

УДК 453.85

**М.И. ВОРОЖБИЯН**, д-р техн. наук, профессор, академик МАБЖД

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков*

**М.О. МОРОЗ**, канд. техн. наук, доцент

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ТЕХНОЛОГИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*У статті розглянуті існуючі проблеми охорони навколишнього середовища та енергозбереження. Запропоновані рішення, які можуть бути використані при створенні більш вдосконалій технології азотних добрив.*

**Ключові слова:** парникові гази, абсорбція, кавітація, азотна кислота, азотні добрива.

*В статье рассмотрены существующие проблемы охраны окружающей среды и энергосбережения. Предложены решения, которые могут быть использованы при создании усовершенствованной технологии азотных удобрений.*

**Ключевые слова:** парниковые газы, абсорбция, кавитация, азотная кислота, азотные удобрения.

*In the article the existing problems of environmental protection are considered. Solutions are proposed that can be used to create an improved nitric acid technology.*

**Keywords:** absorption, nitrous oxide, cavitation, nitric acid, greenhouse gases.

Проблема охраны окружающей среды и энергосбережения в условиях глобализации в последние десятилетия приобретает все больший вес. Характер экологических проблем общепланетарный, и невозможно решить отдельно в той или иной стране проблему, особенно если это касается загрязнения атмосферного воздуха и изменения климата, а также проблему Мирового океана, истощения и неэффективного использования природных ресурсов.

Концентрации двуокиси углерода, метана и оксидов азота в атмосфере выросли до беспрецедентного уровня, которого не наблюдалось в течение последних восьмисот лет. Все это показывает, что проблемы, которые связаны с последствиями климатических изменений, в частности, парниковым эффектом, стали актуальны для всего населения и требуют тщательного изучения, как в глобальном формате, так и на региональном уровне [1-4]. Дальнейшее развитие человечества потребует эффективных решений и оптимальной стратегии в решении данной проблемы, используя все современные технические возможности с целью минимизации отрицательного влияния на биосферу и рационального использования природных ресурсов.

Современные потребности человечества в более комфортной и энергоемкой жизни, а также стремительный рост населения на планете требуют более интенсивного землепользования, дальнейшего развития индустрии и транспорта. Все это приводит к

значительному увеличению антропогенных выбросов оксидов азота, в том числе закиси азота в земную атмосферу. В последнее время больше внимания уделяется содержанию  $N_2O$ , как парниковому газу, на состояние окружающей среды.

Оценки эмиссии  $N_2O$  в атмосферу указывают на то, что главную роль в этом процессе в современную эпоху играют природные источники ( $\sim 60\%$ ). Среди антропогенных источников, вклад которых в общую современную интенсивность выбросов  $N_2O$  в атмосферу составляет  $\sim 40\%$  [2]

Сравнительно низкое содержание  $N_2O$  в атмосфере (в  $\sim 100$  раз ниже относительного содержания  $CO_2$ ) компенсируется его чрезвычайно высокой радиационной активностью - молекула  $N_2O$  в 300 раз сильнее способствует образованию атмосферного парникового эффекта, чем молекула  $CO_2$ . По оценкам ученых удвоение относительного содержания  $N_2O$  в атмосфере может привести к повышению глобальной температуры приземного воздуха [4].

Именно поэтому, важной научной и практической задачей является уменьшение эмиссий парниковых газов во всех секторах экономики. Это может быть достигнуто путем эффективного использования энергетических ресурсов и увеличения процента энергии возобновляемыми источниками энергии. Для этого, прежде всего, необходимо определить сектора, в которых возможно сокращение эмиссий парниковых газов.

Одним из основных видов минеральных удобрений являются азотные, определяющие развитие аграрного комплекса Украины, эффективное производство которых невозможно без совершенствования технологии азотной кислоты, как основного сырьевого компонента.

