

Выводы

Холодильно-подогревающая установка на базе вихревой трубки для исследования работы термоматрона ГТД проста по конструкции, компактна и экономична. Применение установки для проверки работы термоматрона в различных климатических условиях уменьшает время и снижает затраты на доводку термоматрона, а с ним и двигателя.

Литература

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике, М., "Машиностроение", 1969.
2. Кузнецов В.И. К вопросу о взаимодействии периферийных и осевых слоев газа в противоточной вихревой трубе. ИВУЗов, М., "Машиностроение", 1972, № 10.
3. Кузнецов В.И., Полуэмпирическая теория вихревой трубы. Сб. "Труды I конференции по вихревому эффекту", Куйбышев, 1974.
4. Кузнецов В.И. Методика расчета вихревой трубы. Сб. "Труды I конференции по вихревому эффекту", Куйбышев, 1974.

М.А. Жидков, И.Л. Лейтес, О.А. Ахиян, Г.Г. Арунянц

УЛАВЛИВАНИЕ ПАРОВ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ИЗ ГАЗОВ МЕТОДОМ КОНДЕНСАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА

Принятые обозначения

p	-	давление, ата
t	-	температура, °С
$\pi = p_1/p_0$	-	перепад давления
$\mu = Q_1/Q_2$	-	доля холодного потока
$\Delta t_{хол} = t_2 - t_4$	-	охлаждение газа холодного потока, °С
$\Delta t_{гор} = t_3 - t_2$	-	нагрев газа горячего потока, °С
$\Delta t_{мелл} = t_1 - t_2$	-	охлаждение газа в межтрубном пространстве теплообменника, °С
$\Delta t_{max} = t_1 - t_4$	-	максимальное охлаждение газа, °С
y	-	концентрация паров МП в газе, г/нм ³

$l_{\text{мп}}$ - количество конденсата, г/нм³

η_{ex} - эксергетический к.п.д.

В химической промышленности многие процессы разделения газовых смесей проводятся абсорбционным методом с помощью органических растворителей. При этом технологический газ после установок разделения содержит некоторое количество паров растворителя, что приводит к потерям. Для уменьшения потерь применяется ряд методов по улавливанию паров, в том числе - конденсационный. Этот метод предпочтителен для процессов разделения, протекающих под давлением, однако он требует значительных затрат энергии на получение холода и соответствующего холодильного оборудования.

На химических производствах, где давление технологического газа после установок разделения снижается, энергия давления преобразуется, как правило, в электроэнергию.

Экономический расчет показывает, что в ряде случаев целесообразно использовать имеющийся перепад давления для производства холода с целью конденсации дорогостоящего и дефицитного растворителя.

Цель работы - исследование метода улавливания паров растворителя с помощью вихревой трубы Ранка - Хилша. Экспериментальная проверка этого процесса была проведена на производстве ацетилена термоокислительным пиролизом метана. В этом производстве конечный продукт выделяется из пирогаза различными селективными абсорбентами, в основном *N*-метилпирролидоном (МП).

Процесс выделения ацетилена протекает в абсорбере при температуре 20°C и давлении 10 ата. В состав абсорбента входят - 97% МП и 3% Н₂О. Пирогаз после выделения ацетилена (синтез - газ) имеет следующий состав: 60% Н₂, 38% СО, 3% N₂ и 4% СН₄. Количество паров МП в синтез-газе составляет 0,2 - 0,4 г/нм³. Для уменьшения потерь МП применяется водная промывка, однако по ряду причин она не обеспечивает полного возвращения МП в систему. Давление синтез-газа используется в агрегате мотор-компрессор-турбина для производства электроэнергии.

Для оценки термодинамической эффективности использования перепада давления синтез-газа нами были подсчитаны эксергетические к.п.д. процессов производства электроэнергии в турбине и конденсации паров МП с помощью вихревого эффекта. Они соответственно равны $\eta_{\text{эл.}} = 0,244$ и $\eta_{\text{ex}}^{\text{конд.}} = 0,0015$. Значит с термодинамичес-

кой точки зрения процесс конденсации МП с применением вихревой трубы невыгоден.

Для конденсации паров МП можно применить турбодетандер. Эксергетический к.п.д. такого процесса будет даже несколько выше величины $\frac{\Delta t_{\text{хол}}}{t_{\text{ex}}}$, так как при этом одновременно с конденсацией МП производится и электроэнергия. Однако применение турбодетандеров на конденсирующихся смесях связано с определенными трудностями в эксплуатации, причем для конкретных условий, как правило, необходимы специальные турбодетандеры. Вихревая труба с этой точки зрения предпочтительнее, так как она проста конструктивно и надежна в эксплуатации.

