**ОАО "МЕЧЕЛ"**

Утвеpждаю:

Начальник центра метрологииим

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Г. Н. Вахрушев

"\_\_\_\_\_"\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2009г.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ  
”АСУ ЭНЕРГО”.**

Метрологическое обеспечение.

Согласовано:

Ч Е Л Я Б И Н С К 2009 г.

Оглавление.

1 Введение. 3

2 Алгоритм расчета расхода среды. 3

2.1 Исходные данные. 3

2.2 Порядок расчета расхода среды. 3

2.2.1 Расчет характеристик расходомерного узла. 3

Характеристики расходомерного узла. 4

Диаметр измерительного трубопровода при рабочей температуре. 4

Диаметр сужающего устройства при рабочей температуре. 6

i. Температурные коэффициенты  и . 6

2.2.2 Расчет коэффициента поправки на закругление входной кромки СУ . 6

2.2.3 Расчет коэффициента скорости входа . 7

2.2.4 Расчет абсолютного давления среды . 7

2.2.5 Расчет абсолютной температуры среды . 8

2.2.6 Расчет приведенного давления среды  и приведенной температуры . 9

2.2.7 Расчет вязкости . 10

2.2.8 Расчет коэффициента сжимаемости . 15

2.2.9 Расчет плотности в рабочих условиях . 17

2.2.10 Расчет показателя адиабаты . 22

2.2.11 Расчет коэффициента расширения . 25

2.2.12 Расчет перепада давления на СУ . 26

2.2.13 Расчет числа Рейнольдса . 27

2.2.14 Расчет коэффициента истечения . 33

2.2.15 Расчет поправочного коэффициента на шероховатость . 33

2.2.16 Расчет расхода среды. 34

3 ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 35

# Введение.

Система АСУ «ЭНЕРГО» производит расчет энергоносителей, приведенный к нормальным условиям. Для метрологической аттестации системы для конкретного технологического объекта необходим набор метрологических таблиц. Для создания этих таблиц предлагается доработка существующих интерфейсов системы и разработка необходимых программ.

# Алгоритм расчета расхода среды.

Ниже приведенный алгоритм составлен согласно [1 c19 приложение В].

## Исходные данные.

Исходными данными для расчета являются:

* перепад давления на СУ  или текущий расход , максимальный перепад на диафрагме , максимальный расход , минимальный расход  (см паспорт расходомерного узла),
* давление среды абсолютное (или избыточное ),
* температура ,
* тип измеряемой среды (обобщенно - вода, газ или пар см. формулу 2.12.1.2 [11]),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды),
* диаметр ИТ при 20 град. С ,
* материал ИТ (марка стали),
* шероховатость ИТ ,
* диаметр СУ при 20 град. С ,
* материал СУ (марка стали),
* начальный радиус закругления входной кромки  (для диафрагм),
* время эксплуатации расходомерного узла (лучше дата ввода в эксплуатацию расходомерного узла) , лет,
* метод отбора перепада давления на СУ (угловой, трехрадиусный или фланцевый).

## Порядок расчета расхода среды.

### Расчет характеристик расходомерного узла.

Исходные данные для расчета:

* температура  (считаем, что температура среды равна температуре ИТ и СУ),
* Т при 20 град. С диаметр И,
* материал ИТ (марка стали),
* диаметр СУ при 20 град. С ,
* материал СУ (марка стали).

Порядок расчета (соответствует действующему):

* расчитываем действительный диаметр ИТ  (см. п. 2.4.1 [11]),
* расчитываем действительный диаметр СУ  (см. п. 2.4.2 [11]) (при расчетах использовать  в градусах Цельсия !!!!),
* расчитываем действительный относительный диаметр СУ  (см. п. 2.4.4 [11]).

## Характеристики расходомерного узла.

### Диаметр измерительного трубопровода при рабочей температуре.

Диаметр ИТ D, мм, при рабочей температуре согласно [1 с25] определяется по формуле

 (2.4.1.1 [11])

где  – диаметр трубопровода при 20 градусах, мм

 (2.4.1.2 [11])

 - температурный коэффициент расширения материала измерительного трубопровода, 1/град.