Совершенствование производства азотной кислоты, с точки зрения энергосбережения и уменьшения выбросов оксидов азота, в том числе и закиси азота, в окружающую среду, – одна из важнейших задач для практических и теоретических исследований, что позволит увеличить концентрацию продукционной кислоты, уменьшить концентрацию нитрозных газов на выходе из абсорбционной колонны (АК), а также сократить расходы на каталитическую очистку отходящих газов абсорбции и обеспечит снижение энергозатрат на стадии производства удобрений за счет повышения концентрации продукционной азотной кислоты, которую необходимо упаривать на первой стадии производства удобрений.

Для объективной оценки состояния технологии и основных показателей производства  $HNO_3$  следует обратиться к таблице, где представлены данные ряда предприятий. Исходя из представленной информации, можно сделать вывод о низкой концентрации продукционной азотной кислоты при значительном содержании  $NO_x$  в нитрозных газах на выходе из абсорбционной колонны, что свидетельствует о значительных энергозатратах по производству удобрений и существенных выбросах вредных веществ в атмосферу.

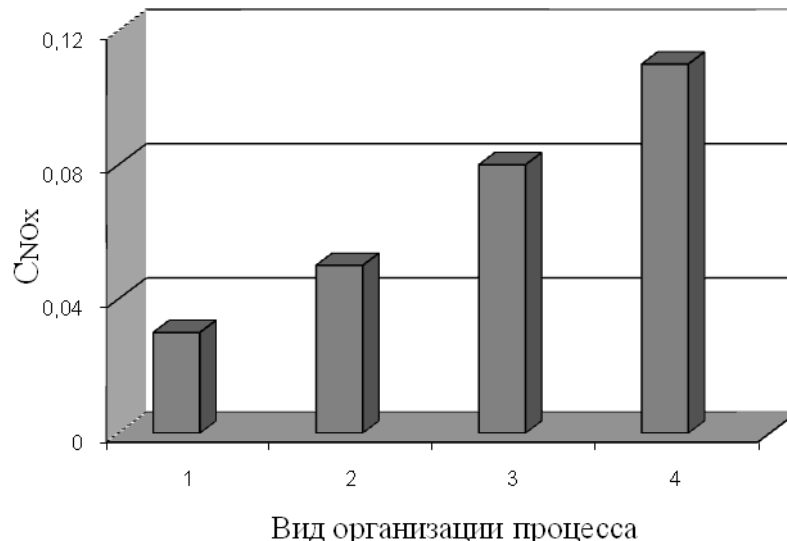
Таблица 1

**Основные показатели предприятий по производству азотной кислоты**

Предприятие	Концентрация продукционной кислоты $C_{HNO_3}$ , %, масс.	Концентрация отходящих газов абсорбции $NO_x$ , %, об.
ПАО «Северодонецкое объединение «АЗОТ»»	58	0,12-0,13
ПАО «ДнепрАЗОТ»	56-57	0,12
ПАТ «Ривнеазот»	56	0,13-0,14
Черкасы ПАТ «Азот»	57	0,12-0,13
ПАО «Концерн СТИРОЛ»	56	0,11

Анализируя представленные данные, можно утверждать о неравномерности протекания процесса абсорбции оксида азота в АК в процессе кислотообразования, что, безусловно, сказывается на основных показателях процесса, в том числе для энергоэффективного производства удобрений (концентрация  $HNO_3$  должна составлять 59-60% масс). Для решения вышеуказанных проблем нами были проведены лабораторные и промышленные испытания по интенсификации всех процессов, протекающих на основной стадии производства  $HNO_3$  – отделение абсорбции оксидов азота. Одной из задач было исключения образования нежелательных комплексов и соединений, таких как  $HNO_3 \cdot HNO_2$ ,  $NO_x \cdot H_2O$  так как их наличие препятствует образованию продукционной кислоты, а также за счет ускорения окислительных процессов при наличии кислорода в жидкой фазе. Это возможно достичь путем перераспределения газофазных и жидкофазных потоков в узле абсорбции, что в дальнейшем и было внедрено в производство[5].

