ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКИСЛОВ АЗОТА

Основные источники загрязнения атмосферы нитрозными газами:

- ряд производств химической промышленности;
- нефтеперерабатывающая промышленность;
- сжигание топлива.

В зависимости от степени окисления азота существуют следующие соединения азота с кислородом:

Окислы азота	Источник образования	Химическая активность
N_2O (оксид диазота)	–	Не активен при невысоких температурах. При высоких температурах разлагается на азот и кислород (*полная диссоциация начинается при 900 ^0C*): $2N_2O \rightarrow 2N_2 + O_2$
NO (оксид азота)	–	Обладает низкой химической активностью. Плохо растворим в воде, солях и органических соединениях. С солями двухвалентного железа, меди, марганца, никеля и т.д. образует комплексные соединения, легко разрушаемые при нагревании.
NO_2 (диоксид азота)	Образуются в результате окисления NO кислородом: $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$	С водой легко образует азотную кислоту: $3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$
N_2O_3 (триоксид зота)	Образуется при взаимодействии оксида азота с диоксидом: $NO + NO_2 \leftrightarrow N_2O_3$	Существует только при низких температурах, *т.к. при высоких протекает обратная реакция:* $N_2O_3 \rightarrow NO + NO_2$ В виде жидкости и пара в основном находится в диссоциированном состоянии.
N_2O_4 (тетраоксид азота)	Образуется при полимеризации диоксида серы.	Является сильным окислителем.
N_2O_5 (пентаоксид азота)		Является малоустойчивым оксидом. Сильный окислитель. Существует при минусовых температурах (от -11,2^{0}C и ниже)

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКИСЛОВ АЗОТА

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ

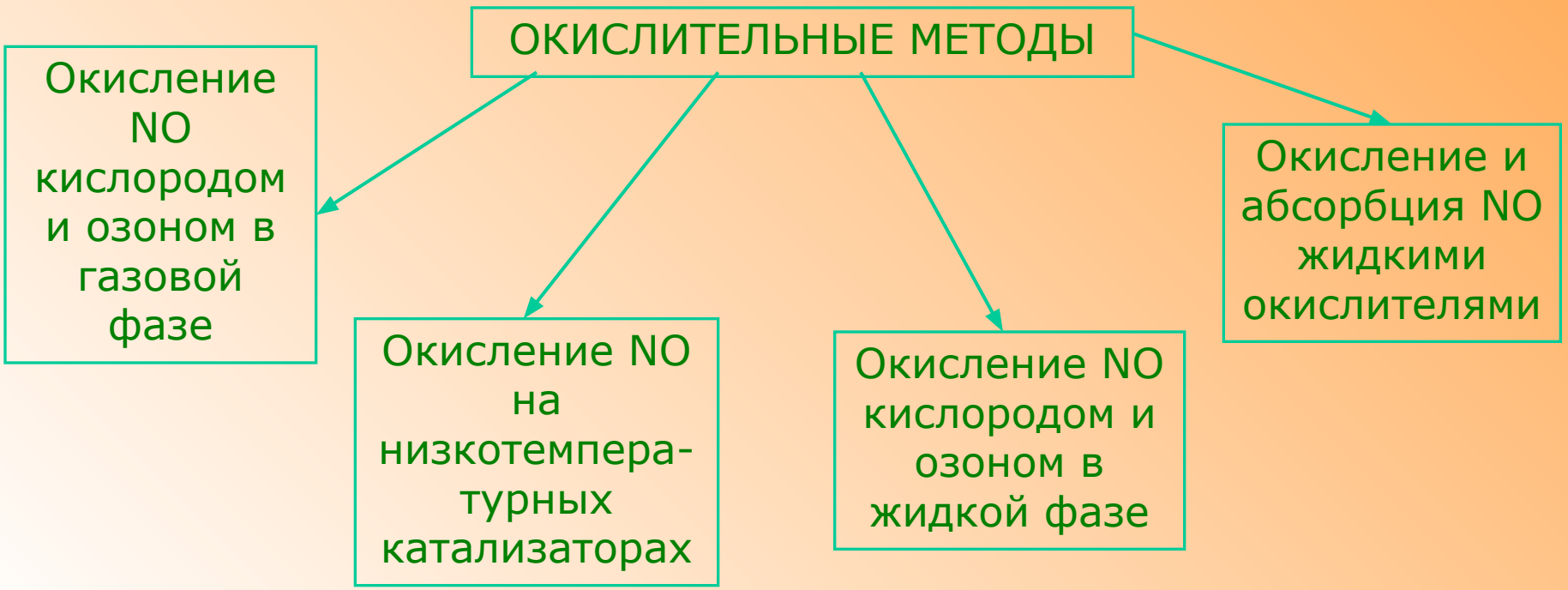
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ

СОРБЦИОННЫЕ

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКИСЛОВ АЗОТА

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Окислительные методы санитарной очистки газов от окислов азота основаны на предварительном окислении NO с последующим поглощением NO_2 и N_2O_3 различными поглотителями.



Окислительные методы:

Окисление NO кислородом и озоном в газовой фазе

Окисление окиси азота **кислородом воздуха** (8−10% и более) является мало эффективным, вследствие небольшого увеличения степени очистки и низкой степени использования добавляемого кислорода (не более 0,5−1%).

Использование для окисления окиси азота более сильного окислителя – **озона**, является нецелесообразным вследствие его высокой стоимости и низкой степени использования озона – в реакции участвует только один атом O:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$

Окислительные методы:

Окисление NO на низкотемпературных катализаторах

В качестве катализаторов окисления окислов азота в практике санитарной очистке газов используются такие вещества как: кокс, пропитанный солями марганца и меди; алюмогель; уголь из абрикосовых косточек; силикагель; карбоалюмогель и гопкалит.

В присутствии этих катализаторов скорость реакции гетерогенного окисления окиси азота увеличивается в 1,5−2,5 раза.

Окислительные методы:

Окисление NO на низкотемпературных катализаторах

Каталитическая активность перечисленных катализаторов убывает в следующей последовательности:

гопкалит > карбоалюмогель > силикагель > косточковый уголь > кокс

Использование этих катализаторов позволяет увеличить скорость абсорбции окислов азота соответственно в **2.51; 1.91; 1.46; 1.31; 1.17** раза.

Окислительные методы:

Окисление NO на низкотемпературных катализаторах

Наиболее активным является **гопкалит**, при чем его каталитическая активность начинает проявляться при температуре выше **20 ^{0}C** и увеличивается, достигая максимума при **120 ^{0}C**, после чего снова снижается, вследствие обратимости реакции:

$$\mathbf{NO + ½O_2 \leftrightarrow NO_2}$$

На активность гопкалита оказывает влияние не только температура реакционной среды, но и объемная скорость газа и концентрации O_2 и NO.

