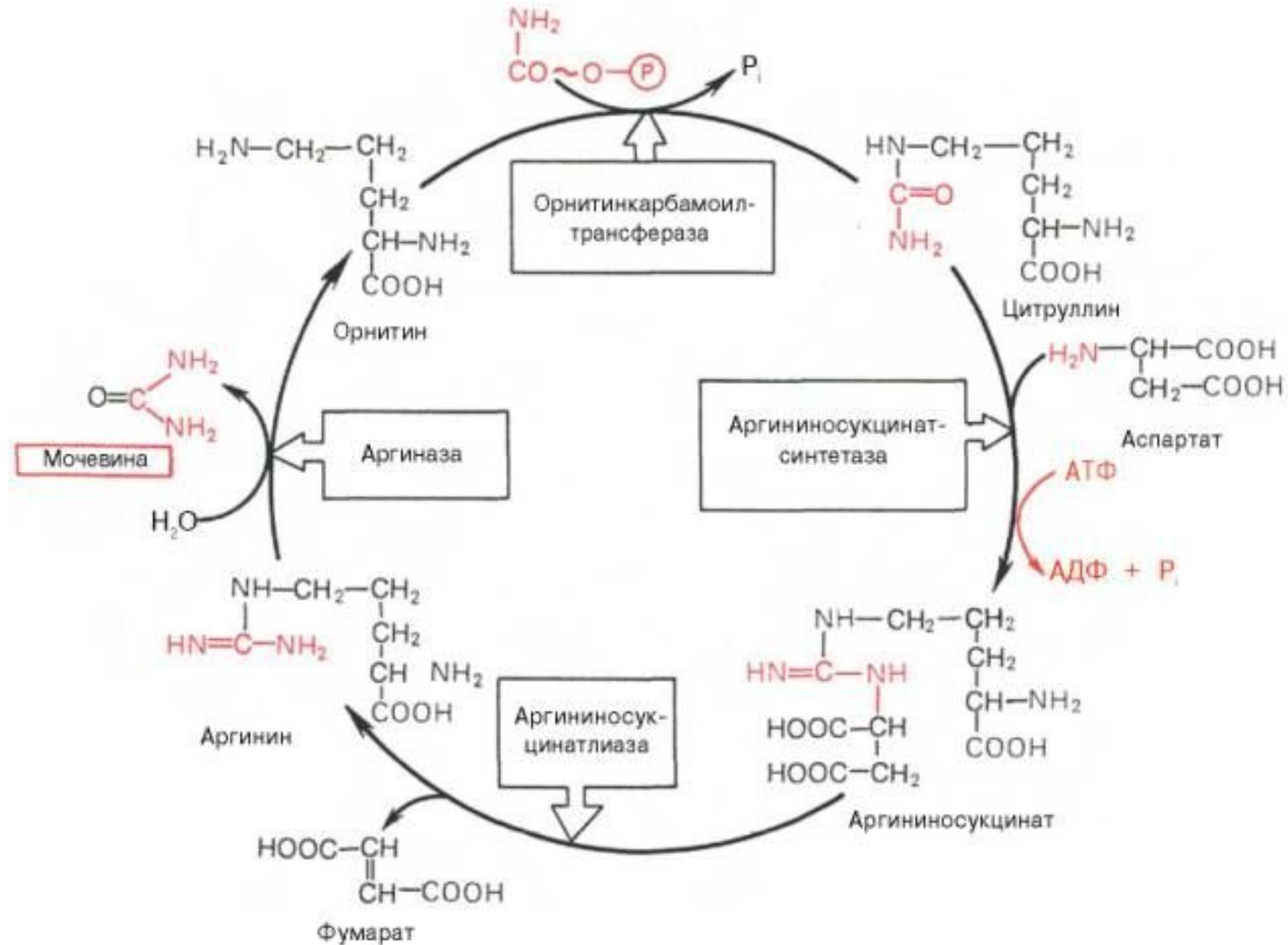


Биологическая роль аммиака и воздействие на окружающую среду

Биологическая роль

- Аммиак является конечным продуктом азотистого обмена в организме человека и животных. Он образуется при метаболизме белков, аминокислот и других азотистых соединений. Он высоко токсичен для организма, поэтому большая часть аммиака в ходе орнитинового цикла конвертируется печенью в более безвредное и менее токсичное соединение — карбамид (мочевину). Мочевина затем выводится почками, причём часть мочевины может быть конвертирована печенью или почками обратно в аммиак.
- Аммиак может также использоваться печенью для обратного процесса — ресинтеза аминокислот из аммиака и кетоаналогов аминокислот. Этот процесс носит название «восстановительное аминирование». Таким образом из щавелевоуксусной кислоты получается аспарагиновая, из α -кетоглутаровой — глутаминовая

Рис. 1. Орнитиновый цикл синтеза мочевины в печени.



Влияние на окружающую среду

- По своему физиологическому воздействию аммиак далеко не безвреден. В больших концентрациях он снижает фотосинтез древесных растений, поражает гречиху, капусту, подсолнечник и томаты; снижает способность гемоглобина крови рыб связывать кислород и задерживает эмбриональное развитие некоторых рыб (например плотвы). В случае сбросов неочищенных от аммиака сточных вод предприятием у рыб может возникнуть сильная интоксикация, часто приводящая их к гибели. Аммиак в больших концентрациях может вызвать у животных воспаление легких и даже привести их к гибели. Газообразный аммиак проникает через кожу животных, препятствует приросту массы тела.

