Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский Томский политехнический Университет»

****

Институт электронного обучения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Введите Ваше направление | | | | | | | | | | | | |
| ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ – ТОМСОНА | | | | | | | | | | | | |
| **Отчёт по лабораторной работе** | | | | | | | | | | | | |
| по дисциплине:  **Теоретические основы процессов тепломассопереноса** | | | | | | | | | | | | |
| **Исполнитель:** |  | | | | | | | | | | | |
| студент группы | группа | | |  | | ФИО | | |  | | Дата сдачи | |
|  | группа | | |  | | ФИО | | |  | | Дата | |
| **Руководитель:** |  | | | | | | | | | | | |
| преподаватель | кафедры | | ТПТ | |  | | ФИО | | |  | | Дата | |
| должность |  | кафедра | |  | | ФИО | | |  | | Дата | |
| Томск –– | | | | | | | | 2019 г. | | | | |

### Введение

В лабораторной работе моделируются процессы, происходящие в жестком замкнутом баллоне при его заполнении воздухом и при выпуске воздуха из него.

### Цели и задачи лабораторной работы

Целью работы является экспериментальное определение изменения температуры воздуха в процессе адиабатного дросселирования при перепаде давления на дросселе до 1,2 МПа, а также определение внутреннего давления газа (постоянной Ван-дер-Ваальса) на основе модели реального газа.

Задачами исследования являются:

1. закрепление теоретических знаний по основным свойствам реального газа и отличие их от идеального газа;
2. регистрация опытных характеристик воздуха в процессе адиабатного дросселирования, обработка экспериментальных данных;
3. оценка значения первой константы Ван-дер-Ваальса и внутреннего давления газа;
4. составление отчета по выполненной работе.

### Вопросы для предварительной проверки готовности студентов

1. Чем отличаются реальные газы от идеального газа?

 В модели идеального газа пренебрегаются размеры молекул, т. е. молекулы рассматриваются как материальные точки. Также предполагается, что силы взаимодействия между молекулами малы (за исключением моментов столкновения). Реальные газы состоят из молекул конечного объема, связанных между собой силами взаимодействия.

1. Какой смысл имеет константа *b* в уравнении Ван-дер-Ваальса?

 Постоянная b учитывает уменьшение объема, в котором движутся молекулы реального газа за счет объема самих молекул, и является тем предельно минимальным объемом, до которого можно сжать 1 кг газа, и который примерно равен учетверенному собственному объему молекул.

1. Какая величина называется внутренним давлением газа?

 Отношение называется внутренним давлением и представляет добавочное давление, обусловленное силами взаимодействия между молекулами реальных газов.

1. Запишите уравнение Ван-дер-Ваальса для 1 кг газа.

1. Как вычисляются константы в уравнении Ван-дер-Ваальса через критические параметры?

1. Запишите уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенной форме.

Приведенные параметры:

Приведенное уравнение:

1. Как вычисляются действительные корни уравнения Ван-дер-Ваальса аналитическим методом?

 В критической точке газ характеризуется критическими параметрами которые определяются лишь свойствами газа. С алгебраической точки зрения изотерма в критической точке имеет три действительных корня, которые равны между собой. Это обстоятельство позволяет легко вычислить значения Уравнение состояния газа записывается как

Раскрывая куб разности и приравнивая коэффициенты при соответствующих степенях V, находим выражения для критических параметров:

Учтем, что в критической точке Следовательно, получаем:

Разделим третье уравнение на второе:

Из второго уравнения определяем :

Из первого уравнения находим критическую температуру :

Итак, критические параметры газа в модели Ван-дер-Ваальса зависят лишь от величин a,b и определяются формулами:

,

1. Какова размерность коэффициента Джоуля – Томсона?

  К/bar

1. Чем отличается интегральный дроссельный эффект от дифференциального?

 Дифференциальный дроссельный эффект характеризует скорость изменения температуры при адиабатном дросселировании, а интегральным дроссельным эффектом называется разность температур при адиабатном дросселировании, сопровождающимся существенным перепадом давлений.

1. В каких случаях эффект Джоуля – Томсона считается положительным?

 Если газ при дросселировании охлаждается, то и эффект Джоуля-Томсона считается положительным.

1. В каких случаях эффект Джоуля – Томсона считается отрицательным?

 Если газ при дросселировании нагревается, то и эффект Джоуля-Томсона считается отрицательным.

1. Какое состояние газа определяется точкой инверсии?

 Состояние газа, при котором называется точкой инверсии эффекта Джоуля-Томсона.

### Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.



*6*

*5*

Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
K1 – кран для регулировки давления; *5* – манометр; *6* – измеритель температуры

На передней панели расположен двухканальный измеритель температуры 6 типа 2ТРМО, к которому подключены две хромель-копелевые (ХК) термопары *T*1 и *T*2 (рис. 2), манометр *5* для измерения давления воздуха на входе в дроссель, кран K1 для регулирования давления воздуха на входе в дроссель.

Рабочий участок представляет цилиндрическую гильзу из текстолита, запрессованную в дюралевую оболочку, заполненную уплотненным войлоком, плотность которого регулируется накидной гайкой. Со стороны высокого давления помещена хромель-копелевая термопара для измерения температуры *T*1, а со стороны низкого давления – *T*2. Вывод термоэлектрических проводов к измерителю температуры 2ТРМО осуществляется через уплотнения. Гильза с войлоком теплоизолирована.