Экономический анализ показал, что вследствие высокой стоимости абсорбента (5 руб. за 1 кг) выделение паров МП выгоднее производства электроэнергии. Внедрение этого процесса в промышленном масштабе может дать значительный экономический эффект.

Таким образом, несмотря на низкую термодинамическую эффективность вихревой трубы, как генератора холода, ее применение в производстве ацетилена для выделения паров МП экономически оправдано.

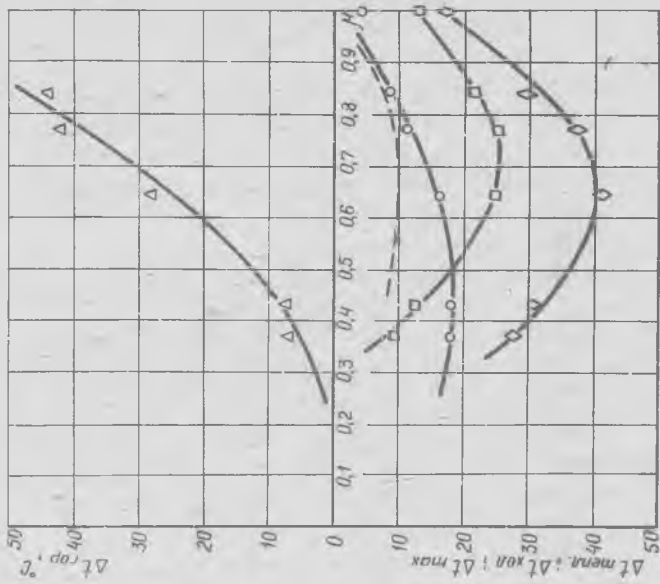
Экспериментальные данные по вихревому эффекту на газе данного состава в литературе отсутствуют, поэтому исследование процесса конденсации МП проводилось в два этапа. На первом - исследовали температурную эффективность вихревой трубы, на втором - изучали процесс конденсации паров МП.

Работы по первому этапу были проведены на обычной вихревой трубе диаметром 70 мм [1]. При исследовании температурных зависимостей давление измерялось с точностью 0,1 атм, температура - 0,5°C.

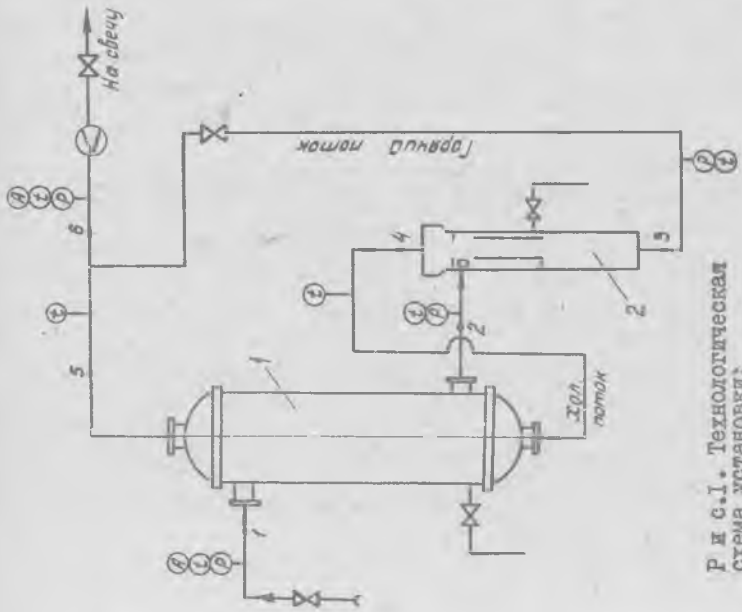
Было испытано три прямоугольных сопловых ввода. Из них два односопельные размером 15 x 15 и 10 x 20 мм (первое число - высота сопла, второе - ширина) и один двухсопельный размером 7,5 x 14,5 мм, диаметр диафрагмы - 37 мм.

Были сняты зависимости $\Delta t_{\text{хол}}$ от μ при различных π , которые показали, что большей температурной эффективностью обладает сопло 15x15 мм. Максимальное значение $\Delta t_{\text{хол}}$ наблюдалось при $\mu = 0,3$.