- Аммиак, содержащийся в навозе свиней и КРС, курином помете может быть использован во благо и во вред. С одной стороны, это соединение азота благотворно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур, с другой, при его избытке, улетучивается в атмосферу и ухудшает качество почв.
- Использование навоза в качестве органического удобрения сопровождается выбросами аммиака в атмосферу в процессе его внесения и заделки в почву. Они могут достигать 95 % от содержания аммиачного азота $\text{NH}_3\text{-N}$ в навозе. В атмосфере, в период от нескольких часов до нескольких суток аммиак вступает в реакцию с поступающими выбросами химических и металлургических производств серной и азотной кислотой, которые выделяются при гниении органики в свободном виде. В результате образуются соли аммония — сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_2$ и нитрат аммония NH_3NO_3 . Осаждаясь на поверхность почвы, они представляют серьезную угрозу для окружающей среды. Эти химические соединения подкисляют почву и воду. Кроме того, аммиак увеличивает скорость коррозии металлических конструкций и зданий, оказывает негативное воздействие на организм человека. Избыточное накопление в почве различных аммиачных соединений, в токсичных концентрациях, непосредственно и косвенно влияют на растения, снижают продуктивность сельскохозяйственных культур.



Эвтрофирование водоемов

- Биогенные компоненты поступают в природные экосистемы как водным, так и воздушным путем. Основными загрязнителями водоемов биогенными веществами служат азотные и фосфорные удобрения, отходы животноводства, фосфорсодержащие пестициды. К эвтрофированию может привести строительство водохранилищ без надлежащей очистки ложа, строительство плотин, образование застойных зон, тепловое загрязнение воды, сброс сточных вод, особенно коммунально-бытовых, содержащих детергенты, в том числе и прошедших биологическую очистку
- Оно ведет к:
- уменьшение концентрации растворенного кислорода в водной толще;
- увеличение содержания взвешенных частиц, особенно органического происхождения;
- увеличение концентрации фосфора в донных отложениях;
- уменьшение проникновения света (возрастание мутности воды);
- увеличение концентрации газов, образующихся при разложении органических остатков при недостатке кислорода – аммиака, метана, сероводорода;
- ·показатель кислотности воды при 100% насыщении кислородом (рН100%);
- последовательная смена популяций водорослей с преобладанием сине-зеленых и зеленых водорослей;
- значительное увеличение биомассы фитопланктона;
- обнаружение альгитоксинов.

- Вследствие массового размножения сине-зеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды, ухудшаются условия жизни гидробионтов и качество воды, прежде всего, ее органолептические свойства. Сине-зеленые водоросли в результате своей жизнедеятельности производят при определенных условиях сильнейшие токсины, которые представляют опасность для живых организмов и человека. Они не имеют ни цвета, ни запаха, не разрушаются при кипячении. Альгитоксины по своей токсичности не имеют себе равных. Они могут вызывать цирроз печени, дерматиты у людей, отравление и гибель животных.



Применение

- В холодильной технике используется в качестве холодильного агента (R717)
- В медицине 10 % раствор аммиака, чаще называемый нашатырным спиртом, применяется при обморочных состояниях (для возбуждения дыхания), для стимуляции рвоты, а также наружно — невралгии, миозиты, укусах насекомых, для обработки рук хирурга. При неправильном применении может вызвать ожоги пищевода и желудка (в случае приёма неразведённого раствора), рефлекторную остановку дыхания (при вдыхании в высокой концентрации)
- Применяют местно, ингаляционно и внутрь. Для возбуждения дыхания и выведения больного из обморочного состояния осторожно подносят небольшой кусок марли или ваты, смоченный нашатырным спиртом, к носу больного (на 0,5-1 с). Внутрь (только в разведении) для индукции рвоты; также, в составе нашатырно-анисовых капель - в качестве муколитического (отхаркивающего) средства. При укусах насекомых — в виде примочек; при невралгиях и миозитах — растирания аммиачным линиментом. В хирургической практике разводят в тёплой кипяченой воде и моют руки.
- Поскольку аммиак является слабым основанием, при взаимодействии с кислотами он их нейтрализует.

Синтез аммиака

- В промышленности синтетический аммиак получают:
- при низком давлении (10 - 15 МПа),
- среднем (30 МПа)
- высоком (100 МПа).

- Оптимальный метод синтеза выбирают с учетом физико-химических свойств системы, в основе которой лежат химическая реакция азота и водорода, свойства сырья и получаемого продукта
- Синтез аммиака возможен каталитическим способом, при температуре зажигания катализатора (420 - 500 °С) и устойчивой работе катализатора.
- Химико-технологическая система получения аммиака включает несколько химико-технологических процессов:
 - получение синтез-газа эквивалентной смеси из природного газа и водяного пара,
 - при обработке части парафиновых продуктов водяным паром, а затем другой части - кислородом воздуха, чтобы привлечь азот воздуха к участию в синтез-газе

Способ Габера

Сто лет назад, в 1918 году, Нобелевскую премию по химии присудили Фрицу Габеру и Карлу Бошу за разработку промышленного способа получения аммиака из водорода и азота.

И сегодня этот процесс остается главной технологией связывания атмосферного N_2 .

Ежегодный объем производства аммиака по Габеру — Бошу — 140 миллионов тонн; человечество тратит на это около 2% всей вырабатываемой энергии.

Энергия необходима главным образом для создания высокого давления — взаимодействие водорода с азотом требует температур около 400°C и давления 20 МПа.

Матишена Е, Багрова В., Жукова О.,
Огнёва Н

Промышленный способ получения аммиака основан на прямом взаимодействии водорода и азота:



Катализатор: пористое железо с примесями Al_2O_3 , K_2O

Реакция происходит с выделением тепла и понижением объёма. Следовательно, исходя из принципа Ле-Шателье, реакцию следует проводить при возможно низких температурах и при высоких давлениях – тогда равновесие будет смещено вправо. Однако скорость реакции при низких температурах ничтожно мала, а при высоких происходит запуск обратной реакции.

Проведение реакции при очень высоких давлениях, требует создания специального оборудования, а значит и больших капитальных вложений. Кроме того равновесие реакции даже при 700°C устанавливается слишком медленно для практического её использования.

Применение катализатора позволяет ускорить достижение равновесного состояния.

Учитывая все вышеприведённые факторы, процесс получения аммиака проводят при следующих *условиях*:

1. Температура 500 °C;
2. Давление 350 атмосфер;
3. Катализатор.

Выход аммиака при таких условиях составляет 30%.