Окислительные методы:

Окисление NO кислородом и озоном в жидкой фазе

Окисление окиси азота в жидкой фазе имеет определенные **преимущества** по сравнению с окислением в газовой фазе, − количество жидкой фазы в процессе массообмена в сотни раз меньше газовой, поэтому технологические операции с жидкостью можно проводить в значительно меньших реакционных объемах.

Окислительные методы:

Окисление NO кислородом и озоном в жидкой фазе

Процесс окисления и абсорбции окиси азота в жидкой фазе складывается из **2-х стадий**:

1) процесс окисления NO растворенным кислородом в NO_2:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

2) абсорбция диоксида азота водой:

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO + Q$$

в результате чего NO непрерывно выводится из системы, переходя в азотную кислоту.

Окислительные методы:

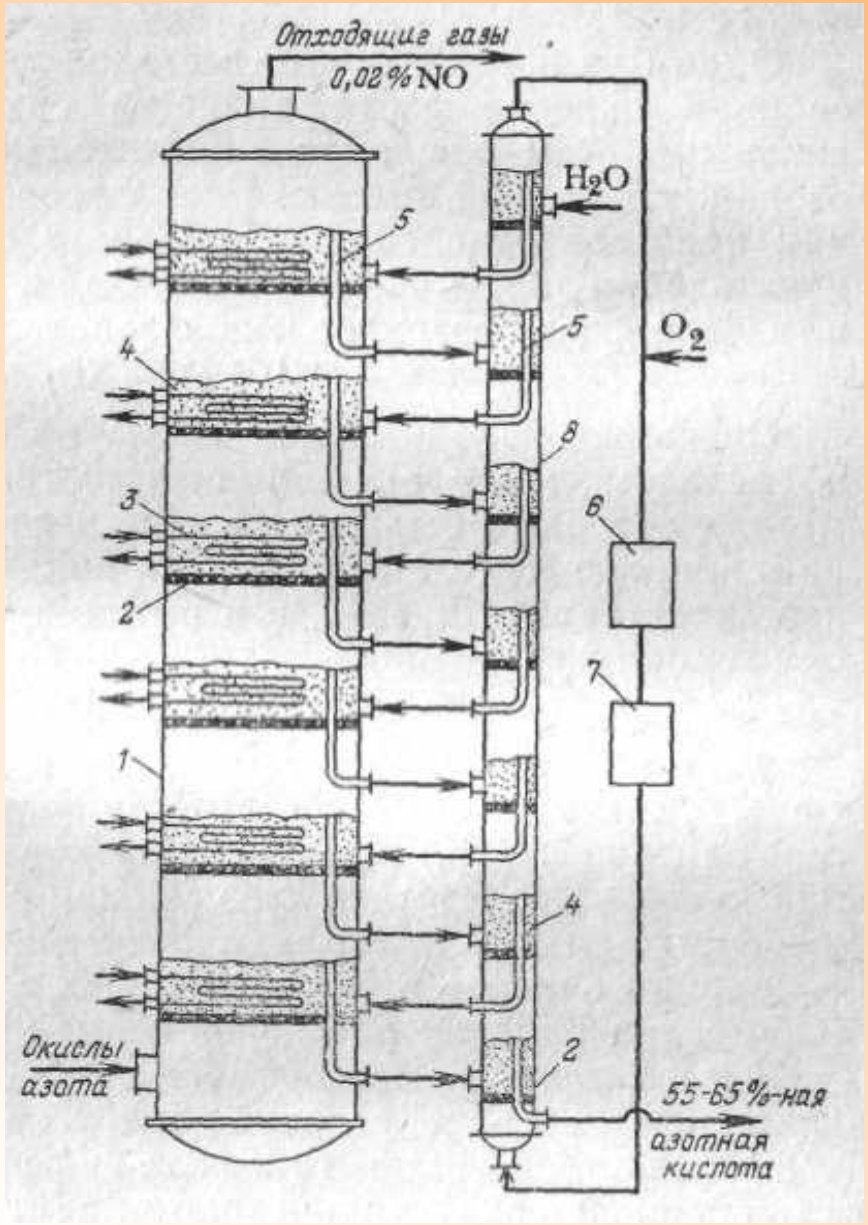
Окисление NO кислородом и озоном в жидкой фазе

Лимитирующей стадией процесса окисления NO в жидкой фазе является скорость растворения газообразных компонентов.

Растворимость оксида азота и кислорода неодинаковы – у оксида азота растворимость в воде в несколько (примерно 4-5) раз больше, чем у кислорода, это в свою очередь лимитирует процесс окисления NO в жидкой фазе.

Скорость растворения газообразные окислителей (кислорода и озона) в жидкой фазе зависит от *температуры, давления, концентрации компонентов, турбулентности потоков и т.п.*

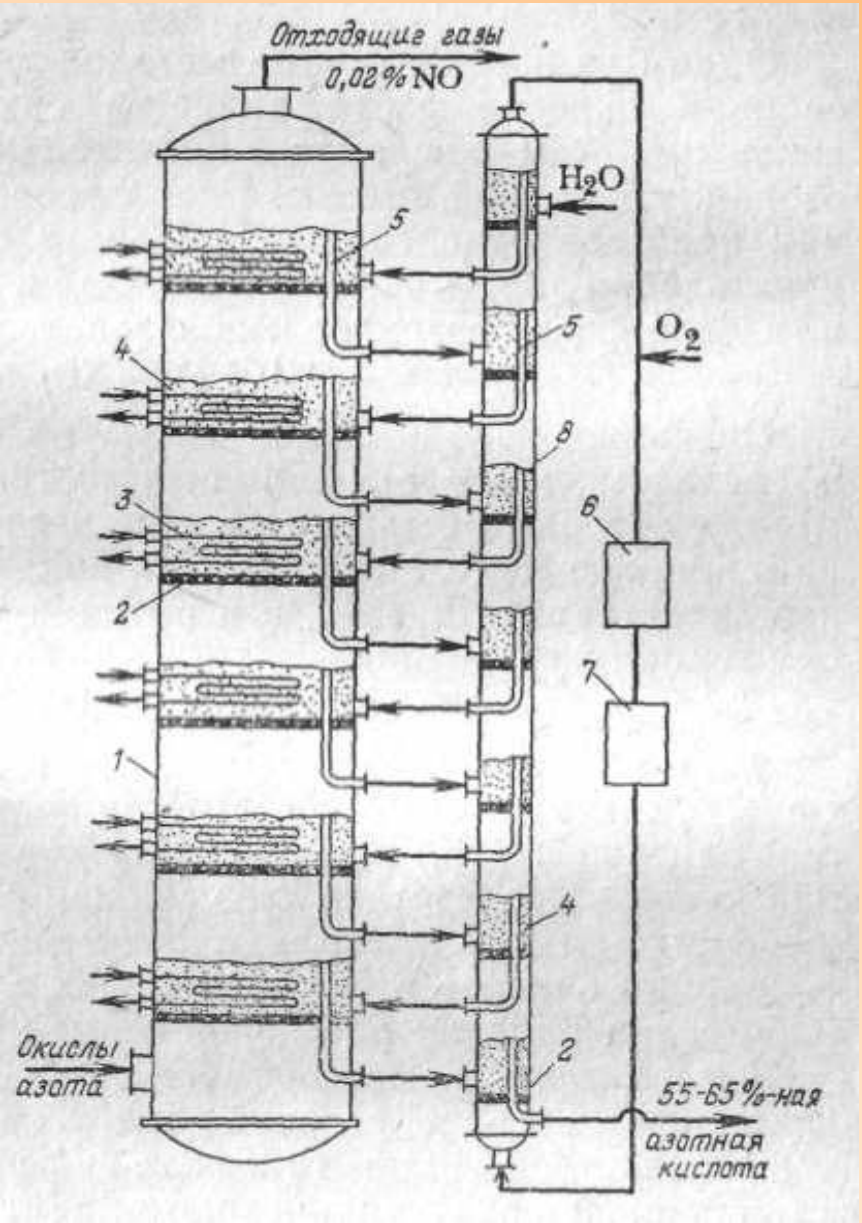
Окислительные методы:



Окисление NO кислородом и озоном в жидкой фазе

1 – основная колонна;
2 – решетка;
3 – змеевик;
4 – слой пены;
5 – переливной патрубок;
6, 7 – емкости;
8 – дополнительная колонна

Окисление NO кислородом в жидкой фазе



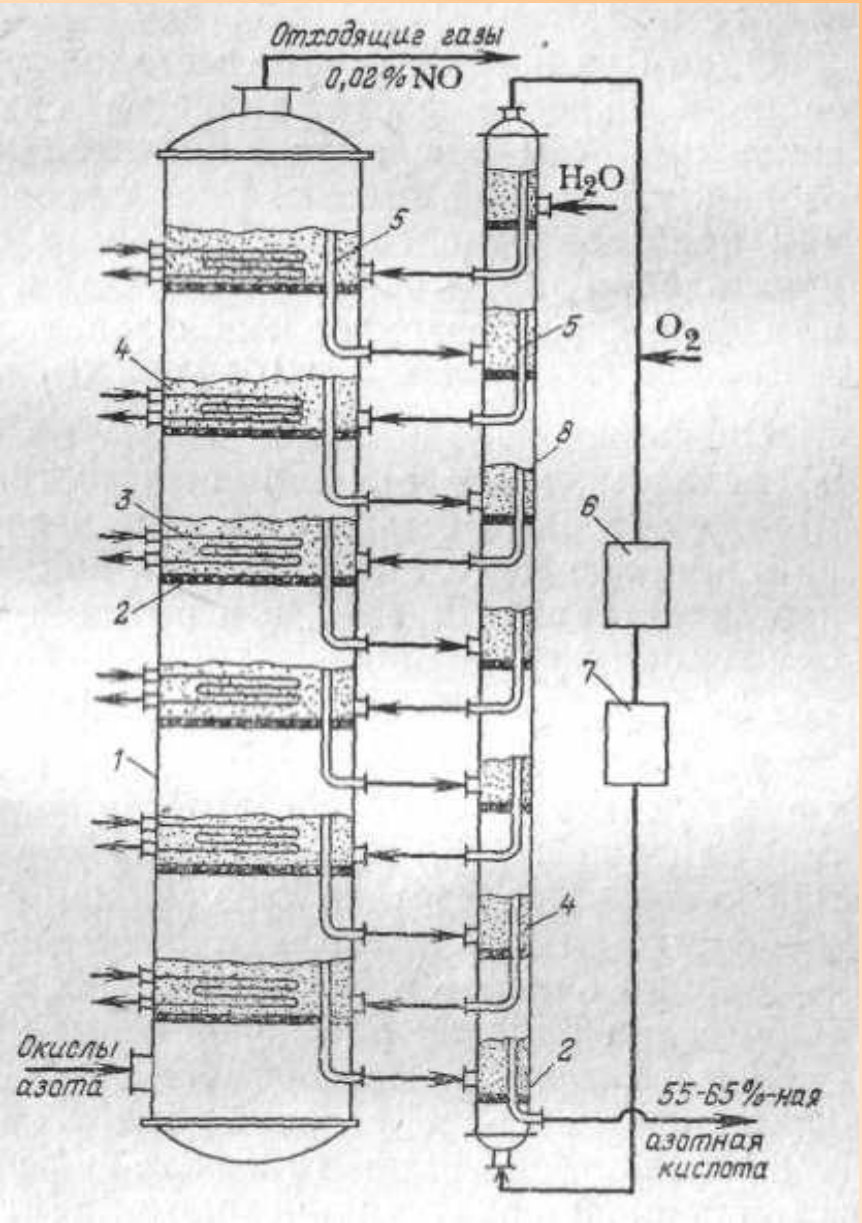
Конденсат (кислота), поступающий с тарелок **вспомогательной колонны** на тарелки основной колонны насыщена кислородом, поэтому на них интенсивно протекает реакция окисления окиси азота в жидкой фазе:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

С тарелок **основной колонны** поступает кислота, насыщенная окисью азота, поэтому на них идет процесс абсорбции окислов азота:

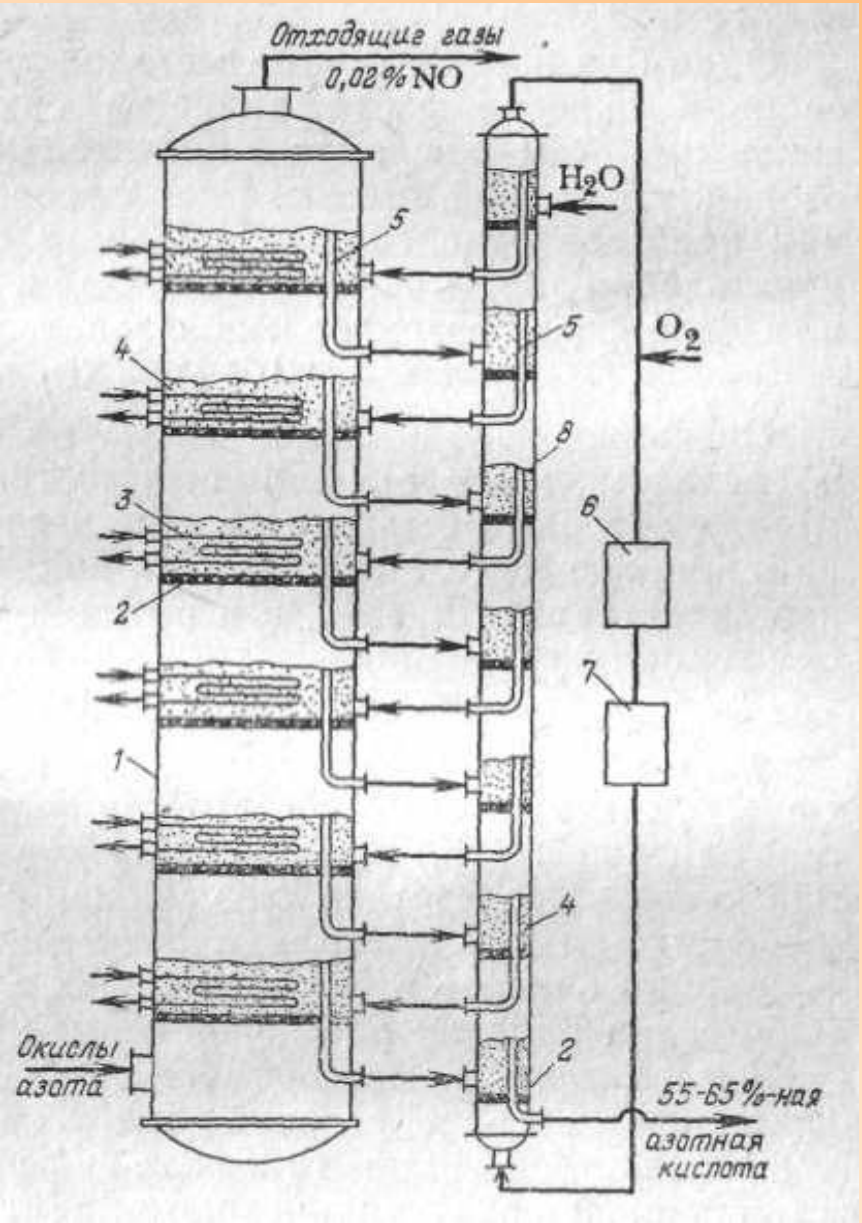
$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

Окисление NO кислородом в жидкой фазе



При таком режиме работы концентрация азотной кислоты может достигать 45–55%, а концентрация отходящих газов порядка 0,05%. Установка не требует расхода больших количеств кислорода, так как он циркулирует в замкнутом контуре дополнительной колонны.

Окисление NO озоном в жидкой фазе



Введение в жидкую фазу **озона**, способствует значительному увеличению скорости абсорбции окислов азота. В жидкой фазе озон действует как катализатор.

В реакции при этом участвуют все три атома O:

$$2NO + O_3 + H_2O = 2HNO_3$$

В результате окисления окиси азота озоно-кислородной смесью в жидкой фазе увеличивается концентрация получаемой азотной кислоты (55–65%), вследствие чего снижается количество окислов азота, выбрасываемых в атмосферу.

Окислительные методы:

Окисление и абсорбция окислов азота жидкими окислителями

К известным и наиболее используемым при санитарной очистки газа жидким окислителям относятся водные растворы H_2O_2, $КМпO_4$, $КВгO_3$, $K_2Cr_2O_7$, $(NH_4)_2Cr_2O_7$, Na_2CrO_4, $KC1O_3$, $NaClO_3$, NH_4C1O_4, $K_2S_2O_8$, HNO_3 и царская водка.

Путем абсорбции окислов азота жидкими окислителями, был установлен **ряд активности жидких окислителей**:

$$\mathbf{КВгO_3 > HNO_3 > КМпO_4 > H_2O_2 > Na_2CrO_4 > (NH_4)_2Cr_2O_7 > K_2Cr_2O_7}$$

Другие жидкие окислители окисляют NO с недостаточной для практических целей скоростью.

Окислительные методы:

Окисление и абсорбция окислов азота жидкими окислителями

Использование для окисления и абсорбции окислов азота жидких окислителей позволяет получать в качестве товарного продукта - азотную кислоту.

При использовании разбавленного раствора **пероксида водорода** в жидкой фазе протекают реакции:

$$NO + H_2O_2 \rightarrow NO_2 + H_2O$$

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

$$N_2O_3 + H_2O_2 \rightarrow N_2O_4 + H_2O$$

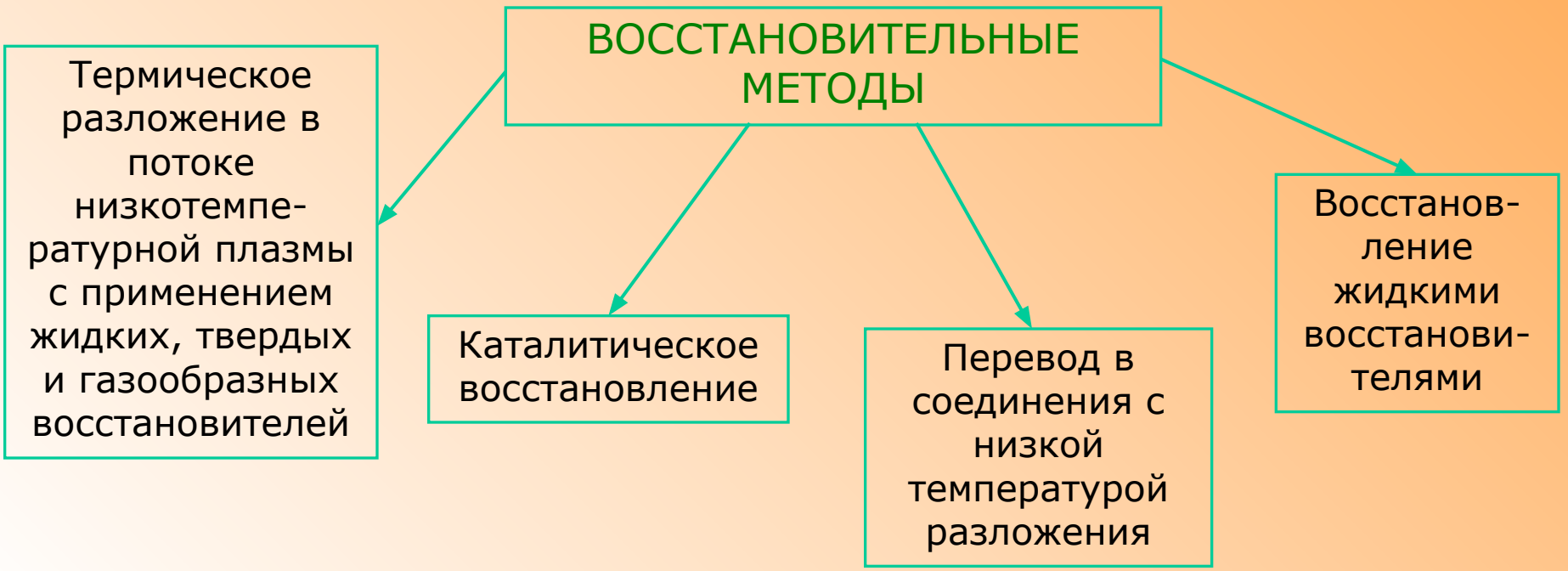
$$N_2O_4 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$$

Основным фактором, ограничивающим применение жидких окислителей, является их высокая стоимость. В связи, с чем их используют только при очистки больших количеств газов, характеризующихся высоким содержанием окислов азота.

ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКИСЛОВ АЗОТА

ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Восстановительные методы основаны на восстановлении окислов азота до нейтральных продуктов в присутствии катализаторов или под действием высоких температур в присутствии твердых, жидких или газообразных восстановителей. Восстановительные методы в свою очередь классифицируются на:



ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Степень окисления азота в кислородных соединениях в значительной степени определяется температурой.

В присутствии кислорода (или озона) реакция окисления окиси азота при нормальной температуре протекает самопроизвольно в следующем направлении:

$$NO \rightarrow N_2O_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow N_2O_4 \rightarrow N_2O_5$$

При увеличении температуры приведенная реакция протекает в обратном направлении:

N_2O_5	$\rightarrow$	N_2O_4	$\rightarrow$	NO_2	$\rightarrow$	NO	$\rightarrow$	$N_2 + O_2$
-11,2 ^{0}C		21,5 °C		140 °C		600 °C		6-10 тыс. °C

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

Метод термического разложения окислов азота в присутствии восстановителей способствует значительному увеличению степени разложения окислов азота, протекающей по реакции:

$$2NO \leftrightarrow N_2 + O_2$$

В качестве восстановителей, связывающих кислород, в практике санитарной очистке газов находят применение жидкие, газообразные и твердые восстановители.

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

Из ***газообразных восстановителей*** наибольшее распространения получили природный газ, водород, аммиак, окись углерода.

При использовании газообразных восстановителей процесс термического разложения окислов азота проводят в плазматронах, путем их введения в реакционную зону аппарата. В потоке низкотемпературной плазмы (до 10 000 ^{0}C) происходит разложение окислов азота до нейтральных составляющих атмосферы ($N_2 + O_2$).

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

Процесс разложения окислов азота происходит при температуре порядка 2 000 ^{0}C в несколько стадий, которые сопровождается следующими реакциями.

1-ая стадия (*независимо от типа восстановителя*):

$$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2 - Q$$

$$2NO \rightarrow N_2 + O_2 - Q$$

2-ая стадия (*при использовании природного газа*):

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + Q$$

$$CH_4 + 4NO \rightarrow 2N_2 + 2H_2O + CO_2 + Q$$

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

2-ая стадия (*при использовании водорода*):

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + Q$$

$$2H_2 + 2NO \rightarrow N_2 + 2H_2O + Q$$

при использовании аммиака:

$$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O + Q$$

$$4NH_3 + 6NO \rightarrow 5N_2 + 6H_2O + Q$$

при использовании CO:

$$2NO + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2 + Q$$

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

Процесс разложения нитрозного газа в присутствии газообразных восстановителей значительно возрастает, за счет связывания выделяющегося кислорода восстановителями, что приводит к сдвигу равновесия реакции в сторону образования N_2 и O_2.

Так, если без восстановителей степень разложения 5%-ного нитрозного газа составляла 46%, то в присутствии:

- CO она повышается до 77%,
- природного газа – до 87%,
- водорода – до 90%,
- аммиака – до 93%

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

В качестве ***жидких восстановителей*** используют – пары керосина, бензина.

Процесс термического разложения окислов азота жидкими восстановителями проводят в плазматронах, путем их введения в реакционную зону аппарата.

В потоке низкотемпературной плазмы (до 10 000 ^{0}C) происходит разложение окислов азота до нейтральных составляющих атмосферы ($N_2 + O_2$).

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

При использовании в качестве восстановителей жидких углеводородов окислы азота разлагаются на 80-85%.

Недостатком очистки нитрозных газов с помощью газообразных и жидких восстановителей является то, что при большем объеме выбрасываемых газов он не обеспечивает предельно допустимой концентрации окислов азота в приземном слое. Поэтому его используют для систем, выбрасывающих в атмосферу не более 10−20 тыс. $м^3$/ч газа с любым начальным содержанием окислов азота.

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

При использовании в качестве восстановителей твердых углеродсодержащих соединений, таких как **кокс, уголь и графит**, процесс разложение окислов сопровождается следующими реакциями:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$$

$$C + 2NO \rightarrow CO_2 + N_2 + Q$$

В таких процессах углерод выполняет **функцию** как **катализатора**, так и **топлива**.

Восстановительные методы:

Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

При этом разложение окислов азота в присутствии кокса начинается при температуре 500 ^{0}C.

При увеличении температуры степень и скорость разложения возрастают, в частности при 800 ^{0}C степень разложения достигает 96%, а при 1000 ^{0}C близка к 100%.

Восстановительные методы:

