

УДК 621.6

А. Ю. ПАРХИМОВИЧ, А. А. СОЛОВЬЕВ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

Авторы статьи проводят исследование экспериментально полученных характеристик вихревого регулятора давления магистрального газа. В статье представлены данные многочисленных экспериментальных исследований, рассмотрены параметры выходного потока газа для различных вариантов конструктивного исполнения регулятора. Проведен анализ параметров потока, дросселируемого вихревыми трубами. Рассмотрена целесообразность и эффективность применения многоступенчатой системы вихревых регуляторов. *Экспериментальные исследования; вихревая труба, регулятор давления; магистральный трубопровод; многокаскадная система вихревых труб*

ВВЕДЕНИЕ

Система транспортировки газа от магистрального трубопровода до потребителя включает в себя ряд технических средств, обеспечивающих выполнение специальных задач, среди которых можно выделить два направления:

- снижение давления до заданного значения и автоматическое поддержание заданного давления;
- подогрев газа перед снижением давления, препятствующий выделению твердых кристаллогидратов и обмерзанию трубопроводов и арматуры.

Необходимость подогрева газа перед снижением давления обуславливается резким снижением температуры газа при дросселировании на регулирующих органах, в принцип действия которых закладывается необходимость дросселирования, т.е. прохождения газа через местное сопротивление. Дросселирование сопровождается падением давления газа из-за диссипации энергии, расходуемой на преодоление этого местного сопротивления. В области течения, где происходит дросселирование, движение газа носит весьма неупорядоченный характер и его состояние невозможно точно определить с помощью средних параметров. При дросселировании течение происходит только в сторону понижения давления при некотором увеличении объема расхода (так как массовый расход постоянен). Этот процесс является необратимым и сопровождается увеличением энтропии, т.е.

$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_i < 0 \text{ при } ds > 0.$$

Снижение температуры при дросселировании характеризуется дифференциальным дроссельным эффектом Джоуля-Томпсона. Этот эффект проявляется для многосложных газов и его значение меняется от физических параметров и состава газа. Так, для воздуха в среднем диапазоне давления снижение температуры составляет 2,5°С на $\Delta P = 10$ атм, а для природного газа 4,5...5°С. В определенных условиях эта величина может менять знак (т.е. может наблюдаться подогрев газа при дросселировании). В рабочем диапазоне дросселирования давления газа на ГРС величина дроссельного эффекта практически не меняется и величина снижения температуры газов при дросселировании составляет 15÷30°. Это приводит к созданию условий по параметрам газового потока (температура-давление), соответствующих кристаллообразованию тяжелых фракций и остаточных после осушки водяных паров. Сравнение параметров газовых потоков при различных способах дроссели-

рования показывает, что наиболее яркое проявление эффекта Джоуля-Томпсона проявляется при высоких градиентах изменения давлений и резких изменениях проходных сечений [1, 2].

1. ИСПЫТАНИЯ ВИХРЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

Анализ параметров при дросселировании потока вихревыми трубами показал, что в определенном диапазоне соотношения между «холодным» и «горячим» потоками их перемешивание дает осредненную температуру смешанного потока выше, чем температура газа на входе в вихревое дроссельное устройство. Этот эффект был получен на $\mu = 1,0$ с крестовиной, обеспечивающей перевод воздуха (газа) с «горячего» плеча вихревой трубы в центральную область вихревой камеры с пониженным давлением через горячую трубку крестовины «горячего» потока. Кроме того, крестовина была выполнена в виде лопаточного венца с углом установки лопаток во входном для газа сечении 20° к нормальной плоскости и раскруткой потока вдоль оси трубы. Установка лопаточного венца позволило повысить температуру торможения «горячего» потока с 65÷70°С с классической крестовиной до 185÷200°С с экспериментальной.

Полученные экспериментальные материалы по продувкам цилиндрических вихревых труб в диапазоне $0 \leq \mu \leq 1,0$ позволили разработать вихревой регулятор давления газа, который при дросселировании давления не дает интенсивного снижения температуры. Конструктивное исполнение разработанного вихревого редуктора представлено на рис. 1.