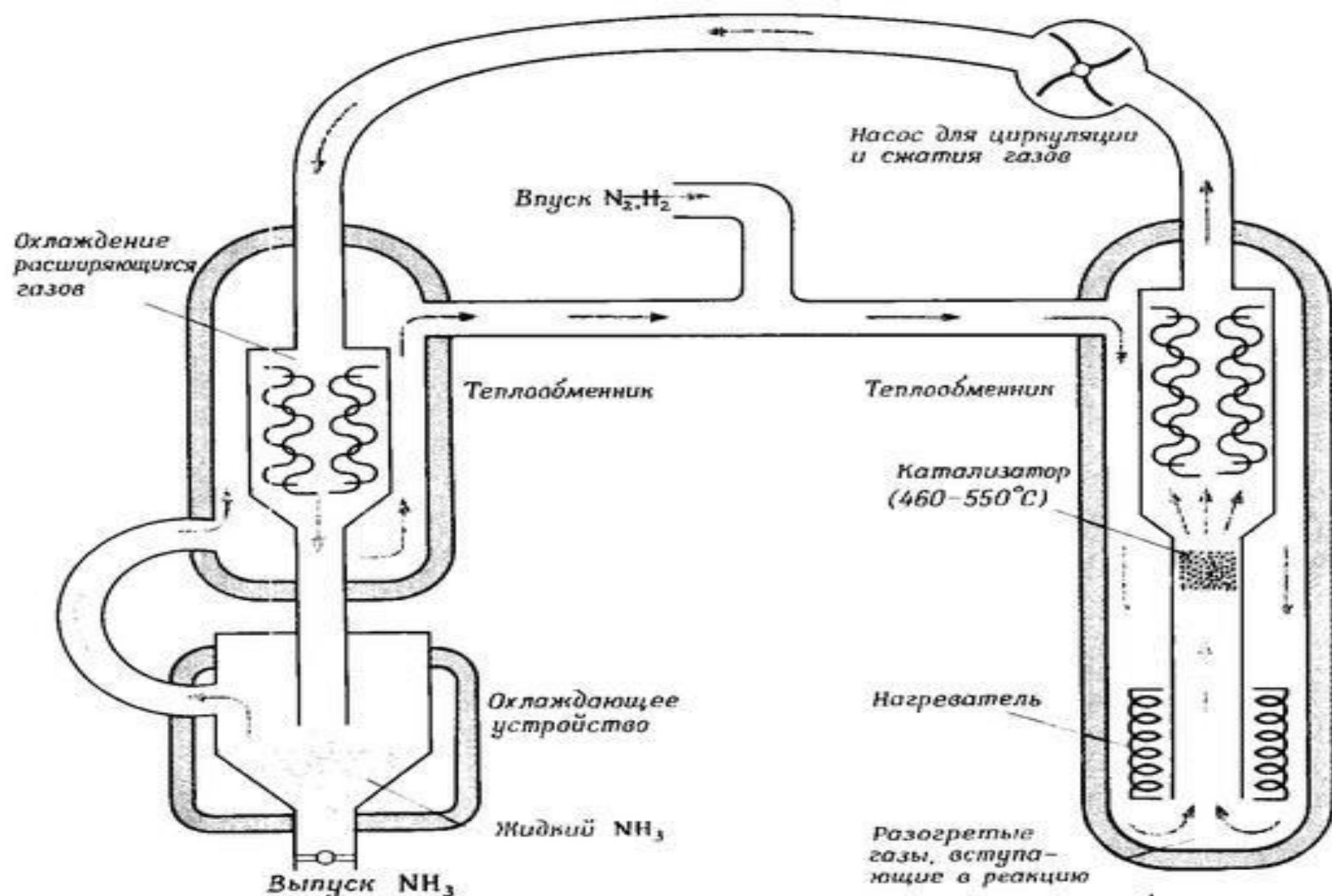


Рис. 14.4. Схема промышленного процесса синтеза аммиака (процесс Габера). Поступающие в систему газообразные N_2 и H_2 нагревают приблизительно до $500^\circ C$ и пропускают над катализатором. Образующейся газовой смеси дают расшириться, в результате чего она охлаждается и из нее сжижается NH_3 . Непрореагировавшие N_2 и H_2 возвращают на повторный цикл.

Преимущества

1. Безотходное производство. Осуществление циркуляции реагирующих веществ по замкнутому кругу до полного превращения в конечные продукты.
2. Тщательная очистка отходящих газов и сточных вод.
3. Сбережение материальных, энергетических, сырьевых и трудовых ресурсов.
4. Повышение роли химиков-технологов и квалифицированных рабочих. В условиях научно-технической революции, в период бурного развития и науки, и техники трудно назвать какую-либо отрасль промышленности и сельскохозяйственных производств, которая не была бы связана с химией.

