

зали, что жидкие удобрения эффективны при применении под озимые (прибавка зерна 4,4г/га) и яровые культуры (прибавка зерна 5,5 ц/га).

Разработаны технология получения КСА на опытной установке и технические условия на жидкое удобрение КСА (опытные партии).

В хозяйствах Мостовского р-на Гродненской области планируется выполнение широких производственных испытаний азотосеросодержащих удобрений на основе раствора сульфата аммония и азотного компонента (КАС, карбамид).

УДК [54+504](043,2)

А.И.Ершов, А.П.Голдар,  
А.Е.Рабко (УО БГТУ, г.Минск)

### ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ $N_2O$ ИЗ ВЫХОДНЫХ ГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОКСИЛАМИНСУЛЬФАТА

В производстве гидроксилaminsульфата (ГАС) прямым каталитическим синтезом из водорода, окиси азота и серной кислоты из реакторов выходит абгаз сложного состава ( $\sim 60$  об.%  $H_2$ ,  $\sim 12$  об.%  $NO$ ,  $\sim 6$  об.%  $N_2O$ ,  $\sim 19$  об.%  $C_2H_4 + N_2$ ,  $\sim 3$  об.%  $H_2O$ ), который сжигается на факеле. Почти все его составные части представляют собой ценные компоненты и, в случае их разделения, могут быть использованы повторно для технологических нужд. Исключение составляет закись азота  $N_2O$ , которая используется в медицине. Сложность разделения абгаза состоит в том, что он, из-за наличия  $N_2O$ , взрывоопасен и не может подвергаться переработке под давлением выше 1,2 атм. В случае же удаления  $N_2O$  оставшуюся смесь можно компремировать до 15-20 атм., и тем самым существенно удешевляется абсорбционный способ выделения окиси азота с получением в остатке технического водорода [1,2,3]. Однако извлечение закиси азота, т.к. она относится к числу инертных газов, из абгазов представляет собой весьма трудную задачу.

Авторами ранее были выполнены технико-экономические расчеты по извлечению  $N_2O$  адсорбционным методом на  $H$ -модерните с последующей термической десорбцией. Согласно расчетам на выделение  $N_2O$  из всего объема абгазов, сжигаемых на факеле в производстве ГАС Гродненского ПО «Азот», потребуется 12000 кг  $H$ -модернита или 30 кг адсорбента на каждый килограмм закиси азота в час, из-за чего такой способ является весьма проблематичным для практической реализации.

В данном сообщении приводятся результаты исследований и приближенных расчетов криогенного способа выделения  $N_2O$  из абгазов. Поскольку температуры кипения и замерзания  $N_2O$  составляют 184,5 К и 182 К и разница между ними (2,5 °С) очень мала, использование предлагаемого способа допускается с применением попеременно работающих теплообменников-вымораживателей.

Для установления качества получаемой вымораживанием закиси азота нами проведены экспериментальные исследования непосредственно в цехе ГАС Гродненского ПО «Азот» на опытной установке, включающей в себя несколько последовательно соединенных теплообменных устройств, в которых абгаз постепенно охлаждался до низких температур и на последнем участке проходил через пучок труб, омываемых снаружи жидким азотом при атмосферном давлении. На внутренней поверхности этих труб и происходило вымораживание  $N_2O$ . По мере возрастания гидравлического сопротивления прохождению абгазов в трубчатке до определенного значения из-за увеличения толщины слоя замерзающей закиси азота подачу абгаза и жидкого азота прекращали и включали секундомер. За счет подвода тепла из окружающего пространства температура в теплообменных устройствах начинала повышаться и происходило поэтапное выделение и отвод составных компонентов. По ходу эксперимента отбирались пробы газа для хроматографического анализа. В интервале температур 184,5-182,2 К отбираемые пробы в основном составляли закись азота, концентрация которой соответствовала требованиям стандарта для медицинских целей. Незначительное количество азота (~ 0,37 %) в пробах, по всей видимости, являлось следствием продувки установки перед таянием  $N_2O$  чистым азотом, что можно на практике устранить путем продувки чистой закисью азота.

Для оценки технико-экономических показателей низкотемпературного способа выделения  $N_2O$  из абгазов нами выполнены приближенные расчеты потребного расхода холода на проведение процесса. Следует отметить, что справочные данные по физическим свойствам закиси и окиси азота в области низких температур довольно противоречивые и это требовало дополнительных аналитических расчетов и аппроксимаций, результаты которых приведены в таблице. В столбце 5 представлен расход холода на охлаждение газовой смеси от 40 °С (начальная температура абгаза) до 133 К. Откуда видно, что примерно половина от общих затрат расходуется безвозвратно на вымораживание паров воды и закиси азота. Остальную часть энергозатрат (~ 0,31 кВт/кг) можно уменьшить, как показывают расчеты, путем ресуперации до 70 %. По неконденсирующимся компонентам ( $H_2$ ,  $NO$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ) газовой смеси нересуперированные потери холода равны  $0,31(1-0,7)=0,093$  кВт/кг, а их общие безвозвратные затраты составят  $0,185+0,138+0,093=0,416$  кВт/кг.