Первый этап испытаний экспериментальной вихревой трубы показал, что условия температурного разделения потоков существенно зависят от конструкции крестовины.

Например, установка на базовой крестовине отражательного диска диаметром порядка половины диаметра вихревой трубы ($d_{од}=20$ мм, $d_{вт}=42$ мм) приводит к повышению температуры горячего потока на режиме $\mu=1$ с 75..80°С до 125..130°С. Повышенное по отношению к «классическому» варианту (стандартная крестовина) значение температуры наблюдается до значений $\mu \approx 0,7$, затем данные измерений практически совпадают. При этом был сделан вывод, что характер изменения температурных перепадов для различных видов крестовин (а также дополнительных изменений конструкции) не может быть описан существующими методиками расчета [3,4].

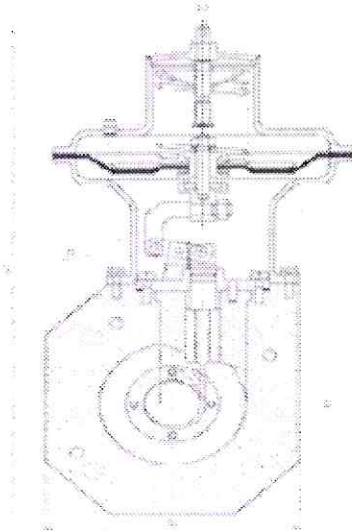


Рис. 1. Конструкция вихревого редуктора

Для проверки данного предположения Инженеринговым центром ОАО НИИТ была разработана конструкция крестовины с возвратом горячего потока от периферии горячей зоны вихревой трубы в осевой поток с наиболее низкой температурой. Кроме того, расчетная оценка теплового баланса смешивания горячего и холодного потоков по результатам многочисленных продувок на различных режимах показала, что после дросселирования в вихревой трубе при определенном соотношении расходов ($\mu=0,5...0,85$) температура смеси оказывается выше температуры исходного потока. Такие же данные были получены при испытании вихревой трубы на природном газе с замером реальной температуры смешивания (продувки проводились на ФГУП НПП «Мотор»).

Эти данные идут в разрез с существующими представлениями о природе дроссельного эффекта Джоуля-Томпсона, и требуют дополнительного исследования для объяснения данного противоречия.

Экспериментальная отработка вновь разработанной крестовины обратного тока показала, что заложенные в основу предположения верны и крестовина такой конструкции качественно меняет картину течения в вихревой трубе.

Сопоставления с ранее полученными данными по продувкам вихревой трубы с различными видами конструктивных изменений крестовины, но без возврата потока, показали нижеследующие результаты (рис. 2).

На режиме $\mu=1$ (прямое смешение) температура «холодного» выхода оказывается выше входной на $2..5^\circ\text{C}$, а температура холодного выхода вихревой трубы с крестовинами без возврата потока снижалась на $6...10^\circ\text{C}$ по отношению к входному. Таким образом, значение холодильного эффекта $\Delta t_x = t_{\text{вх}} - t_x$ оказывается ниже, чем у классической вихревой трубы (и даже меняет знак), и установка крестовины с возвратом потока позволяет получить режим дросселирования в вихревой трубе с сохранением температуры газа (изотермическое дросселирование). Температура горячего конца вихревой трубы при этом

лежит в пределах близких к классическому варианту, но при определенном давлении резко возрастает до величин порядка 180°C .

