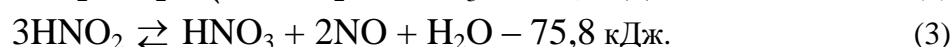
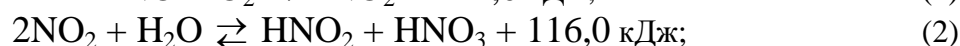
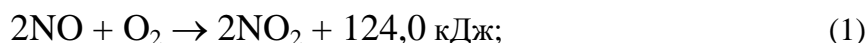


УДК 661.566/567:532.529

Мороз Н.А., Кобзев А.В., Лобойко А.Я., Багдасарян В.С., Ворожбян М.И.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОГЛОЩЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В РЕЖИМЕ КАВИТАЦИИ

Промышленный способ производства азотной кислоты состоит из каталитического окисления аммиака с последующим отводом образовавшейся воды в виде кислотного конденсата и дальнейшего окисления NO до NO₂ с последующей абсорбцией последнего водой. Химизм данной стадии можно представить следующими основными уравнениями реакций:



К недостаткам данного способа производства можно отнести то, что процесс переработки оксидов азота в азотную кислоту проводят в абсорбционных колоннах с большим количеством массообменных элементов (до 50 тарелок) и при этом не достигается высокой степени переработки нитрозного газа, что приводит к необходимости дополнительной каталитической очистки данного газа.

Указанные выше недостатки в первую очередь связаны с тем, что при переработке нитрозного газа, происходит регенерация части NO в газовую фазу за счет разложения образующейся азотистой кислоты по реакции (3). Это требует дальнейшего окисления образовавшегося оксида азота (II) в межтарелочном пространстве, и данная реакция лимитирует весь процесс кислотообразования.

Кроме этого при абсорбции нитрозного газа из-за наступления равновесия в системе нельзя получить растворы с высокой концентрацией азотной кислоты. Для смещения равновесия в сторону более высоких концентраций на практике применяют пониженные температуры или повышают давление процесса абсорбции.

Большой интерес представляет проведение процесса кислотообразования в жидкой фазе за счет прямого синтеза HNO₃:



Для протекания данной реакции необходимо высокое давление, которое возможно создать при ведении процесса в режиме гидродинамической кавитации. Из уравнения (4) следует, что окисление оксида азота (II) до оксида азота (IV) происходит в жидкой фазе в присутствии кислорода. Это исключает газофазное окисление NO до NO₂, являющееся лимитирующей стадией. Отсутствие оксидов азота в продуктах реакции положительно скажется на экологических и экономических показателях процесса получения азотной кислоты.

Явление кавитации теоретически было предсказано Л. Эйлером в XVII веке, на практике с ним столкнулись в конце XIX века при испытаниях быстроходных кораблей.

Процесс кавитации включает в себя появление и лавинообразный рост пузырьков пара и содержащихся в жидкости микропузырьков газа размером порядка 10⁻⁹ мм, так называемых «ядер» или «зародышей» кавитации при обычной температуре окружающей среды. Обычно выделяют первую или начальную стадию кавитации – пузырьковую и, вторую – развитую, когда парогазовые пузырьки сливаются в одну сплошную полость – каверну.

Разрушение кавитационных пузырьков происходит с большой силой и скоростью, в результате этого возникают большие давления порядка 10000 МПа. Схлопывание кавитационных пузырьков обычно не бывает симметричным и сопровождается образованием ударов кумулятивной микроструи, которая производит основной разрушительный эффект.

До последнего времени гидродинамическая кавитация считалась негативным явлением, поскольку неуправляемая пузырьковая кавитация наносит вред оборудованию из-за кавитационной эрозии элементов гидросистем, а развитая неуправляемая кавитация часто приводит к срыву работы насосов, турбин и других гидромашин. Несмотря на это, гидродинамическая кавитация представляет интерес для использования в интенсификации технологических процессов различных отраслей промышленности. Это связано с небольшими удельными затратами энергии на проведение этого процесса, низкой металлоемкостью аппаратов, в которых протекает процесс кавитации (кавитаторов), простотой их конструкции, широким диапазоном регулирования режимов работы.

Сущность метода абсорбции оксидов азота в режиме кавитации заключается в пропускании смеси воды и нитрозного газа через регулируемый кавитатор, при этом переносимые жидкостью пузырьки газов в результате микровзрывов растворяются в жидкости в области повышенного давления за дроссельным устройством.

Для изучения процесса поглощения оксидов азота в режиме кавитации нами была разработана экспериментальная установка циркуляционного типа, схема которой представлена на рис. 1. В состав данной установки входят специально разработанные, спроектированные и изготовленные вихревой смеситель, позволяющий получать смеси нитрозного газа и воды с необходимым соотношением газ: жидкость и кавитатор, конструкция которого предусматривала дальнейшее смешение газовой и жидкой фаз, создание вакуума до 0,01 МПа, режима кавитации и протекания процесса поглощения оксидов азота согласно реакции (4).