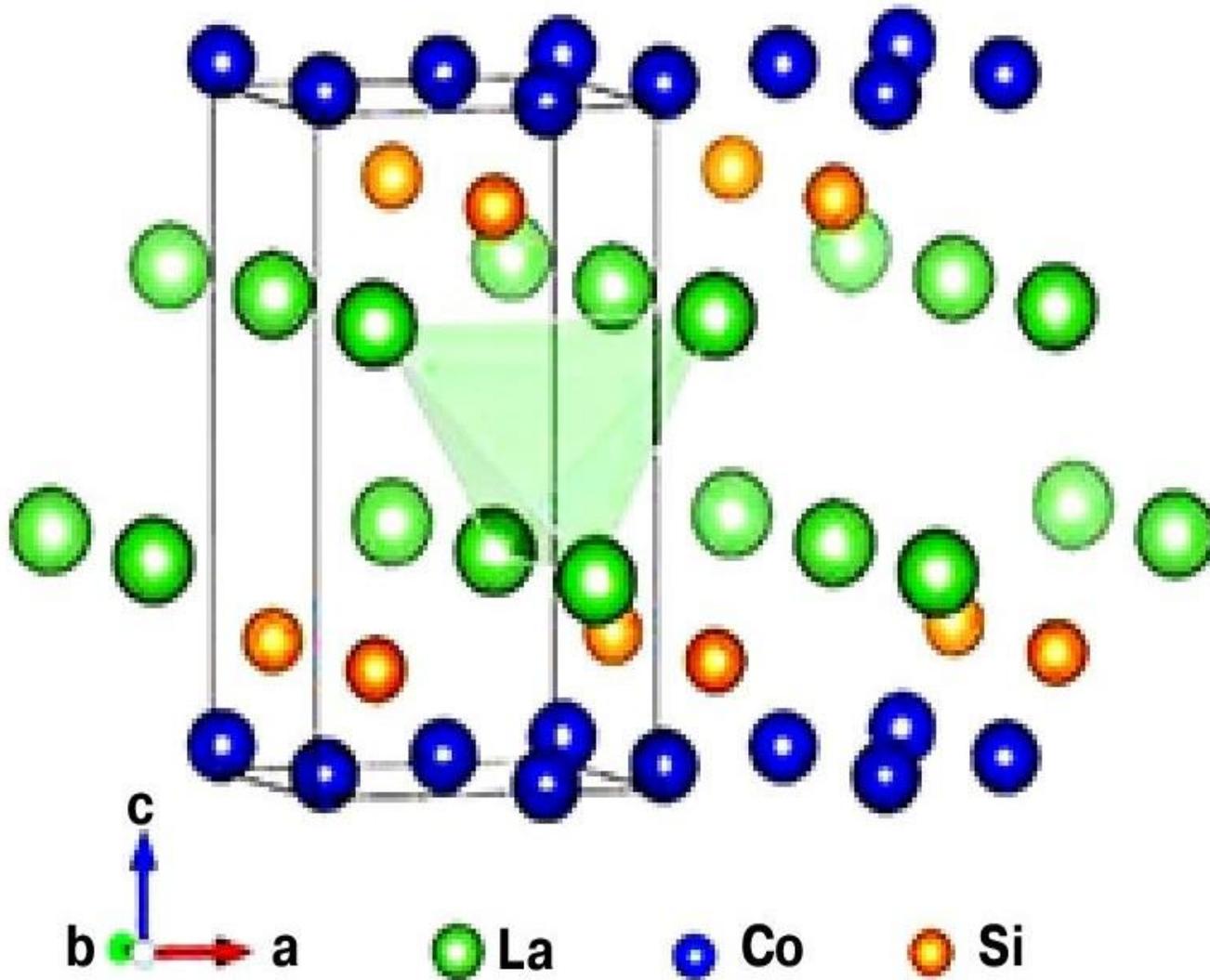
На заводе по производству аммиака наиболее важные профессии – оператор, компрессорщик, аппаратчик, катализаторщик, лаборант и др. Современное химическое производство нуждается в рабочих кадрах самой высокой квалификации.

5. Охрана окружающей среды от загрязнений промышленными отходами. Борьба с вредным воздействием на природу и человека промышленных отходов – одна из важнейших проблем защиты окружающей среды, поэтому был принят закон об охране и рациональном использовании природных ресурсов.

1. По различным оценкам, на получение аммиака человечество тратит не менее 1% от всей вырабатываемой энергии: аммиака нужно много, а процесс Габера — Боша крайне энергозатратен. Во-первых, чтобы получить из азота и водорода аммиак, нужно затратить колоссальную энергию на сжатие и разогрев азото-водородной смеси. Во-вторых, реакция азота с водородом обратима и выход аммиака составляет всего 15% от возможного. Из-за этого необходимо выходящую из реактора азото-водородо-аммиачную смесь разделять и оставшиеся после отделения аммиака азот и водород заново направлять в реактор, увеличивая время нахождения исходных веществ при повышенных давлении и температуре.
2. Еще одна проблема процесса Габера — Боша — водород, который получают с помощью многостадийной конверсии природного газа или каменного угля, что также приводит к затратам энергии и образованию парниковых газов. К сожалению, организация технологического цикла по получению аммиака с помощью процесса Габера — Боша (в особенности — циркуляция азото-водородной смеси) не позволяют интегрировать производство аммиака с технологиями получения водорода из возобновляемых источников, в первую очередь — электролизом воды

Возможно, производство аммиака подешевеет благодаря новому катализатору, который разрушает тройную связь азот-азот в более мягких условиях

Новый катализатор LaCoSi обнаружила группа Хидео Хосоно и Цзюньцзе Вона из Токийского технологического института. При температуре 400°C и нормальном атмосферном давлении он в десять раз эффективнее катализирует превращение азотоводородной смеси в аммиак, чем его ближайший конкурент — смешанный нитрид молибдена-кобальта. Есть еще одно вещество, которое приближается к LaCoSi по каталитической активности в разрыве тройной связи азот-азот, но не превосходит его, — это металлический рутений. Однако для масштабов промышленного производства аммиака он слишком редкий и дорогой.



Это представитель соединений-интерметаллидов (они содержат металлы, но в отличие от сплавов подчиняются закону постоянства состава), образованный f-металлом, d-металлом и p-элементом. Состав и строение кристаллической решетки LaCoSi таковы, что на кобальте образуется высокая электронная плотность, а это позволяет разрушать прочные ковалентные связи в молекулах H_2 и N_2 . Как отмечают исследователи,² энергия активации каталитического процесса — самая низкая среди изученных ранее. Причина в интересной особенности процесса: энергия, которая выделяется в результате адсорбции азота на поверхности катализатора, расходуется на разрыв тройной связи $\text{N} \equiv \text{N}$.

Говорить о том, что процесс Габера скоро уступит место катализатору LaCoSi , пока рано. Японские ученые продолжают работать, чтобы увеличить эффективность рабочей поверхности катализатора и выяснить, проявит ли интерметаллид LaCoSi высокую каталитическую активность и в промышленных масштабах. В любом случае разработка способов связывания атмосферного азота — один из священных граалей химии, поэтому любые результаты в этой области важны не только в практическом плане, но и для теории каталитических процессов.

