

М.И. ВОРОЖБИЯН, докт. техн. наук, **Н.А. МОРОЗ**, УкрГАЗТ,
А.Я. ЛОБОЙКО, докт. техн. наук, **А.В. КОБЗЕВ**, канд. техн. наук,
Н.Б. МАРКОВА, НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА КАВИТАЦИИ НА СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Проведено дослідження процесу поглинання оксидів азоту розчинами HNO_3 , які підлягали гідродинамічній кавітації. Показано можливість використання цього процесу для інтенсифікації абсорбційних процесів у виробництві азотної кислоти.

The investigation of the process of nitrogen oxides absorption with HNO_3 solutions under conditions of hydrodynamic cavitation is carried on. The possibility of the use of this process for the intensification of absorption process as for nitric acid production is shown.

Развитая химическая индустрия является важнейшим признаком высокого уровня научно-технического и экономического развития страны. Важнейшей проблемой, стоящей перед химической промышленностью, является увеличение выпуска азотных удобрений, что ставит соответствующие задачи по производству азотной кислоты. Существующие технологические схемы производства неконцентрированной азотной кислоты обладают рядом существенных недостатков, один из которых – необходимость очистки газов от NO_x перед выбросом в атмосферу.

С учетом решений в рамках Киотского протокола стоит первостепенная задача по снижению выбросов оксидов азота в атмосферу. На сегодняшний день очистку от оксидов азота осуществляют каталитическим способом (высоко- и низкотемпературная очистка). При этом, как правило, появляются не менее опасные загрязняющие газы, такие как CO_2 , CO и т.д., поэтому актуальным является снижение выбросов за счет увеличения степени переработки оксидов азота в азотную кислоту. Это возможно посредством интенсификации, как его стадий, так и процесса в целом.

Изменение физико-химических свойств воды под влиянием внешних силовых воздействий является сейчас экспериментально установленным фактом. Как показали исследования под действием, кавитации в воде и водных растворах происходит сложные физико-химические процессы, классифицирующиеся следующим образом:

– окислительно-восстановительные реакции, которые идут в воде между растворенными веществами и продуктами расщепления воды, возникающими в кавитационных пузырьках и переходящими в раствор после их хлопания;

– реакции между растворенными газами внутри кавитационных пузырьков;

– цепные реакции в растворе, инициируемые продуктами расщепления в кавитационных пузырьках примесных веществ;

– деструкция макромолекул и инициированная ею полимеризация.

Нами проводятся исследования по использованию эффектов кавитации в технологии HNO_3 при поглощении оксидов азота растворами азотной кислоты.

Использование эффектов связанных с кавитацией и присущих только ей, способствует одновременно ускорять процессы абсорбции, интенсивного турбулентного перемешивания, мелкого механического диспергирования, возникновения свободных водородных связей за счет метастабильного нарушения структуры и механохимии воды. Данный эффект влияния кавитации определен и при проведении наших исследований.

При кавитационном воздействии на жидкость важную роль играют эффекты, сопровождающие явление кавитации:

– образование за обтекаемыми телами турбулентных зон, заполненными смыкающимися пузырьками в которых происходит интенсивное перемешивание технологических реагентов;

– температурные пульсации парагаза в пузырьках (до 1-2 тыс.°C), вызываемые их расширением-сжатием;

– фазовые переходы, протекающие на поверхности кавитационных пузырьков;

