

графиков, расчетное распределение окружной скорости вынужденного вихря существенно отличается от скорости вращения твердого тела. С уменьшением \bar{F}_c и π_1 , показатель степени n возрастает.

Как видно из рис.1 наблюдается хорошее качественное совпадение расчетного профиля скорости с экспериментальным.

В ы в о д ы

1. Предложенная методика расчета профиля окружной скорости вынужденного вихря даёт хорошее совпадение расчетных данных с экспериментальными.
2. Снижение величин \bar{F}_c и π_1 , приводит к уменьшению закрутки вынужденного вихря.

Л и т е р а т у р а

1. Меркулов А.П. О природе вихревого эффекта. Труды КуАИ, вып. 37, 1969.
2. Меркулов А.П., Пираллишвили Ш.А. Теоретическое исследование термодинамических характеристик вихревой трубы с дополнительным потоком, ИЖ, том XXII, 1974.
3. Eckert E.R.G., Hartnett S.P. *Experimental Study of the Velocity and Temperature Distribution in a High Velocity Vortex Type Flow, Stanford University Heat Transfer Institute Conference, June, 1956.*

Ю.М. Баженов, А.Н. Чернов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВ В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Принятые обозначения

x'_i - мольные доли исходного потока e - доля отгона жидкой фазы

k_i - константы равновесия
 y_i^* и γ_i^* - мольные доли образовавшейся соответственно жидкой и газовой фазы
 T_i^* - полная температура исходного потока
 v_i^* - удельный объём исходного потока

W_1 - скорость исходного потока на входе в сопло
 g - ускорение свободного падения
 C_p - изобарная теплоёмкость
 k - показатель адиабаты
 μ - отношение массового расхода холодного потока к массовому расходу исходного потока

Задача данной работы - изучение процесса разделения газовых смесей по компонентам в вихревой трубе и разработка метода расчета такого разделения.

Предполагается, что разделение происходит за счет различия молекулярных весов компонентов и за счет разделения образовавшейся в трубе газожидкостной смеси. В обоих случаях происходит изменение состава газовой смеси в холодном и горячем потоках газа (по сравнению с исходным) под действием центробежных сил закрученного потока вихревой трубы.

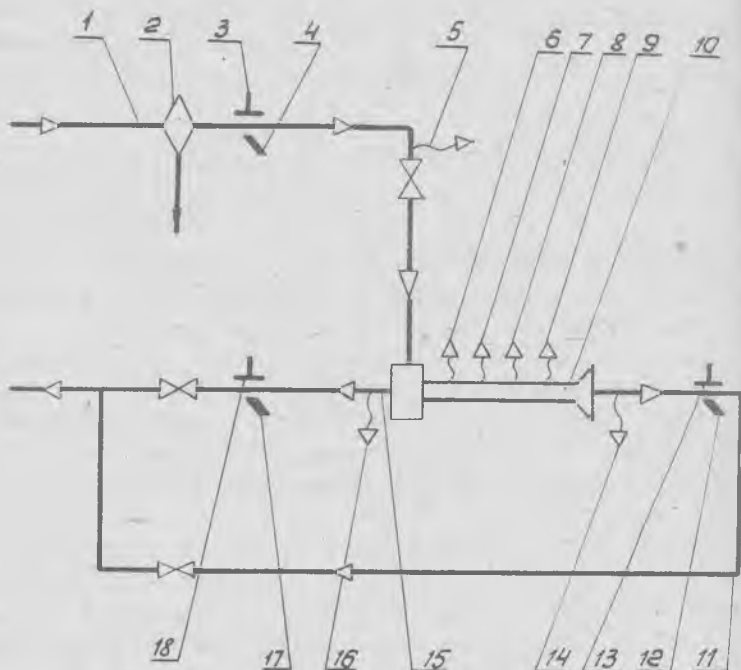
Для исследования выбраны смеси газов воздух-азот-кислород-гелий (неконденсирующиеся в условиях вихревой трубы) и попутный нефтяной газ Грозненского ГПЗ, отдельные компоненты которого способны конденсироваться при понижении температуры газового потока внутри вихревой трубы.

Исследования проводились на трубе диаметром 25 мм, в которую подавалась смесь газов предварительно отделенная от жидкой фазы в сепараторе (рис.1). Оценка эффекта разделения производилась путем хроматографического анализа исходного, холодного и горячего газовых потоков.

В результате получено, что разделения смеси неконденсирующихся газов не происходит. По-видимому, это можно объяснить тем, что звуковые и околосвуковые скорости закрученного потока (число Маха $0,9 < M < 1$), создающие значительное поле центробежных сил определяют одновременно турбулентный режим течения газа $Re = 4 \cdot 10^5$, то есть сильное перемешивание компонентов.

Результаты разделения нефтяного попутного газа представлены

в таблице (состав газа исходного и холодного потока).