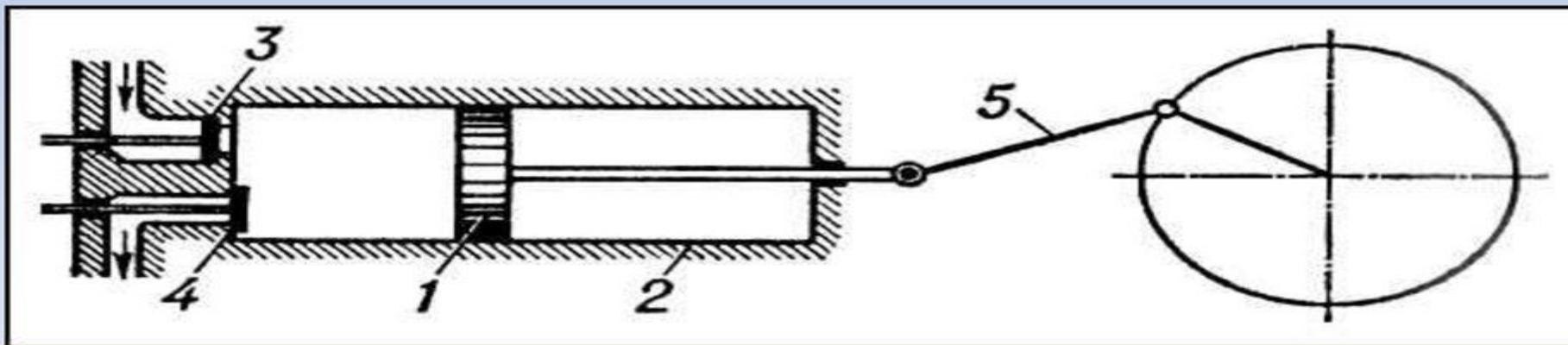
Процесс Клода

- Процесс Клода характеризуется работой под давлением 900 - 1000 ат, против 200 - 250 ат, применяемых в процессе Габера. С и давлением 1000 ат, может находиться 57,5 % аммиака.
- На практике при объемной скорости 100 000 И при температурах от 500 до 650 С концентрация аммиака достигает 25 %, что соответствует превращению в аммиак 40 % поступающей азото-водородной смеси при прохождении через одну колонну синтеза.
- Выход аммиака на 1 кг катализатора в час составляет около 6 кг, против 0,3 до 0,4 кг, получаемых в процессе Габера. Так как при образовании 1 моля аммиака выделяется около 13000 кал, то очевидно, что поддержание уровня температуры сводится к проблеме удалению тепла, а не к его сохранению.

Поршневые детандеры - машины объёмного периодического действия, в которых потенциальная энергия сжатого газа преобразуется во внешнюю работу при расширении отдельных порций газа, перемещающих поршень.

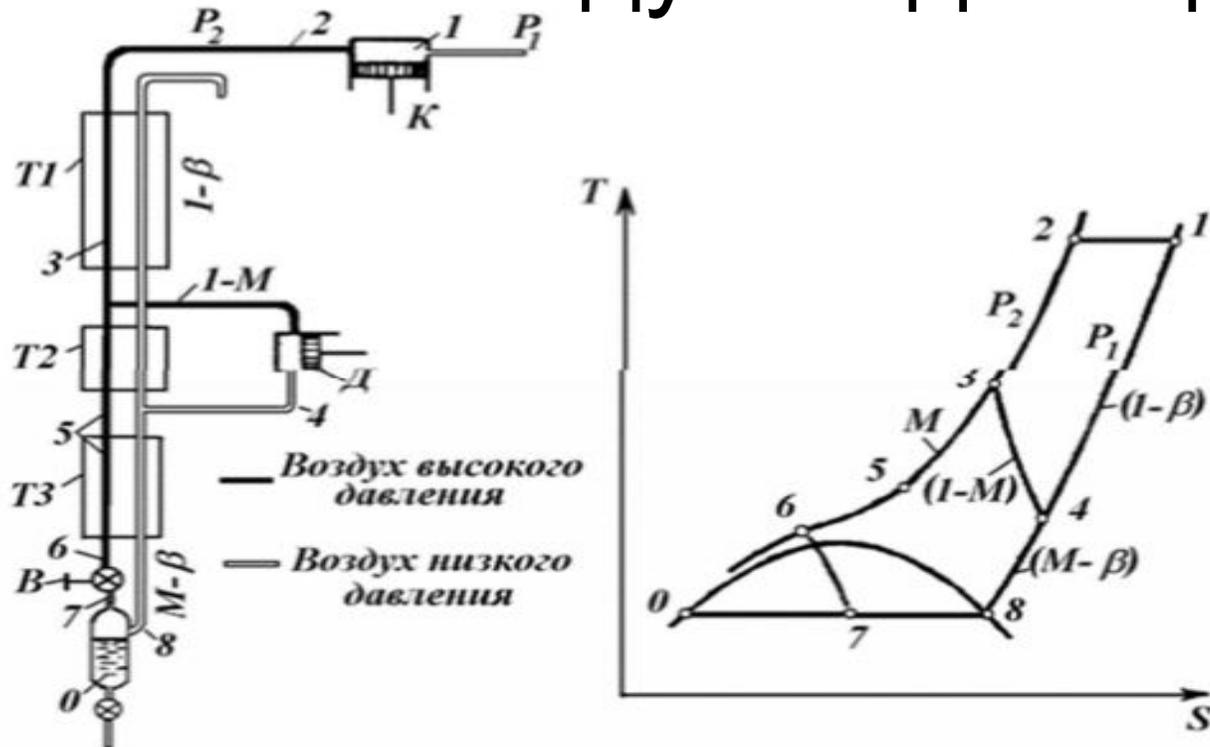
Они выполняются вертикальными и горизонтальными, одно- и многорядными. Торможение поршневых детандеров осуществляется электрогенератором и реже компрессором.