Таблица 4. [11]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка стали | Значения постоянных коэффициентов | | | Гранцы области применения формулы | |
| A0 | А1 | А2 |  |  |
| 35П | 10,260 | 14,000 | 0 | -40 | 700 |
| 145П | 10,600 | 0 | 0 | -40 | 100 |
| 20ХМЛ | 9,830 | 18,812 | -14,191 | -40 | 600 |
| 12Х18Н9ТЛ | 16,466 | 5,360 | 3,000 | -40 | 700 |
| 15К 20К | 10,800 | 10,000 | 0 | -40 | 600 |
| 22К | 9,142 | 34,340 | -43,526 | -40 | 400 |
| 16ГС | 9,903 | 20,561 | -15,675 | -40 | 600 |
| 09Г2С | 10,680 | 12,000 | 0 | -40 | 500 |
| 10 | 10,800 | 9,000 | -4,200 | -200 | 700 |
| 15 | 11,100 | 7,900 | -3,900 | -200 | 700 |
| 20 | 11,100 | 7,700 | -3,400 | -200 | 700 |
| 30, 35 | 10,200 | 10,400 | -5,600 | -200 | 700 |
| 40,45 | 10,821 | 17,872 | -10,986 | -40 | 700 |
| 10Г2 | 9,940 | 22,667 | 0 | -40 | 400 |
| 38ХА | 12,345 | 5,433 | 5,360 | -40 | 600 |
| 40Х | 10,819 | 15,487 | -9,280 | -40 | 700 |
| 15ХМ | 11,448 | 12,638 | -7,137 | -20 | 700 |
| 30ХМ,30ХМА | 10,720 | 14,667 | 0 | -200 | 500 |
| 12Х1МФ | 10,000 | 9,600 | -6,000 | -200 | 700 |
| 25Х1МФ | 10,235 | 18,640 | -13,000 | -40 | 600 |
| 15Х5М | 10,100 | 2,700 | 0 | -200 | 700 |
| 18Х2Н4МА | 11,065 | 11,224 | -5,381 | -40 | 600 |
| 38ХН3МФА | 11,446 | 9,574 | -4,945 | -40 | 700 |
| 08Х13 | 9,971 | 9,095 | -4,115 | -40 | 800 |
| 12Х13 | 9,557 | 11,067 | -5,000 | -40 | 800 |
| 20Х13 | 9,520 | 11,333 | 0 | -40 | 600 |
| 30Х13 | 9,642 | 9,600 | -4,472 | -40 | 800 |
| 10Х14Г14Н4Т | 15,220 | 13,000 | 0 | -40 | 900 |
| 08Х18Н10 | 15,325 | 11,250 | 0 | -40 | 500 |
| 12Х18Н9Т | 15,600 | 8,300 | -6,500 | -200 | 700 |
| 12Х18Н10Т 12Х18Н12Т | 16,206 | 6,571 | 0 | -40 | 900 |
| 08Х18Н10Т | 15,470 | 10,500 | 0 | -40 | 700 |
| 08Х22Н6Т | 6,400 | 60,000 | 0 | -40 | 300 |
| 37Х12Н8Г8МБФ | 15,800 | 0 | 0 | -40 | 100 |
| 31Х19Н9МВБТ | 16,216 | 6,400 | 0 | -40 | 1000 |
| 06ХН28МДТ | 9,153 | 30,944 | -26,478 | -40 | 600 |
| 20Л | 11,660 | 9,000 | 0 | -40 | 700 |
| 25Л | 10,750 | 12,500 | 0 | -40 | 500 |

### Диаметр сужающего устройства при рабочей температуре.

Диаметр СУ d, мм, при рабочей температуре согласно [1 с25] определяется по формуле

 (2.4.2.1 [11])

где d20 – диаметр СУ при 20 градусах, мм

 (2.4.2.2 [11])

где - температурный коэффициент расширения материала СУ, 1/град

### Температурные коэффициенты и .

Температурные коэффициенты определяются из уравнений:

 (2.4.3.1 [11])

 (2.4.3.2 [11])

где , ,  – коэффициенты из таблицы 4 для материала ИТ и СУ соответственно.

Относительный диаметр отверстия СУ.

Относительный диаметр отверстия СУ  при рабочей температуре согласно [1 c3] определяется по формуле

 (2.4.4.1 [11])

### Расчет коэффициента поправки на закругление входной кромки СУ .

Исходные данные для расчета:

* начальный радиус закругления входной кромки  (для диафрагм),
* время эксплуатации расходомерного узла (лучше дата ввода в эксплуатацию расходомерного узла) , лет,
* тип измеряемой среды (вода, газ или пар см. формулу 2.12.1.2 [11]).

(Порядок расчета (см. п. 2.12.1 [11]) изменен!!!):

* Расчитываем радиус закругления входной кромки диафрагмы    
  (см. формулу 2.12.1.2 [11]).
* Расчитываем коэффициент поправки на входную кромку   
  (см. формулу 2.12.1.1 [11]).

Поправочный коэффициент на притупление входной кромки.

Первый вариант расчета.

Поправочный коэффициент, учитывающий притупление входной кромки диафрагмырасчитывается согласно формул, приведенных в [2 c12].