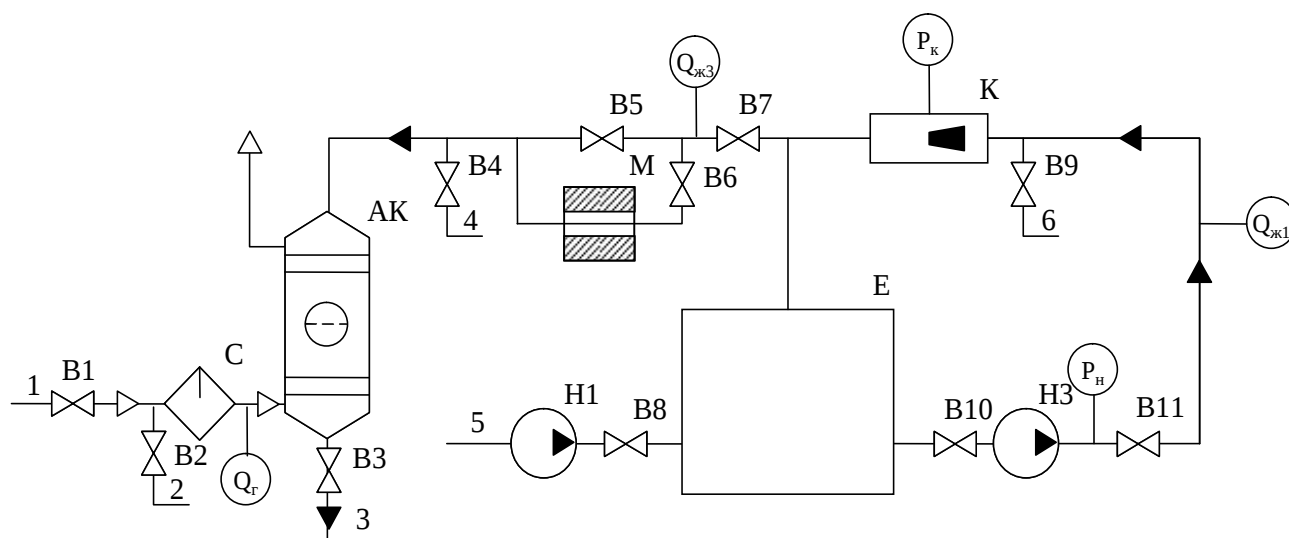
– электризация пузырьков на границе между жидкой и газовой средами.

Исследования проводились на экспериментальной установке представленной на рисунке 1.

Основным аппаратом установки является специально разработанный и изготовленный кавитатор из органического стекла, предназначенный для создания режима развитой кавитации в жидкой фазе.

Жидкая фаза из емкости Е центробежным насосом НЗ подавалась в кавитатор К, вентилями на трубопроводе В10 и В11 добивались необходимого расхода подаваемой жидкости, контролируемого расходомером $Q_{ж1}$. Мано-

метрами P_H и P_K контролировали давление, создаваемое насосом НЗ, и вакуум, создаваемый в кавитаторе К, соответственно.



АК – экспериментальная абсорбционная колонна; В1-В11 – вентили; Е – емкость;

К – кавитатор; М – постоянный магнит; Н1, НЗ – насосы; С – сепаратор

Потоки: 1 – нитрозный газ из магистрали; 2 – нитрозный газ на анализ;

3 – кислота азотная на анализ; 4 – кавитированная и/или омагниченная жидкая фаза на анализ; 5 – вода из коллектора; 6 – жидкая фаза на анализ

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Для подачи жидкой фазы на экспериментальную абсорбционную колонну АК открывался вентиль В7 при работающем центробежном насосе НЗ. Путем открытия вентиля В5 или В6 в колонну АК подавалась кавитированная жидкая фаза. Расход жидкости контролировался по расходомеру $Q_{ж3}$. Также в абсорбционную колонну АК подавался нитрозный газ через расходомер Q_r и сепаратор С, предназначенный для отделения конденсата. Образовавшаяся в абсорбционной колонне азотная кислота отбиралась для анализа из нижней части колонны. Отработанный нитрозный газ выводился из колонны на очистку, а далее в атмосферу.

Исследования проводились в различных диапазонах температур, концентраций растворов азотной кислоты:

- температура растворов азотной кислоты от -9 до 30 °С;
- содержание азотной кислоты в растворе от 1,1 % до 43 %;
- соотношение газ/жидкость – от 5/2 до 30/2.