На основании теоретических и промышленных исследований дана оценка процесса окисления  $NO$  в межтарелочном пространстве абсорбционной колонны. Ускорение лимитирующей стадии процесса кислотообразования возможно за счет создания условий протекания жидкофазных процессов, что возможно за счет кавитации жидкой фазы.



**Рис. 1. Зависимость  $C_{NOx}$  в отходящих газах абсорбции с АК от организации процесса кислотообразования: 1 – перераспределение газожидкостных потоков с кавитацией; 2 - перераспределение газожидкостных потоков; 3 - перераспределение жидкой фазы; 4 - базовый режим работы.**

Для интенсификации абсорбционных процессов, особый интерес представляет вопрос использования кавитационного режима. При создании данного режима в жидкости наблюдается нарушение сплошности течения, которое происходит в тех участках потока, где давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения, т.е., разрыв жидкости при создании в ней отрицательных давлений. Наступление кавитации характеризуется появлением в жидкой непрерывной среде мельчайших парогазовых пузырьков, объем которых растет по мере увеличения скорости течения и соответственно снижения давления. До настоящего момента проводились эксперименты по влиянию кавитации на различные химические процессы, в том числе и связанные с абсорбцией газов. В результате проводимых исследований были разработаны методики по выбору дроссельных устройств для проведения абсорбционных процессов, но классическая теория описания сути физико-химических явлений, происходящих при гидродинамической кавитации, пока не дала всех ответов на интересующие вопросы. Для их выяснения следует использовать новые теоретические и экспериментальные подходы, исследования теплофизических параметров абсорбционных процессов в режиме кавитации.

Учитывая возможности изменения физико-химических свойств воды и водных растворов под действием гидродинамической кавитации, была поставлена задача проведения экспериментальных исследований в этом направлении с последующей апробацией результатов в технологии  $HNO_3$  в промышленных условиях. [6].

При совместном использовании двух факторов, перераспределения потоков и кавитации показана возможность достижения концентрации продукционной кислоты 59-60% масс., при содержании  $NO_x$  на выходе из АК до 0,03% об. в стандартном абсорбционном объеме без использования каталитической очистки.

Следует отметить, что в общем потоке выбросов  $\text{NO}_x$  содержание  $\text{N}_2\text{O}$  может составлять до 50%

На основе экспериментальных исследований предложена схема перераспределения газожидкостных потоков в узле абсорбции, что позволило при увеличении мощности на 15-18% обеспечить устойчивую концентрацию продукционной кислоты 58-59% масс. при концентрации отходящих газов абсорбции 0,05-0,06% об. Разработано технологическое решение, которое внедрено на предприятии ПАО «Северодонецкое объединение «Азот»» с экономическим эффектом 2,3 млн. грн. Предложена перспективная схема абсорбционного отделения, которая может быть использована при создании усовершенствованной технологии азотной кислоты. Полученные экспериментальные данные и данные промышленных испытаний и внедрений могут быть использованы на предприятиях «азотной промышленности» и в системах очистки газов от  $\text{NO}_x$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кліматичний форум східного партнерства, робоча група громадських організацій зі зміни клімату, 2014. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://climategroup.org.ua/wp>
2. Офіційний вебсайт Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) — <http://www.ipcc.ch/>.
3. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату/ В. І. Осадчий, В. М. Бабіченко // Український географічний журнал. — К.: Академперіодика, 2013. — № 4. — С. 32-39.
4. Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки.. Український журнал дистанційного зондування Землі. Київ — 2015. С 59–77
5. К вопросу о совершенствовании технологии производства азотной кислоты / Н.А. Мороз, Б.К. Гармаш, М.И. Ворожбян, А.Я. Лобойко, Н.Б. Маркова // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. праць. — Х.: НТУ «ХП». — 2010. — Вып 13. — С. 52–58.
6. Абсорбция оксидов азота водой, активированной посредством эффекта кавитации / Н.А. Мороз, М.И. Ворожбян, А.Я. Лобойко, Н.Б. Маркова, В.С. Багдасарян // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. праць. — Х.: НТУ «ХП», 2010. — Вып 52. — С. 90–94.