Следует отметить, что речь идет о высокопотенциальном холоде (температура рабочая 133 К), и возможности снижения его расхода могут существенно повлиять на технико-экономические показатели процесса. Например, затраты дорогостоящего холода на удаление воды могут быть уменьшены до 0,034 кВт/кг, если охлаждение абгазов с начальной температуры 40 °С до 0 °С осуществлять за счет испарения жидкого аммиака. В результате чего минимально необходимые затраты холода для криогенного выделения закиси азота составят  $0,185+0,034+0,093=0,312$  кВт/кг, а с учетом коэффициента полезного действия установки  $\eta \approx 0,4$  энергозатраты возрастут до 0,78 кВт/кг. Поскольку при компримировании закиси азота в баллоны также расходуется энергия (~ 0,6 кВт/кг по справочным данным), то общие ее затраты примерно будут равны 1,39 кВт/кг  $N_2O$ . Нами были выполнены расчеты нескольких вариантов аппаратурно-технологических схем по выделению закиси азота криогенным способом. Эти варианты отличались между собой различным распределением тепловых потоков и степенью рекуперации холода. По суммарной поверхности теплообмена (примерно 400 м<sup>2</sup>) все схемы оказались примерно равноценными.

Согласно результатам экспериментальных исследований и приближенных расчетов, низкотемпературный способ выделения  $N_2O$  из абгазов оказался довольно энергоемким, но с учетом острой потребности закиси азота для медицинских целей в Республике Беларусь и высокой стоимости на мировом рынке утилизация ее в производстве ГАС может стать вполне оправданной.

Таблица

Состав абгазов и расчетные данные по расходу холода на выделение отдельных компонентов

Компонент	Содержание, % об.	Содержание в расчете на 1 кг $N_2O$		Энергозатраты при вымораживании
		мм <sup>3</sup> /кг	кг/кг	
$H_2$	65	3,31	0,296	0,241
$NO$	10	0,507	0,679	0,082
$N_2O$	10	0,507	1,000	0,185
$CH_4$	5	0,253	0,181	0,019
$H_2O$	4	0,203	0,163	0,138
$N_2$	6	0,305	0,381	0,018

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов А.И., Голдар А.П., Рабко А.Е. Совершенствование технологии производства гидроксилaminsульфата с разделением абгазов и их утили-

лизацией // Труды XV Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – Мн.: Наука и техника. – 1993. – Т.1. – С. 378-379.

2. Рабко А.Е. Разработка барботажно-прямоточных контактных устройств для абсорбции труднорастворимых газов химически реагирующими поглотителями: Дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1993.

3. Ершов А.И., Пыхов И.М. Исследования и технические разработки на кафедре процессов и аппаратов химических производств по совершенствованию химических производств // Труды БГТУ. Вып. VIII. Химия и технология неорганических веществ. Серия III. – Минск, 2000. – С. 191-209.

674.823 : 66.074.7

С. Е. Орехова, Л. И. Хмылко, В. А. Ашуйко, Н. А. Барановская

(УО БГТУ, г. Минск)

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ФОРМАЛЬДЕГИДА С СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В Республике Беларусь интенсивно функционирует деревообрабатывающая отрасль. В процессе производства мебели, фанеры, древесно-стружечных плит и других товаров из древесины происходит загрязнение окружающей среды различными веществами. Так, исследования состава и объемов побочных парогазовых смесей, образующихся в различных процессах химической и термической переработки древесины, свидетельствуют о значимости их роли в происходящем загрязнении атмосферного воздуха.

На предприятиях деревообработки наиболее часто встречаются следующие компоненты газовых выбросов: формальдегид, бутилацетат, фенолы, аммиак, уксусная кислота, а также растворители типа ксилола и бензиновых смесей. В связи со значительной токсичностью этих веществ (среднесуточная предельно допустимая концентрация уксусной кислоты –  $0,06 \text{ мг/м}^3$ , фенола –  $0,01 \text{ мг/м}^3$ , формальдегида –  $0,003 \text{ мг/м}^3$ ) существует необходимость разработки новых способов предотвращения попадания их в атмосферу.

На кафедре общей и неорганической химии БГТУ проводятся исследования по созданию сорбентов на основе отходов деревообработки в виде измельченной древесины (опилок) и возможности их применения для очистки газовых выбросов деревообрабатывающих производств от формальдегида, аммиака, бензола и некоторых других веществ. Полученные сорбенты эффективно поглощают формальдегид из газовой фазы, их сорбци-