На основании экспериментальных данных были получены значения ки-

слотообразования продукционных кислот как с использованием обычных растворов на орошение абсорбционной колонны, так и растворов прошедших обработку в режиме кавитации. Эффективность использования кавитации определяется по приращению концентрации продукционной кислоты полученной при одинаковых параметрах (кроме использования кавитационного эффекта). Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица

Фрагмент массива экспериментальных данных

t, °C	Состав газа, %			Г/Ж	С _{ННОЗ} исходная, % мас.	Режим абсорбции		ΔС _{ННОЗ} , % мас.
	NO ₂	NO	Σ			С _{ННОЗ} без кавитации, % мас.	С _{ННОЗ} с кавитацией, % мас.	
13	6,1	1,8	7,9	10/2	0,25	0,81	1,18	0,37
13	6,0	1,9	7,9	10/2	19,61	20,30	22,14	1,84
20	5,9	2,0	7,9	30/2	1,10	3,16	5,50	2,34
22	6,1	1,8	7,9	20/2	1,10	2,55	3,33	0,78
20	6,1	1,8	7,9	5/2	1,10	1,58	1,75	0,17
28	5,9	2,1	8,0	5/2	43,00	42,96	44,46	1,20
27	6,1	1,9	8,0	5/2	39,90	40,85	41,95	1,00
28	5,9	2,1	8,0	5/2	37,00	37,75	38,45	0,70

На основании экспериментальных данных построены графические зависимости приращения концентрации азотной кислоты от соотношения газ-жидкость (Г/Ж) и концентрации исходной кислоты (рис. 2 и рис. 3).

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что с ростом соотношения Г/Ж эффект кавитации приносит более ощутимые результаты, так при увеличении соотношения Г/Ж с 5/2 до 30/2 (в 6 раз), приращение концентрации азотной кислоты увеличивается в 12 раз. С ростом концентрации исходной кислоты увеличивается роль кавитационного эффекта. С увеличением концентрации исходной с 37 до 43 % масс. приращение по продукционной кислоте увеличивается с использованием эффекта кавитации практически в два раза (рис. 3). Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено положительное влияние кавитационного эффекта на процесс кислотобразования. В дальнейшем представляет интерес расширить диапазон исследований для создания математической модели процесса.