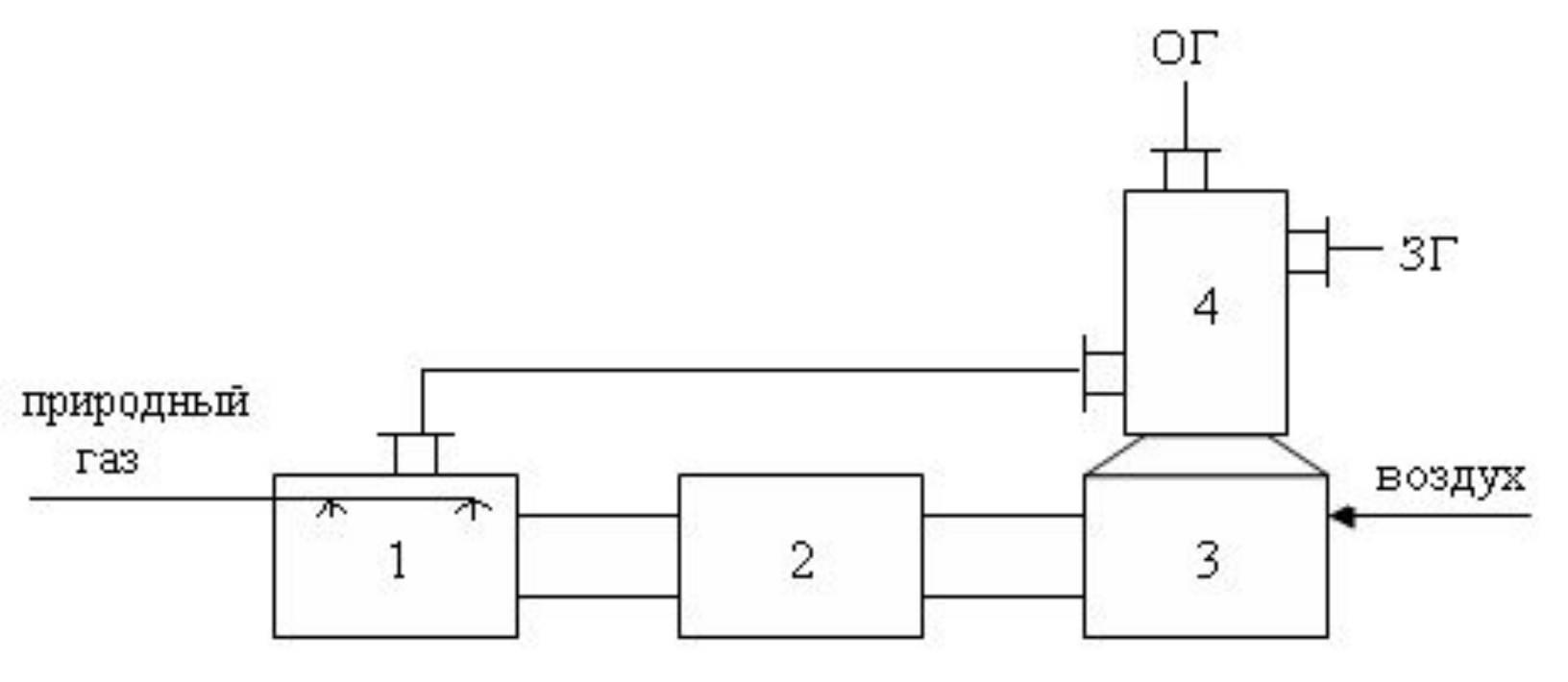
Термическое разложение NO_x в потоке низкотемпературной плазмы с применением газообразных, жидких и твердых восстановителей

Термическое разложение окислов азота основанное на их свойствах восстанавливаться до молекулярного азота при температуре 900-1100 ^{0}С в присутствии газа-восстановителя широко используется в практике санитарной очистке отходящих газов от окислов азота.

На этой основе разработан комбинированный метод очистки газа, состоящей из двух ступеней очистки с утилизацией тепла, что значительно повышает его технико-экономические показатели.

Восстановительные методы:

Схема промышленной установки термического разложения окислов азота



1 – реактор; 2 – камера дожигания; 3 – камера смешения; 4 - теплообменник

Восстановительные методы:

Каталитическое восстановление

Процесс каталитического восстановления происходит при контактировании нитрозных газов с газами-восстановителями на поверхности катализатора.

В качестве газа-восстановителя используют *метан, коксовый или природный газ.*

Любой из этих газов, так же как и нитрозный газ, не должен содержать примесей сернистых соединений, вызывающих отравление катализаторов.

Восстановительные методы:

Каталитическое восстановление

Эффективность процесса каталитического восстановления окислов азота определяется, прежде всего, активностью применяемого катализатора.

Высокой активностью обладают **катализаторы на основе платины, родия и палладия**, содержание которых в катализаторе составляет 0,1−2% (масс). Эти катализаторы обеспечивают высокую степень очистки газа (более 98%), остаточное содержание окислов азота не превышает $5-10^{-4}$ % (об.).

Широкому распространению каталитической очистки газов от окислов азота препятствует высокая стоимость применяемых катализаторов.

Восстановительные методы:

Каталитическое восстановление

Более дешевыми, но менее эффективными в эксплуатации (чувствительны к отравлениям, в частности присутствие в газе оксидов серы приводит к существенному снижению активности) катализаторы, включающие в состав более дешевые материалы, а именно никель, медь, цинк, хром, ванадий и др. элементы.

Такие катализаторы, как правило, менее активны, однако, целесообразность их использования в промышленности оправдана широкой доступностью и невысокой стоимостью.

Восстановительные методы:

Каталитическое восстановление

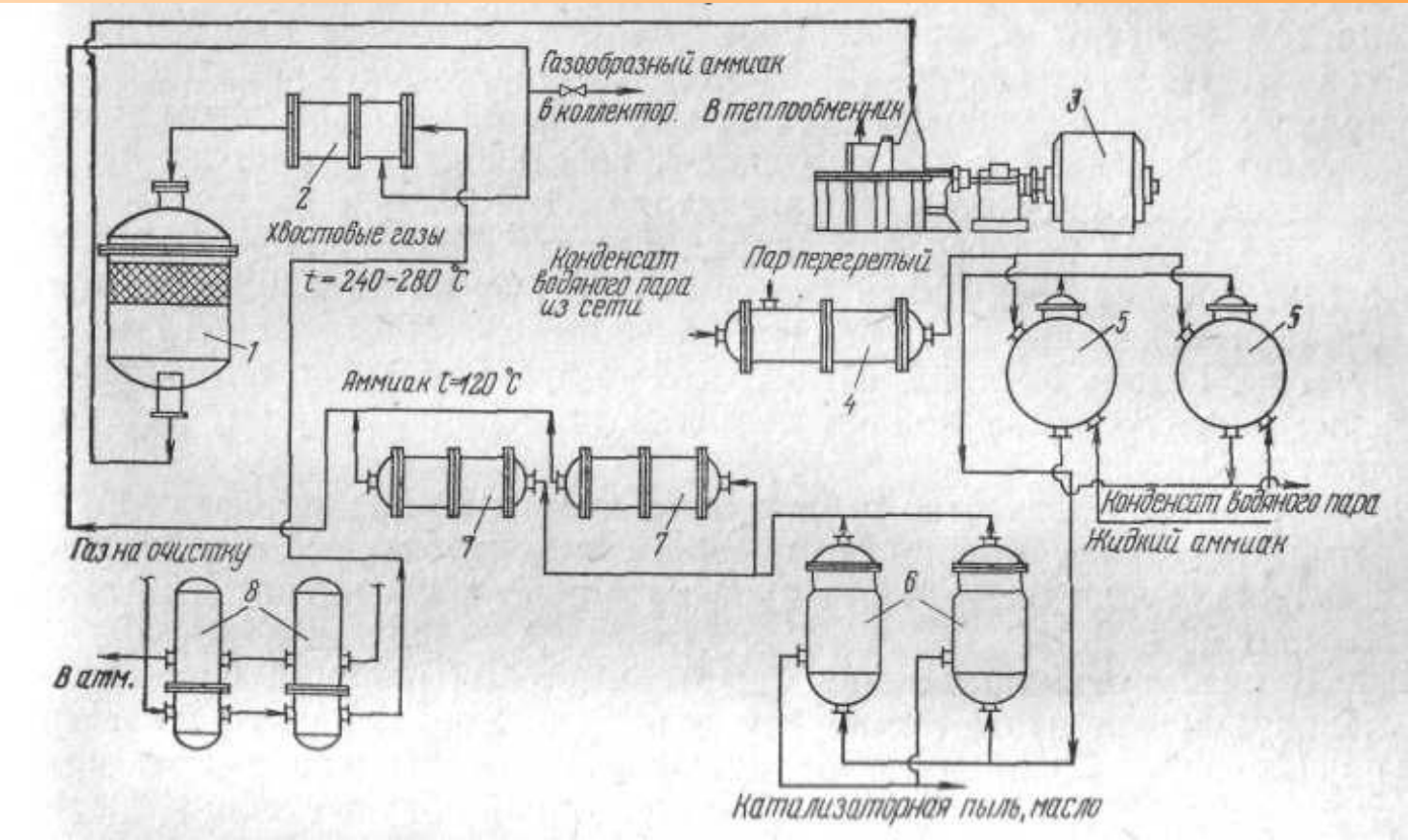


Схема каталитической очистки нитрозных газов:

1 – реактор; 2 – смеситель; 3 – турбокомпрессор; 4 – подогреватель конденсата; 5 – испаритель жидкого аммиака; 6 – фильтр; 7 – подогреватель газообразного аммиака; 8 – подогреватель хвостовых газов

Восстановительные методы:

Перевод в соединения с низкй температурой разложения

Суть этого метода заключается в том, что к нитрозному газу, содержащему NO_2 и NO, добавляют газообразный аммиак, количество которого эквивалентно содержанию окислов азота в газе (для полного протекания экзотермических реакций расход аммиака увеличивают на 10-50%).

В присутствии водяных паров в газовой фазе протекает реакция взаимодействия аммиака с окислами азота:

$$2NO_2 + 2NH_4OH = \mathbf{NH_4NO_2} + \mathbf{NH_4NO_3} + H_2O + Q$$

$$N_2O_3 + 2NH_4OH = \mathbf{2NH_4NO_2} + H_2O + Q$$

Восстановительные методы:

Перевод в соединения с низкй температурой разложения

Образующиеся при этом аэрозоли нитрита и нитрата аммония имеют температуру разложения в четыре-пять раз меньшую, чем окислы азота.

Известно, что нитрит аммония полностью, и с большой скоростью разлагается на нейтральные продукты при температуре 70−80 °С:

$$NH_4NO_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O + Q$$

Нитрат аммония разлагается при более высокой температуре 230−240 ^{0}С:

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2 + 2H_2O + ½O_2 + Q$$

Восстановительные методы:

Перевод в соединения с низкй температурой разложения

Преимущество данного метода состоит в том, что вследствие низких температур процесс взаимодействия аммиака и окислов азота протекает избирательно, без вовлечения в реакцию кислорода, для чего потребовалось бы вводить дополнительное количество газа-восстановителя.

К ***недостаткам*** метода следует отнести высокую стоимость аммиака и безвозвратную потерю ценных химических продуктов – окислов азота и аммиака.

Метод очистки газов от окислов азота применим для систем с относительно большим объемом выбрасываемых газов и низким содержанием в них окислов азота.

Восстановительные методы:

Разложение окислов азота жидкими восстановителями

Для ряда производств, выбрасывающих, в атмосферу небольшие количества окислов азота и характеризующиеся отсутствием в газовой фазе кислорода используют разнообразные жидкие восстановители.

Среди которых, наибольшее распространение получили рабочие растворы $FeSO_4$, $FeCl_2$, $NaHSO_3$, $Na_2S_2O_3$ – обладающие максимальной абсорбционной способностью.

Восстановительные методы:

Разложение окислов азота жидкими восстановителями

Так, 20%-ные растворы $NaHSO_3$ и $Na_2S_2O_3$ при комнатной температуре восстанавливают окислы азота до элементарного азота по схеме:

$$2Na_2S_2O_3 + 6NO = 3N_2 + 2Na_2SO_4 + 2SO_2$$
$$2NaHSO_3 + 2NO = N_2 + 2NaHSO_4$$

Восстановительные методы:

Разложение окислов азота жидкими восстановителями

В то время как сульфат и хлорид двухвалентного железа при взаимодействии с нитрозными газами образуют комплексные соединения:

$$FeSO_4 + NO = Fe(NO)SO_4$$
$$FeCl_2 + NO = Fe(NO)Cl_2$$

При нагревании до 95-100 ^{0}C комплексы $Fe(NO)SO_4$ и $Fe(NO)Cl_2$ распадается и NO выделяется в чистом виде, а восстановленный раствор возвращается в производство.

Восстановительные методы:

Разложение окислов азота жидкими восстановителями

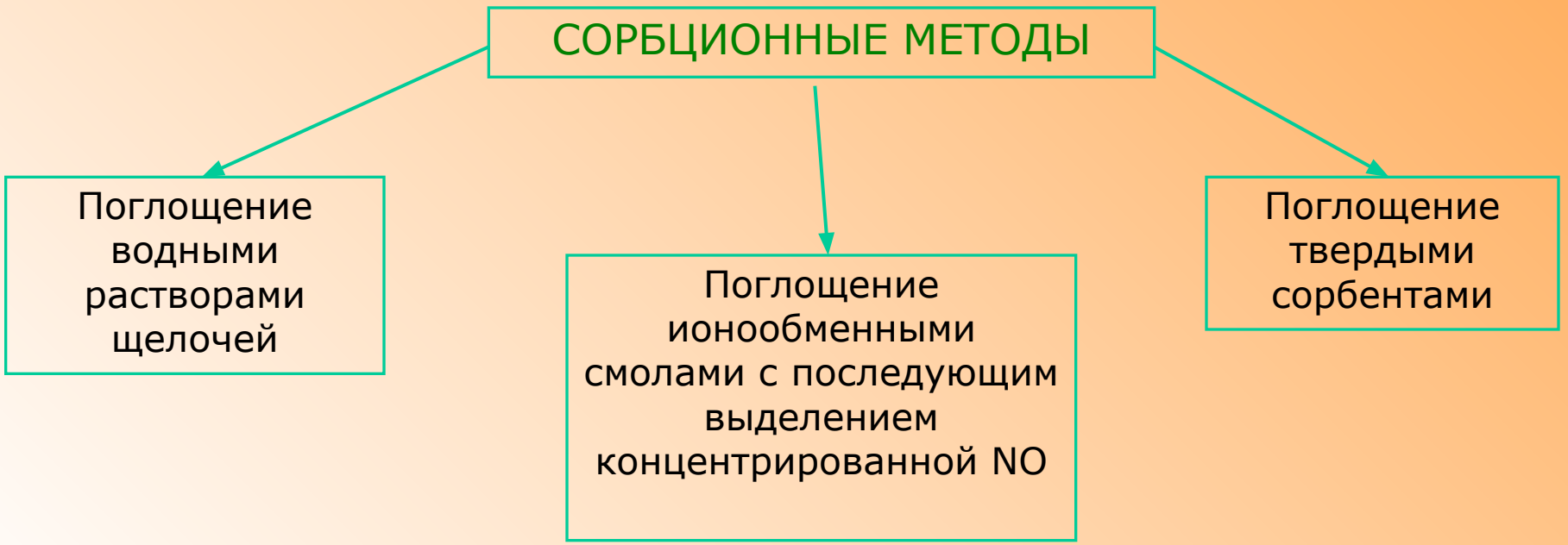
Поглотительная способность растворов зависит от концентрации в растворе их и окислов азота, температуры, среды (pH), примесей и т.д.