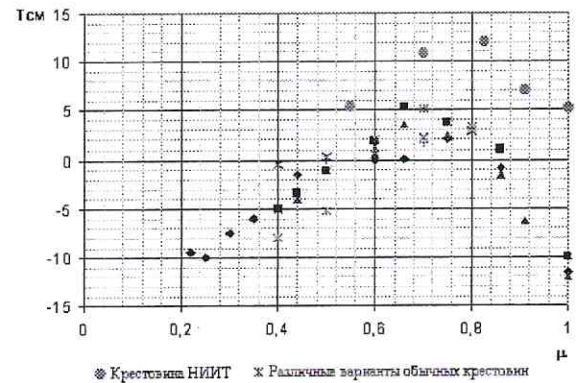


Рис. 2. Температура смешения холодного и горячего потоков при использовании различных крестовин

На режимах $\mu < 1$ крестовина обратного тока приводит к резкому возрастанию температуры горячего потока (до $115..120^\circ\text{C}$ против $85..90^\circ\text{C}$ на соответствующих режимах) и снижению температуры холодного по характеру близкому к классическому варианту, но с превышением на $10..15^\circ\text{C}$. Расчет температуры смешения показывает, что смешевая температура может быть выше входной на $10..12^\circ\text{C}$.

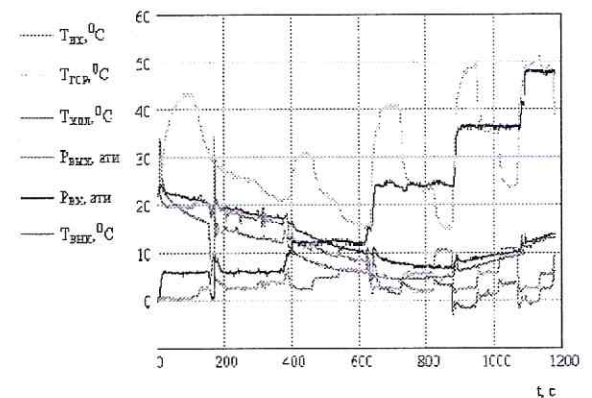


Рис. 3. Данные экспериментальных исследований

На рис. 3 представлены данные экспериментальных исследований вихревого регулятора давления газа (ООО «Баштрансгаз») для газораспределительных станций. Его уникальность заключается в том, что он отражает динамику регулятора с учетом переменных параметров рабочего тела (воздуха) на входе. Под переменными параметрами понимается избыточное давление газа и его температура.

2. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Экспериментальные данные показали, что температура $T_{\text{вх}}$ во всем временном диапазоне имеет некоторые скачки различной амплитуды, причем ярко выраженную в самом начале процесса (до двухсотой секунды). Это обстоятельство предположительно связано с неустановившимся процессом ис-

течения газа, которое имеет место в самом начале процесса. Вообще говоря, в начале регулятор давления продувают в течение двух-трех минут, прежде чем приступить к его экспериментальному исследованию.

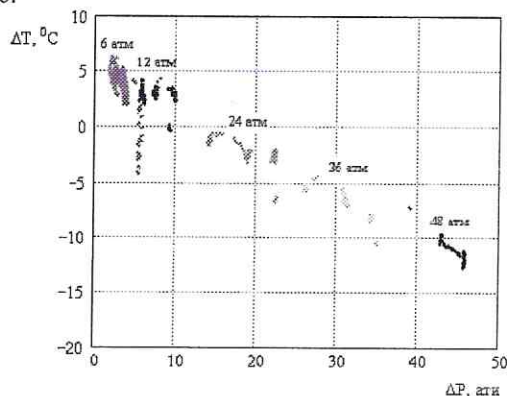


Рис. 4. Массив экспериментальных данных в температурном интервале при различных перепадах давления

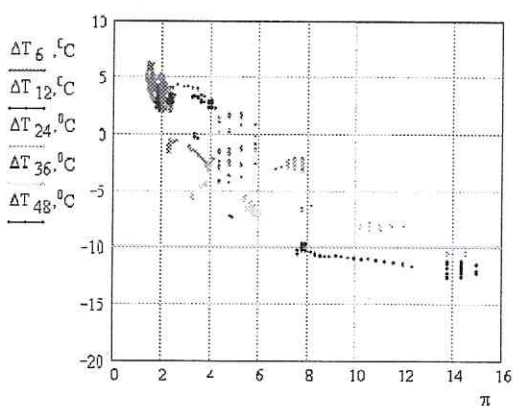


Рис. 5. Массив экспериментальных данных в температурном интервале от степени расширения