Применяются в основном в установках с холодильными циклами высокого $15-20 \text{ Мн/м}^2$ (150-200 атм) и среднего $2-8 \text{ Мн/м}^2$ (20-80 атм) давлений для объёмных расходов газа при температуре и давлении на входе в машину (физических расходов) $0,2-20 \text{ м}^3/\text{ч}$.



- **Детандер** (от франц. détente — *ослаблять*) — устройство, преобразующее [потенциальную энергию газа](#) в [механическую энергию](#). При этом газ, совершая работу, [охлаждается](#). Используется в цикле получения жидких газов, таких как [кислород](#), [водород](#) и [гелий](#). Наиболее распространены поршневые детандеры и турбодетандеры.

Цикл среднего давления с расширением части воздуха в детандере (цикл Клода)



На рис. 22 изображены схема цикла среднего давления с расширением части воздуха в детандере и диаграмма T – S этого цикла. Воздух сжимается в компрессоре К до давления 4 – 6 МПа и охлаждается в теплообменнике Т1. Выходящий из теплообменника воздух делится на две части: одна часть в количестве (1 – М) кг поступает в детандер Д и расширяется до атмосферного давления (линия 3 – 4), совершая внешнюю работу. При этом воздух сильно охлаждается.

Рис. 22. Цикл среднего давления с расширением части воздуха в детандере

Другая часть воздуха M кг охлаждается в теплообменниках $T2$ и $T3$ (линия 3 – 6), дросселируется (линия 6 – 7) и поступает в отделитель жидкости

О. Пары, образующиеся в количестве $(M - x)$ кг, проходят теплообменник $T3$ и, соединившись с воздухом из детандера, поступают в теплообменники $T2$ и $T1$, отдавая свой холод сжатому воздуху (по линии 8 – 1).

Удельная холодопроизводительность цикла равна:

$$q_o = \Delta I_{др} + (1-M) \cdot h_{ад} \cdot \eta_{ад} \quad (39)$$

где $h_{ад} = I_3 - I_4$ – адиабатический теплоперепад (точка 4' лежит на пересечении адиабаты, проведенной из точки 3, и изобары P_1);

$\eta_{ад} = (I_3 - I_4)/(I_3 - I_4')$ – адиабатический КПД детандера, или:

$$q_o = (I_1 - I_2) + (1 - M) \cdot (I_3 - I_4) \quad (40)$$

где $I_3 - I_4$ – действительное понижение энтальпии воздуха в детандере (называемое теплоперепадом),

Коэффициент сжижения воздуха равен:

$$x = \frac{(I_1 - I_2) + (1 - M) \cdot (I_1 - I_2) - (q_{и} + q_{н})}{(I_1 - I_0)} \quad (41)$$

Расход энергии на сжижение 1 кг воздуха равен (в МДж):

$$N = \frac{RT \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}}{x \cdot \eta_{из}} - \frac{(1 - M) \cdot h_{ад} \cdot \eta_{ад} \cdot \eta_m}{x \cdot 10^3} \quad (42)$$

где η_m – механический КПД детандера.

Количество холода, получаемого в цикле с детандером, зависит от давления сжатия, температуры и количества воздуха, направляемого в детандер. Чем ниже давление сжатия, тем более низкую температуру должен иметь воздух перед детандером и тем большее количество воздуха должно направляться в него.

Как видно из рис. 22, с повышением температуры воздуха перед детандером (T_3) количество получаемого в детандере холода увеличивается.

Однако это вызывает повышение температуры после детандера (T_4). Чем выше температура T_4 , тем выше будет и температура сжатого воздуха перед дросселированием T_6 , так как нужно иметь всегда некоторую разность температур (так называемый температурный напор) между сжатым и расширенным воздухом. Это уменьшает количество воздуха, сжижаемого при дросселировании.

(Дросселирование — понижение давления за счёт проталкивания вещества через узкое проходное сечение. Не является источником холода, а лишь реализует процесс снижения температуры. Источник холода — такое устройство, в котором происходит изменение энтальпии.)