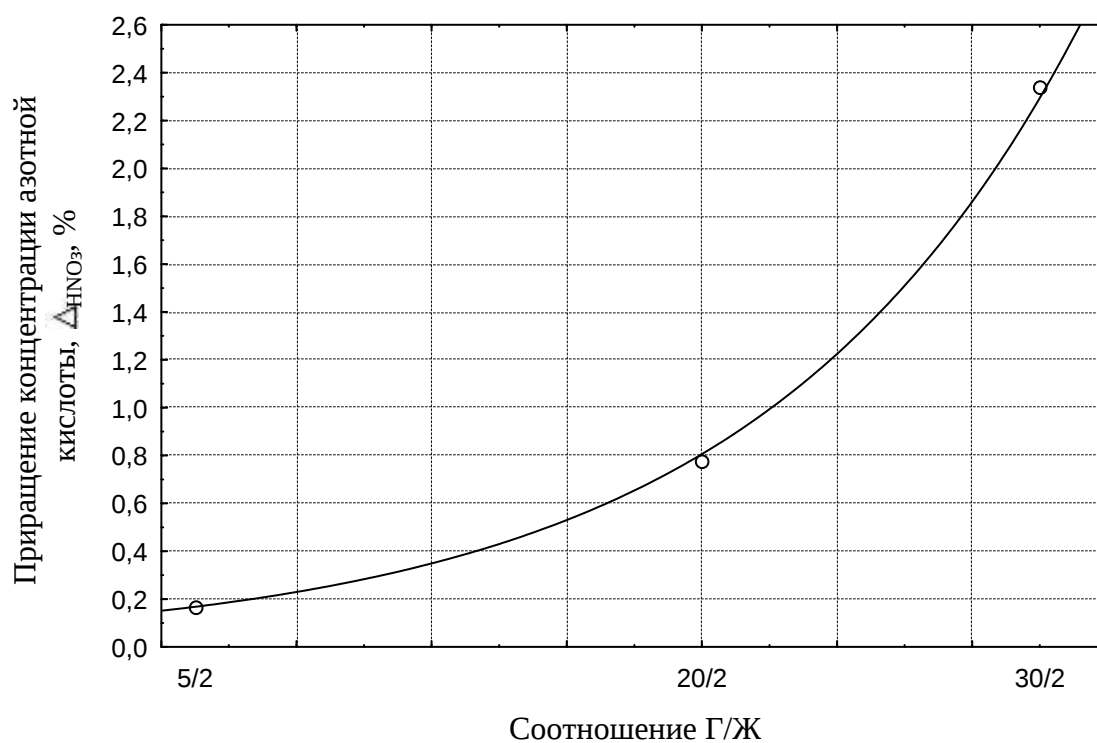


Рис. 2. Зависимость приращения концентрации азотной кислоты от соотношения $\Gamma/\text{Ж}$ при содержании азотной кислоты в исходном растворе 1,1 % мас.

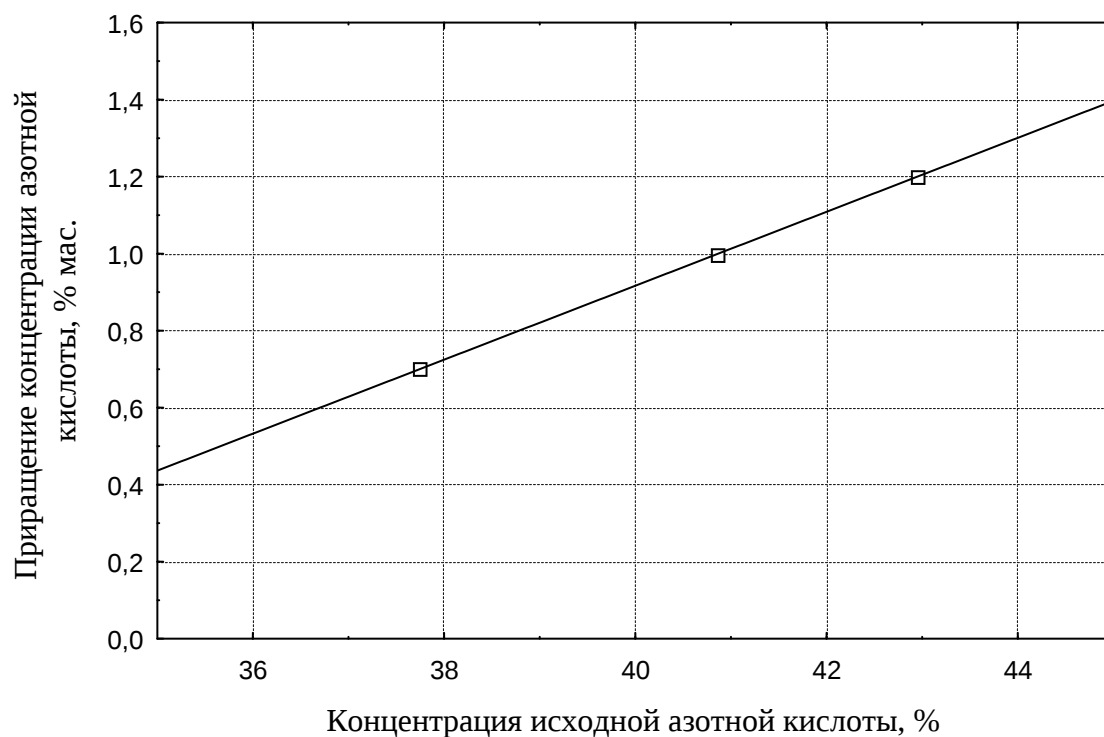


Рис. 3. Зависимость приращения концентрации азотной кислоты от концентрации исходной азотной кислоты

Поступила в редколлегию 08.10.07