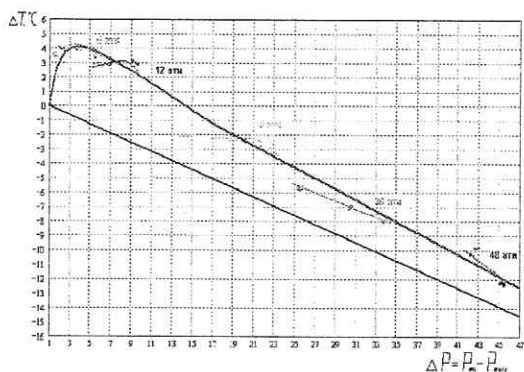


Рис. 6. Зависимость подогрева газа от величины расширения в вихревом регуляторе

По экспериментальным данным и общим выводам данного регулятора была предложена многоступенчатая система из двух, трех и более ступеней последовательного редуцирования газа. Если взглянуть на зависимость подогрева газа от величины расширения в вихревом регуляторе (рис. 6), то видно что, при понижении давления с 4,8 МПа до 0,6 МПа выходная температура получается (-1, -3 °C)

Регулятор испытывался при следующих входных давлениях газа: 6, 12, 24, 36, 48 атм.

Результаты экспериментальных исследований вихревого регулятора давления газа были обработаны в среде MathCAD 11 (рис. 4, 5, 6, 7).

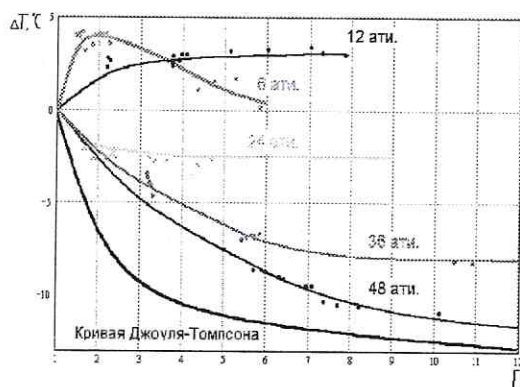


Рис. 7. Температурные характеристики регулятора при изменении входных и выходных параметров

ВЫВОДЫ

Анализ параметров при дросселировании потока вихревыми трубами показал, что в определенном диапазоне соотношения между «холодным» и «горячим» потоками их перемешивание дает осредненную температуру смешанного потока выше, чем температура газа на входе в вихревое дроссельное устройство. При установке второго такого же регулятора последовательно, при снижении давления ступенчато – на первой ступени 4,8...1,2 МПа, $\pi=4$; на второй – 1,2...0,6 МПа, $\pi=2$ на первой ступени имеем - 7°С, на второй + 4°С.

Также можно использовать систему дросселирования из трех последовательно установленных регуляторов, понижая давления ступенчато – на первой ступени 4,8...1,2 МПа, $\pi=4$; на второй – 1,2...0,6 МПа, $\pi=2$; на третьей 0,6...0,3 МПа, $\pi=2$. При этом на первой ступени температура достигает значения (- 7°С), на второй (+ 4°С), на третьей (+3...+4°С). Многоступенчатая конструкция довольно громоздка, однако, достаточно эффективна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников, В. М. Регуляторы давления газа / В. М. Плотников, В. А. Подрешетников, А. П. Дроздов, В. У. Гончаров. Л.: Недра, 1982. 125 с.
2. Ионин, А. А. Газоснабжение / А. А. Ионин. М.: Стройиздат, 1975, 439 с.
3. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. М.: Машиностроение, 1969. 180 с.
4. Райский Ю. Д. Применение вихревых труб в схемах подготовки природного газа / Ю. Д. Райский, Л. Е. Тункель. М.: ВНИИЭГаз, 1974. 56 с.