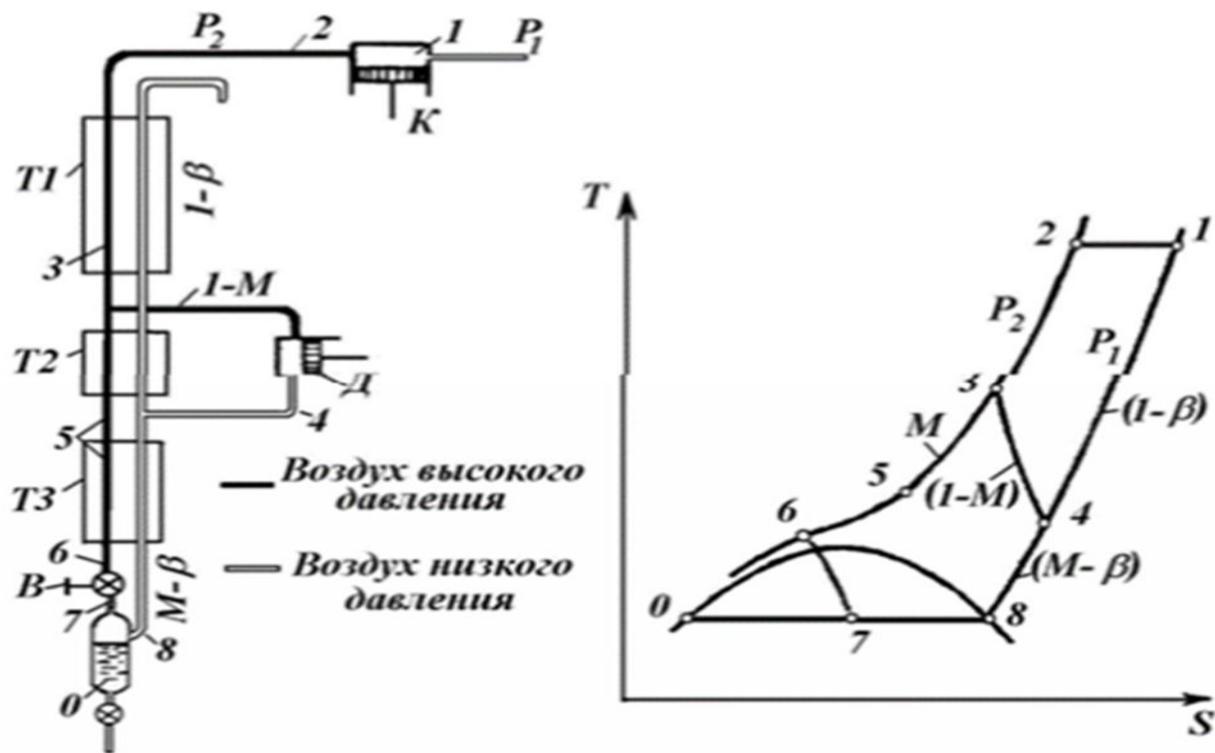


Рис. 22. Цикл среднего давления с расширением части воздуха в детандере

Действительно, с повышением температуры T_6 линия дросселирования $6 - 7$ располагается правее, и отрезок $7 - 8$, пропорциональный количеству сжижаемого воздуха, уменьшается. Поэтому в циклах с детандером каждому давлению P_2 и количеству детандерного воздуха будет соответствовать оптимальная температура воздуха T_3 перед детандером.

Цикл высокого давления с детандером является наиболее экономичным из всех циклов получения жидкого воздуха и характеризуется наименьшей затратой энергии на получение 1 кг жидкого воздуха; в то же время обеспечивается наибольший выход жидкого воздуха, по отношению к количеству перерабатываемого воздуха.

Цианамидный метод Метод Франка-Каро

Танатов А.

Буйновская Е.

Любчак Е.

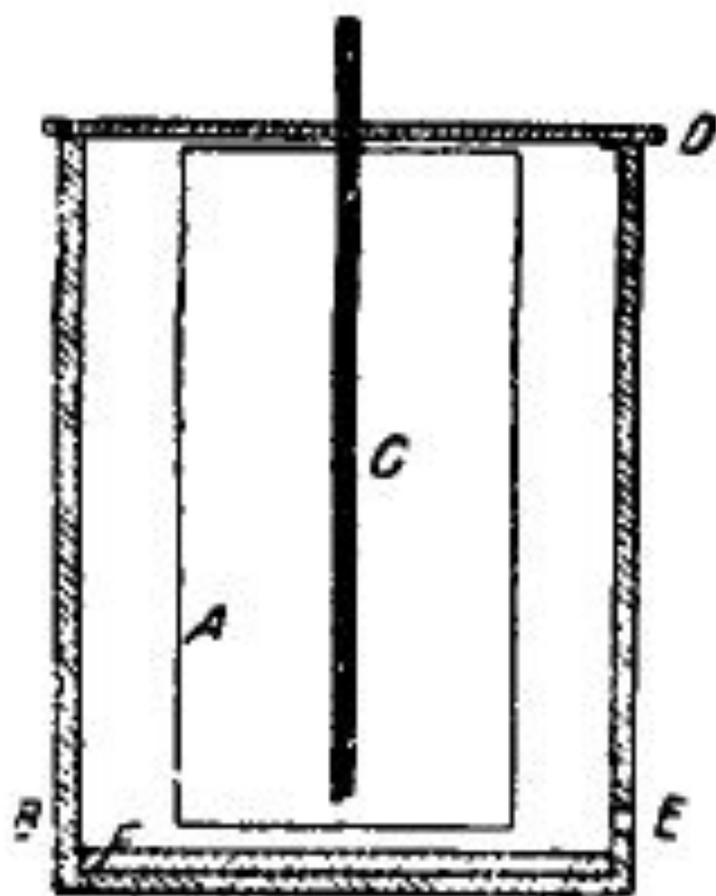
Федотова М.

Суть метода

- Цианамидный способ фиксации азота (по идее Франка и Каро) основан на способности карбида кальция присоединять к себе атмосферный азот при температуре около $1000\text{--}1100^\circ$ с образованием цианамид кальция по реакции: $\text{CaC}_2 + \text{N}_2 = \text{CaCN}_2 + \text{C} + 98430 \text{ cal}$. Т. о. реакция образования этого препарата связанного азота является экзотермической и сопровождается выделением значительного количества тепла.
- Достаточно нагреть перемолотый в порошок карбид лишь для начала реакции до 1000° , и дальнейший процесс присоединения N_2 идет самостоятельно, не только без затрат, но даже с выигрышем энергии.
- Зато получение исходного продукта карбида кальция связано с значительной затратой энергии на обжиг известняка ($\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2 - 42900 \text{ cal}$) и на образование самого карбида ($\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO} - 121000 \text{ cal}$).
- В 1895 году был разработан метод Н. Каро и А. Франк

- При образовании своем из карбида цианамид кальция сплавляется в массивные, весьма твердые барабаны. Имеются попытки сделать производство цианамида кальция непрерывным; например, этажные печи Карлсона (на шведских заводах Льюнга) или каналовые печи Польцениуса с перфорированными металлическими коробами, наполненными мелким карбидом и поступающими последовательно в длинную нагретую азотирующую печь (схему установки для азотирования карбида см. на фиг. 2).

Фиг. 2. Схема азотирования карбида по Франку и Каро: *A* — перфорированный короб с молотым карбидом, *B* — шамотовая азотирующая печь, *C* — угольный электрод, *D* — плотная крышка, *E* — приток азота, *F* — другой электрод.



Преимущества

- Это был один из первых методов связывания азота.
- Достаточно нагреть перемолотый в порошок карбид лишь для начала реакции до 1000° , и дальнейший процесс присоединения N_2 идет самостоятельно, не только без затрат, но даже с выигрышем энергии.

Недостатки

- Этот вариант требовал больших затрат энергии (температура 1000-1100°C) и был экономически невыгодным, поэтому со временем от него отказались.
- Дорогостоящее сырьё относительно воздуха.