Р и с. I. Схема экспериментальной установки:

I - исходный поток газа; 2 - сепаратор; 3 - измерение давления исходного потока; 4 - измерение температуры исходного потока; 5 - отбор пробы газа исходного потока для хроматографического анализа; 6, 7, 8, 9, 14 - отбор проб газа горячего потока для хроматографического анализа; 10 - вихревая труба; II - горячий поток газа; 12 - измерение температуры горячего потока; 13 - измерение давления горячего потока; 15 - холодный поток газа; 16 - отбор пробы газа холодного потока для хроматографического анализа; 17 - измерение температуры холодного потока; 18 - измерение давления холодного потока

Таким образом, можно считать, что разделение газовых смесей в пределах исследованных составов и параметров происходит только за счет конденсации отдельных компонентов с последующим разделением фаз в поле центробежных сил. В связи с этим предлагается метод расчета по методике равновесного разделения много-

компонентной системы, основанный на использовании метода материального баланса

$$\sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{e(k_i - 1) + 1} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{k_i x_i}{e(k_i - 1) + 1} = 1$$

За расчетные параметры при определении величин k_i принимаем измеренное в эксперименте статическое давление на выходе из сопла вихревой трубы и рассчитанная по нему статическая температура

$$T_0 = T_1^* - \frac{2k}{k-1} \frac{P_1 v \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] + W_1^2}{2g_c c_p A}$$

В результате расчета, считая что весь выпавший конденсат концентрируется в пристеночных слоях получаем состав холодного потока.

По изложенной выше методике было проведено 60 расчетов при различных параметрах исходного потока газа. Сравнение результатов с экспериментальными данными показало, что относительное отклонение, определенное по сумме углеводородов C_{3+B} составляет в среднем 18% (некоторые из результатов расчета приведены в табл. I). Отклонения можно объяснить частичным испарением выпавшего конденсата по мере продвижения его с нагретыми пристеночными слоями к горячему концу вихревой трубы с последующим турбулентным перемешиванием периферийных и приосевых слоев, а также неравномерностью процесса конденсации при значительных скоростях газового потока.

Предлагаемый метод позволяет произвести оценку различных способов использования трубы как аппарата для разделения газовых смесей.

Эти способы можно классифицировать по различным сочетаниям следующих признаков и параметров: μ , место использования холода холодного потока; место выделения конденсата. Расчеты проводились для попутного нефтяного газа. Оценка эффективности того или иного способа производится по степени извлечения углеводородов C_{3+B} .

Т а б л и ц а

Результаты расчета разделения углеводородных газов в вихревой трубе

Состав исходного газа	Состав холодного потока (расчет)	Состав холодного потока (опытные данные)	Состав исходного газа	Состав холодного потока (расчет)	Состав холодного потока (опытные данные)	Состав исходного газа	Состав холодного потока (расчет)	Состав холодного потока (опытные данные)
0,015016	0,0151635	0,017984	0,012975	0,0131827	0,017118	0,014017	0,0142686	0,018987
0,740506	0,7492316	0,735743	0,701704	0,7154197	0,721990	0,742111	0,7576361	0,749302
0,156882	0,1579391	0,159316	0,174014	0,1758812	0,163678	0,154086	0,1560404	0,151832
0,052406	0,0518543	0,058788	0,063888	0,0622133	0,056106	0,051098	0,0499372	0,050240
0,005695	0,0054069	0,005112	0,010317	0,0091670	0,009188	0,006213	0,0055622	0,005993
0,009796	0,0090399	0,007784	0,020396	0,0168578	0,016039	0,010432	0,0087198	0,009974
0,003609	0,0028661	0,002496	0,006113	0,0035338	0,005246	0,004789	0,0028272	0,003987
0,005385	0,0039445	0,003987	0,005986	0,0029262	0,005527	0,006202	0,0031002	0,004287
0,010705	0,0045051	0,008590	0,004612	0,0008261	0,004208	0,011002	0,0019141	0,005396

В результате расчетного исследования получено, что наиболее эффективна схема, в которой исходный поток охлаждается холодным потоком, конденсат выводится из цилиндрической части вихревой трубы, а труба работает в режиме $\mu = 0,7$.

И.А. Циралишвили, Н.Н. Новиков

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОДНОЙ СХЕМЫ ВИХРЕВОГО ТЕРМОСТАТА

Принятые обозначения

p - давление

T - температура

G - массовый расход

$\mu = \frac{G_{20}}{G_1}$ - относительный расход холодного потока

$\theta = \frac{T_c}{T_k}$ - безразмерная температура

φ - адиабатный к.п.д.

$\alpha = \frac{\rho_0}{\rho_2}$ - степень расширения в вихре

i^* - полная энтальпия

η_{ac} - эксергетический к.п.д.

η_{oi} - внутренний адиабатный к.п.д.

$\eta_{m.e}$ - к.п.д., учитывающий механикоэлектрические потери в электромоторе и компрессоре

Q_0 - количество тепла, отнятого у охлаждаемого объекта

e - эксергия

Δe - изменение энергии

W - мощность электроэнергии, потребной для привода компрессора

И н д е к с ы

Подстрочные индексы указывают на принадлежность параметра к соответствующему сечению по схеме (рис.1).

Надстрочные:

* - параметры торможения

1* - величины, отнесенные к вихревой трубе с дополнительным потоком.

Большая необратимость процесса энергоразделения в вихревых трубах является причиной их малой термодинамической эффективности. Для ее повышения вихревые термостаты обычно проактивируются по регенеративной схеме [1], [2] с максимально возможной утилизацией