В частности, в кислой среде абсорбционная активность всех растворов снижается. Подщелачивание растворов до pH 10−11 повышает их активность.

Повышение температуры благоприятно сказывается на процессе разложения окислов азота (при увеличении температуры от 20 до 60 ^{0}C скорость восстановления NO увеличивается в два раза; при 60 ^{0}C и времени реакции 30 сек. NO полностью восстанавливается до N_2).

СОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Сорбционные методы основаны на поглощении окислов азота водными растворами щелочей, различными твердыми сорбентами и ионообменными смолами с последующим выделением концентрированной NO.



Сорбционные методы:

Поглощение водными растворами щелочей

При санитарной очистке газов от окислов азота, характеризующихся высокой концентрацией оксида азота (IV), целесообразно использовать щелочные поглотительные растворы.

Такие методы очистки находят широкое применение в промышленности и позволяют наряду с санитарной очисткой газов попутно получать ценные соли, используемые в народном хозяйстве.

Для очистки нитрозных газов применяют различные водные растворы и суспензии, а именно, $NaOH$, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, KOH, K_2CO_3, $KHCO_3$, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $MgCO_3$, $Ba(OH)_2$, $BaCO_3$, NH_4HCO_3.

Сорбционные методы:

Поглощение водными растворами щелочей

При абсорбции окислов азота сравнительная активность щелочных растворов убывает в следующей последовательности:

KOH >	$NaOH$ >	$Ca(OH)_2$ >	Na_2CO_3 >	K_2CO_3 >	$Ba(OH)_2$ >	
1	0,84	0,80	0,78	0,63	0,56	

$NaHCO_3$ >	$KHCO_3$ >	$MgCO_3$ >	$BaCO_3$ >	$CaCO_3$
0,51	0,44	0,40	0,40	0,39

При прочих равных условиях раствор КОН абсорбирует в 2,56 раза больше окислов азота, чем суспензия $CaCO_3$.

Различная активность щелочных растворов в значительной степени зависит от начального pH среды, устанавливающегося в водных растворах. Причем, активность растворов тем выше, чем выше pH среды.

Сорбционные методы:

Поглощение водными растворами щелочей

Процесс абсорбции окислов азота щелочами протекает в 2 стадии:

1 стадия: взаимодействие окислов азота с водой с образованием кислот:

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

$$N_2O_4 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2,$$

2 стадия: нейтрализация кислот щелочами:

$$HNO_3 + NaOH \rightarrow NaNO_3 + H_2O$$

$$HNO_2 + NaOH \rightarrow NaNO_2 + H_2O$$

В кислой среде при pH<7 скорость кислотообразования будет уменьшаться вследствие увеличивающейся концентрации HNO_3 в растворе, а также распада HNO_2.

В щелочной среде при pH>7 образующиеся кислоты азотная (HNO_3) и азотистая (HNO_2) кислоты с большой скоростью вступают в реакцию нейтрализации

Сорбционные методы:

Адсорбция окислов азота твердыми сорбентами

Санитарная очистка газов от окислов азота с помощью таких традиционных твердых сорбентов таких как силикагель, цеолитов, активированного угля и др., не получила широкого промышленного применения в основном из-за дефицитности адсорбентов, их малой адсорбционной емкости и больших затрат тепла на регенерацию.

Сорбционные методы:

Адсорбция окислов азота твердыми сорбентами

В частности, при использовании **активных углей** при их контакте с оксидами азота возможен значительный разогрев, приводящий к возгоранию угля и даже взрывам.

Кроме того, активные угли характеризуются низкой механической прочностью и восстановительными свойствами, вызывающими конверсию поглощаемого NO_2 в слабосорбирующийся NO.

Сорбционные методы:

Адсорбция окислов азота твердыми сорбентами

Адсорбционная способность **силикагелей** несколько ниже, чем у активных углей, однако они лишены их недостатков (в частности, силикагели обладают более высокой механической прочностью и не нагреваются при взаимодействии с окислами азота).

Использование силикагелей позволяет достигаться очень высокую степень очистки (остаточная концентрация не превышает 0,005%), однако из-за высокой стоимости сорбента в промышленности процесс не реализован.

Сорбционные методы:

Адсорбция окислов азота твердыми сорбентами

Достаточно высокой поглотительной способностью характеризуются **цеолиты** (молекулярные сита). Поглотительная способность этих адсорбентов при малых парциальных давлениях окислов азота на один−два порядка выше, чем у силикагелей.

Фактором, ограничивающим их промышленное применение является то, что наряду с процессами поглощения NO, одновременно протекают процессы его диспропорционированием до NO_2 и N_2O, в результате чего в очищенном газе содержатся значительные количества оксида диазота (N_2O).

Сорбционные методы:

Адсорбция окислов азота твердыми сорбентами

Для санитарной очистки газов от окислов азота используются такие новые природные адсорбенты как торф, лигнин, фосфатное сырье. Их основное ***преимущество*** в том, что после очистки эти сорбенты не нуждаются в регенерации и могут быть использованы в качестве органоминеральных удобрений и промышленных реагентов.

Например, при использовании в качестве сорбента торфа, предварительно обработанного аммиаком, отработанный сорбент представляет собой хорошо хранящееся неслеживающееся торфоазотное удобрение, пригодное для использования на любых почвах и содержащее 8–12% усвояемого азота и 27–30% хорошо усвояемых растениями гуминовых кислот.

Сорбционные методы:

Поглощение окислов азота ионообменными смолами с последующим выделением концентрированного NO

Аниониты обладают достаточно высокой поглотительной способностью к окислам азота.

Однако при их использовании в качестве сорбентов необходимо, чтобы газ был предварительно осушен, поскольку аниониты обладают малой кислотостойкостью, а присутствующая в очищаемых газах влага сорбируется наряду с оксидами азота.

Регенерацию насыщенного анионита проводят острым паром, конденсируя насыщенные пара оксида азота