Способ Серпека

Первоначальное предложение Серпека сводилось к этой реакции азота с карбидом. Потом им же была осуществлена реакция между карбидом алюминия, окисью алюминия и азотом.

Удовлетворительное проведение этих реакций в заводском масштабе встретило большие затруднения, так что несколькими годами позже Серпек стал получать нитрид алюминия из боксита (вид естественный оксид алюминия), пользуясь реакцией:



- На опытном заводе посредством созданной для этой цели установки Серпек мог показать возможность непрерывного получения нитрида при температурах от 1500 до 1800. При этом выяснилось, что с повышением температуры скорость превращения возрастает таким образом, что количество соединившегося с алюминием азота удваивается уже приблизительно 1800.
- В 1911 году способ Серпека был испробован Парижским Soclete Generale des Nitrues на опытном заводе в Савойе. Печь Серпека была построена по образцу больших вращающихся печей для обжига цемента. Схематическое изображение всей его первоначальной установки представлен на рисунке 11.

Рисунок № 11.

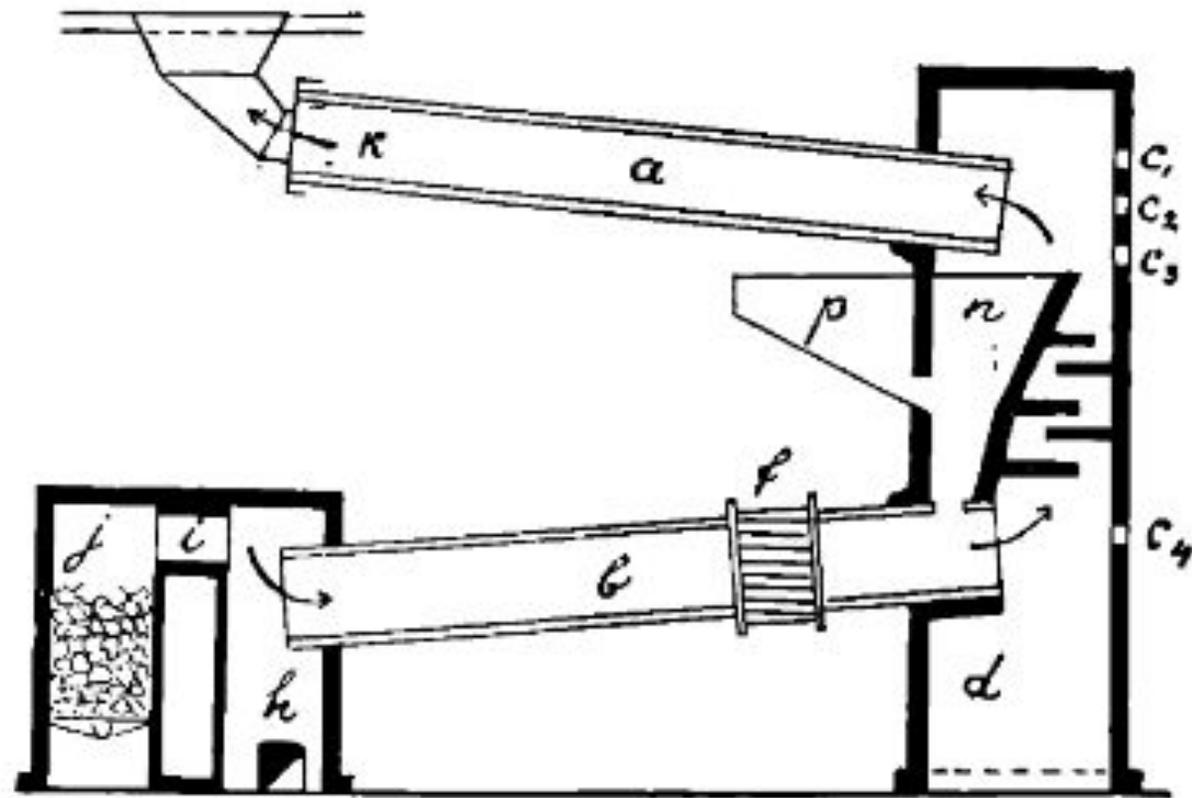


Схема нитридной печи Серпека.

Она состоит из верхней трубы **a**, в которую через **k** посредством воронки А подается боксит или другой, содержащий окись алюминия, материал. Последний вращением **a** попадает в воронку **n**, в которую помощью **p** вносится необходимый для реакции уголь. Уголь с бокситом смешивается в трубе **b** и проходит через печь сопротивления **f**. Образующийся в **j** генераторный газ подни-

Характерные свойства нитридов

- Почти все они образуются при высоких температурах. Многие из них отличаются неустойчивостью при подробных температурах. Другие огнестойки и выдерживают температуры 2000°C – 4000°C , например, нитрид бора, алюминия, титана, вольфрама и других элементов. Некоторые из нитридов по твердости своей приближаются к алмазу и даже совпадают с ним. Так, твердость нитрида ванадия составляет 9-10. Твердость стержня из сплавленного нитрида 9-10. Нитрид титана в минеральных кислотах не растворяется. Нитрид бора в соляной, серной и азотной кислотах не растворим, не растворим также в разбавленных растворах щелочей.

Недостатки способа Серпека

- Для данного способа необходима высокая температура (1500°C - 1800°C)
- Невыгодная закупка угля т.к. он используется в качестве реагента. (уголь без серы и других примесей)
- Дороговизна реагентов (Например, боксит стоит 13 000 р/27тонн)

Плюсы способа Серпека

- В прошлом, когда проблема дешевого синтеза соединений азота, пригодных для удобрения, не была разрешена, способ Серпека считали одним из многообещающих для синтеза аммиака, который рассматривали как основной продукт производства.

Сравнение методов

- Метод Серпека был разработан позже метода Франка-Каро
- Для метода Серпека необходима большая температура по сравнению с методом Франка-Каро
- Разные исходные реагенты
- При методе Франка-Каро выделяется много энергии