Исследования по конденсации паров МП проводили на установке, технологическая схема которой представлена на рис.1. В ее состав



Р и с. 2. Зависимость $\Delta t_{\text{хол}}$, $\Delta t_{\text{тепл}}$, Δt_{max} и $\Delta t_{\text{гор}}$ от μ при $N = 30$:
 Δ — $\Delta t_{\text{гор}}$; --- $\mu \Delta t_{\text{хол}}$; — \square — $\Delta t_{\text{тепл}}$;
 — \circ — $\Delta t_{\text{хол}}$; \diamond — Δt_{max}



Р и с. 1. Технологическая схема установки:

1 — теплообменник; 2 — трехточечная выходящая труба; А — анализ; Б — температура; Р — давление

входит рекуперированный теплообменник I и трехпоточная вихревая труба 2. Вихревая труба такой конструкции была испытана авторами ранее на природном газе [2]. Она отличается от обычной тем, что одновременно выполняет функцию сепаратора. Сопло - прямоугольное, размером 10x20 мм, диаметр диафрагмы - 37 мм.

На установке измеряли давление, температуру, расход газа, количество и состав конденсата, содержание паров МП в газе. Долю холодного потока определяли по балансу вихревой трубы.

Была исследована зависимость температурного режима работы установки от π и μ . На рис.2 в качестве примера представлены зависимости $\Delta t_{хол}$, $\Delta t_{гор}$, $\Delta t_{мелл}$, Δt_{max} от μ при $\pi = 3,0$. Они получены при $P_I = 10$ ата и $t_1 = 19^\circ\text{C}$ (индекс у параметра обозначает соответствующую точку технологической схемы). Как видно из рисунка, зависимость $\Delta t_{хол}$ от μ имеет максимум при $\mu = 0,4$. Кривые $\Delta t_{мелл}$ и Δt_{max} имеют максимумы при $\mu = 0,65 - 0,7$. На это же значение μ приходится максимум величины $\mu \cdot \Delta t_{хол}$, которая характеризует удельную холодопроизводительность вихревой трубы (на рис.2 зависимость этой величины от μ показана пунктиром). Таким образом, максимальное охлаждение синтез-газа можно получить при работе вихревой трубы в режиме максимальной холодопроизводительности.

Наибольшее охлаждение синтез-газа было получено при $\pi = 6,8$ и составляло $\Delta t_{max} = 63^\circ\text{C}$.

Процесс конденсации паров МП был исследован в зависимости от температурного режима работы установки. Результаты исследований представлены в таблице. Как видно из таблицы, степень конденса-

Т а б л и ц а

Экспериментальные данные по конденсации паров МП из синтез-газа

P_I , ата	P_6 , ата	π	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	Q , мм ³ /ч	μ	$\epsilon_{мп}$, г/мм	U_1 , г/мм ³	$U_{мп}$, %
10,1	1,4	7,2	20,0	-18,0	31,0	-43,0	1890	0,66	0,211	0,220	96
10,0	3,3	3,0	21,5	15,5	-	13,0	1600	1,00	0,075	0,220	34

ции паров $\gamma_{мп} = (\gamma_1 - \gamma_6) 100 / \gamma_1$, зависят от температуры и при $t_2 = -18^\circ\text{C}$ составляет 96%.

Основную часть конденсата сливали из теплообменника. Количество конденсата в третьем потоке вихревой трубы составляло 2-3% от общего количества. Это говорит о сравнительно небольшом брызгоуносе из теплообменника.

В ы в о д ы

1. Получены экспериментальные данные по вихревому эффекту на сынтет-газе производства ацетиленового завода.

2. Исследован процесс конденсации паров МП с помощью вихревой трубы в схеме с рекуперирующим теплообменником.

3. Показано, что несмотря на низкую термодинамическую эффективность, применение вихревой трубы для улавливания паров МП экономически выгодно.

Л и т е р а т у р а

1. Лейтес И.Л. и др. Очистка природного газа с помощью вихревого эффекта. Труды первой научно-технической конференции Куйбышев, 1974, с.85.

2. Жидков М.А., Лейтес И.Л. и др. Очистка природного газа от сернистых соединений низкотемпературной абсорбцией конденсирующимися углеводородами. "Газовая промышленность", 1974, № 6, с.43.

Е.Я. Соколов, А.В. Мартынов, К.Б. Немира

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

В работе [1], исходя из идеализированных законов распределения параметров газа в вихревой трубе (постоянства статических давлений и статических температур по радиусу, а также закона вращения квазитвердого вихря $w_r/r^2 = const$), с помощью аналитического аппарата газодинамики было получено уравнение характеристики вихревой трубы. Это уравнение в некоторых случаях не дает достаточной точности количественных результатов.

Дальнейшее уточнение уравнения характеристики может быть получено на основе реального распределения параметров газа в вихревой