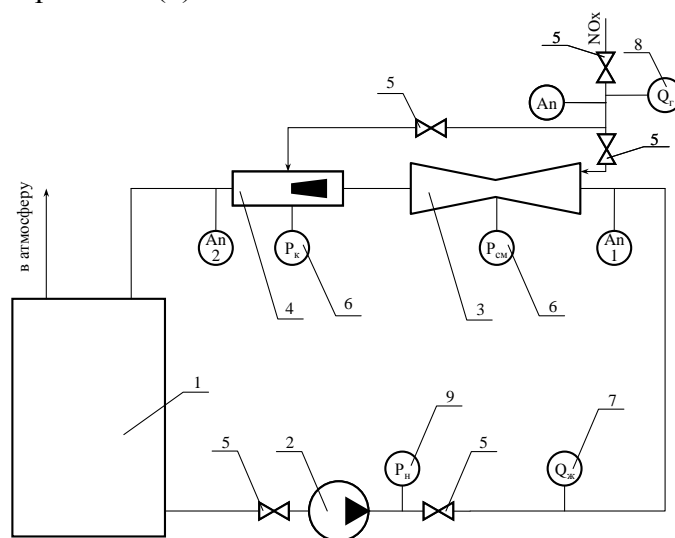


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – емкость; 2 – центробежный насос; 3 – смеситель; 4 – кавитатор; 5 – вентили; 6 – мановакууметры; 7 – расходомер жидкой фазы; 8 – расходомер газовой фазы; 9 – манометр; An – точка для отбора проб газовой фазы; An1, An2 – точки для отбора проб жидкой фазы

Жидкая фаза из емкости 1 насосом 2 подавалась в вихревой смеситель 3, сюда же подавался нитрозный газ. Вентильями на трубопроводах добивались необходимого соотношения расходов газа и жидкости в смесителе. Образовавшаяся газожидкостная смесь подавалась в кавитатор 4, геометрические размеры которого соответствуют режиму раннего развития кавитации. Конструкция установки позволяет подавать нитроз-

ный газ в кавитатор, минуя смеситель, непосредственно в зону кавитации. В наших экспериментальных исследованиях основная задача состояла в определении условий, обеспечивающих необходимые условия, при которых можно было бы обеспечить максимальное поглощение нитрозного газа. Для решения поставленной задачи нами в процессе проведения исследований фиксировались следующие параметры: температура, давление и расход жидкой фазы, давление и расход газовой фазы, давление в смесителе и кавитаторе, а также проводились химические анализы жидкой фазы на содержание в ней азотной кислоты и оксидов азота, и газовой фазы на содержание в ней оксидов азота. После кавитатора жидкая фаза возвращалась в емкость 1, и цикл повторялся. В результате этого содержание азотной кислоты в жидкой фазе постоянно возрастало.

Отбор проб жидкой фазы на содержание азотной кислоты проводился одновременно из пробоотборных точек An1 и An2 с целью определения приращения концентрации азотной кислоты при прохождении кавитатора.

Результаты проведенных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов по изучению поглощения оксидов азота в режиме кавитации

Расход, м ³ /ч		Температура жидкости, К	Давление, МПа			Концентрация азотной кислоты, %		
Жидкость	газ		насос	смеситель	кавитатор	An1	An2	Δ
6,0	30,0	313	0,6	0,37	0,01	28,7	28,85	0,15
6,0	30,0	300	0,6	0,37	0,015	29,55	29,7	0,15
9,0	40,3	313	0,6	0,37	0,03	29,84	28,0	0,16
10,5	50,0	310	0,6	0,37	0,04	29,99	30,15	0,16
10,5	50,2	315	0,6	0,37	0,04	29,82	30,27	0,45
14,0	70,0	312	0,6	0,37	0,045	31,54	31,86	0,32

По полученным экспериментальным данным можно сделать следующие выводы:

- на созданной экспериментальной установке достигнут режим развитой кавитации, что позволяет изучать данный процесс в различных диапазонах изменения технологических параметров;
- критическое давление, возникающее в кавитационном поле, возможно использовать для интенсификации поглощения оксидов азота растворами азотной кислоты;
- эффективность процесса поглощения зависит от содержания инертных веществ в газовой фазе;
- определение оптимальных режимов процесса кислотообразования при кавитации возможно на основании данных исследований с расширением их диапазонов по концентрациям компонентов и иным технологическим параметрам.

УДК 661.566/567:532.529

Мороз М.О., Кобзев О.В., Лобойко О.Я., Багдасарян В.С., Ворожбян М.І.

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ В РЕЖИМІ КАВІТАЦІЇ

Проведено дослідження процесу поглинання оксидів азоту в режимі гідродинамічної кавітації. Показано можливість використання цього процесу для інтенсифікації абсорбційних процесів у виробництві азотної кислоти.