На рис. 2 приведена принципиальная схема установки.

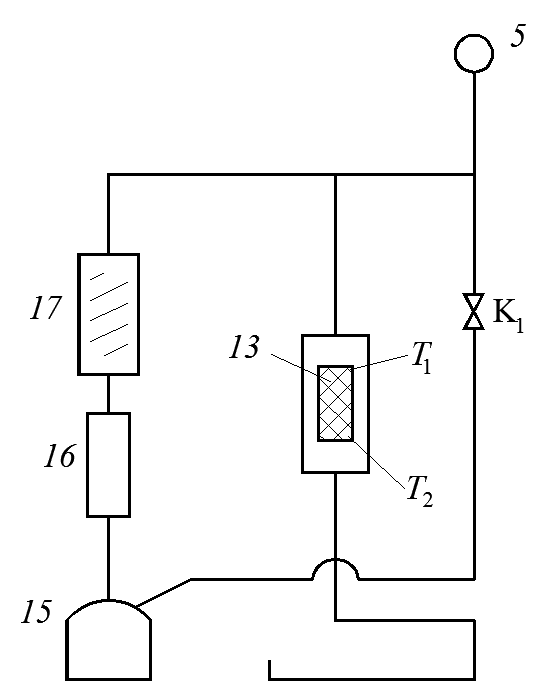


Рис. 2. Принципиальная схема установки:  
*5* – манометр; *13* – рабочий участок; *15* – компрессор;   
*16* – сепаратор; *17* – холодильник

Принцип работы установки заключается в следующем. Сжатый с помощью компрессора *15* воздух подается в дроссель через сепаратор *16* и холодильник *17*. Давление воздуха на входе в дроссель регулируется краном K1. Манометр измеряет избыточное давление Δ*p* по отношению к атмосферному , равному 1 бар (0,1 МПа). Таким образом, давление на входе в дроссель равно , а на выходе из дросселя .

### Методика проведения опыта

После ознакомления с описанием экспериментальной установки необходимо подготовить форму протокола для записи наблюдений. Проведение опытов осуществляется в такой последовательности:

1. Перед началом работы поворачивается кран регулировки давления K1 против часовой стрелки.
2. Включается установка тумблером «Сеть». Включается измеритель температуры *6*.
3. Измеряются температуры воздуха на входе *T*1 и выходе из дросселя *T*2. Если они не меняются и совпадают с погрешностью , то можно начинать опыт.
4. Включается компрессор *15* и устанавливается начальное избыточное давление на входе, равное  = 8 кгс/см2.
5. Через 2–3 мин по показаниям измерителя температуры *6* производится отсчет температур *T*1 и *T*2.
6. Повторяются измерения, описанные в пунктах 4–5, для давлений на входе 9, 10, 11 кгс/см2. Полученные данные заносятся в табл. 1.
7. Снижается давление, выключается компрессор *15*.
8. Константа Ван-дер-Ваальса для каждой серии опытов вычисляется по формуле:

,

где *R* – универсальная газовая постоянная, *R* = 8,314 [Дж](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B6%D0%BE%D1%83%D0%BB%D1%8C)⁄(моль∙К);   
 – молярная теплоемкость воздуха при температуре *T*1, определяется по табличным данным,  кДж/(кмоль∙К).

Далее находится среднее арифметическое значение поправки *a*cр и ее относительная погрешность по сравнению со справочным значением *a*т.

Для оценки погрешности используется формула:

|  |
| --- |
| ,  где *a*cр – среднее арифметическое значение поправки *a*; *a*т *–* табличное значение поправки *a*, *a*т = 0,135 Па∙м6/моль2. |

Таблица 1

Исходные опытные данные и результаты обработки

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | Δ*p*, кгс/см2 | *t*1, °С | *t*2, °С | *T*1, К | *T*2,  К | *p*1,  МПа | *p*2,  МПа | *a*, Па∙м6/моль2 |
| 1 | 8 | 26,3 | 24,2 | 299,45 | 297,35 | 0,884532 | 0,1 | 0,138643 |
| 2 | 9 | 26,4 | 24,4 | 299,55 | 297,55 | 0,982599 | 0,1 | 0,117394 |
| 3 | 10 | 26,5 | 24,0 | 299,65 | 297,15 | 1,080665 | 0,1 | 0,132126 |

### Расчет и анализ результатов

|  |
| --- |
| Вычислим среднее арифметическое значение поправки *a*cр и ее относительную погрешность по сравнению со справочным значением *a*т.  Па∙м6/моль2 |

### Вывод

|  |
| --- |
| В ходе проведенной работы экспериментальным путем было определено изменение температуры воздуха в процессе адиабатного дросселирования при перепаде давления на дросселе до 1,2 МПа, а также определено внутреннее давление газа (постоянной Ван-дер-Ваальса) на основе модели реального газа. Рассчитана константа Ван-дер-Ваальса для каждой серии опытов и ее среднее значение с относительной погрешностью 4,16%. |