Если радиус закругления входной кромки диафрагмы  не превышает , то поправочный коэффициент  принимают равным 1. В противном случае поправочный коэффициент рассчитывается по формуле [2 c12]:

 (2.12.1.1 [11])

где  (2.12.1.2 [11])

 - параметр, учитывающий тип измеряемой среды, который принимают равным  для жидкости,  для газа и  для пара;

 - начальный радиус закругления входной кромки;

 - текущее время эксплуатации диафрагмы с момента определения значения начального радиуса входной кромки кромки диафрагмы , год.

### Расчет коэффициента скорости входа .

Исходные данные для расчета:

* действительный относительный диаметр СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1).

Расчет производим согласно п.2.4.6 [11] (соответствует действующему).

Коэффициент скорости входа.

Коэффициент скорости входа E для всех сред [1 с.4]

(2.4.6.1 [11])

### Расчет абсолютного давления среды .

Исходные данные для расчета:

* давление среды абсолютное (или избыточное ),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет производим согласно п. 2.2. [11] (соответствует действующему) и результат расчета должны получить в МПа!

Вычисление абсолютного и избыточного давления.

Давление в трубопроводе измеряется датчиками избыточного или абсолютного давления в различных единицах измерения. В расчетах всегда используют абсолютное давление в мегапаскалях. В связи с этим производят ряд вычислений для выполнения этих требований.

Измерение датчиком избыточного давления.

 (2.2.1.1 [11])

 (2.2.1.2 [11])

Где  - абсолютное давление,

- избыточное давление,

 – показания датчика,

 - показания датчика атмосферного давления,

=1, если датчик  проградуирован в МПа,

, если датчик проградуирован в кгс/см2,

 если датчик проградуирован в мм ртутного столба,

 если датчик проградуирован в мм водяного столба,

 если датчик проградуирован в Па,

 если датчик проградуирован в бар,

 если датчик проградуирован в атмосферах.

Измерение датчиком абсолютного давления.

 (2.2.1.3 [11])

Где ,, см. ф.2.2.1.2. [11]

### Расчет абсолютной температуры среды .

Исходные данные для расчета:

* температура .

Расчет производим согласно п.2.3 [3] (соответствует действующему).

Абсолютная температура.

Абсолютная температура , градусов Кельвина, рассчитывается по формуле

 (2.3.1.1 [11])

Где – температура в градусах Цельсия.

### Расчет приведенного давления среды и приведенной температуры .

Исходные данные для расчета:

* давление среды абсолютное (результат расчета п.3.2.4),
* температура среды абсолютная (результат расчета п. 3.2.5),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет производим согласно п. 2.5 [11] (соответствует действующему) для конкретного типа измеряемой среды соответственно.

Термодинамические характеристики среды.

**Вода, перегретый и насыщенный пар.**

Приведенное абсолютное давление.

Приведенное абсолютное давление определяется по формуле

 (2.5.1.1 [11])

Приведенная абсолютная температура.

Приведенная абсолютная температура определяется по формуле

 (2.5.1.2 [11])

**Природный газ.**

Псевдокритическое давление.

Псевдокритическое давление, МПа, определяется по формуле

 (2.5.2.1 [11])

Где  - плотность газа при нормальных условиях, кг/м3

 - молярная концентрация углекислого газа, долей единиц

- молярная концентрация азота, долей единиц.



Псевдокритическая температура.

Псевдокритическая температура, градусов К, определяется по формуле

 (2.5.2.2 [11])

Приведенная температура и давление.

Приведенная температура и давление определяются по формуле

 (2.5.2.3 [11])

Где  - абслоютное давление среды,

- псевдокритическое давление (см. п 2.5.2.1 [11]).

 (2.5.2.4 [11])

Где  - абслоютная температура среды,

- псевдокритическое температура (см. п 2.5.2.2 [11])

**Азот, аргон, кислород, воздух.**

Приведенное давление согласно [7] определяется по формуле

 (2.5.3.1 [11])

Где  - абсолютное давление среды

 - критическое давление среды

Приведенная температура согласно [7] определяется по формуле

 (2.5.3.2 [11])

Где  - абсолютная температура среды

 - критическая температура среды

Значения критических параметров чистых газов приведены   
в таблице 5. [11]

Таблица 5. [11]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Газ | Критическое давление, МПа | Кнритическая температура, К | Критическая плотность, кг/м2 | Критический коэффициент сжимаемости |
| Азот | 3,4 | 126,2 | 313,1 | 0,2899 |
| Аргон | 4,8979 | 150,86 | 535,705 | 0,2912 |
| Кислород | 5,043 | 154,58 | 436,2 | 0,2878 |
| Воздух | 3,766 | 132,5 | 316,5 | 0,3128 |

### Расчет вязкости .

Исходные данные для расчета:

* давление,
* температура ,
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет вязкости  (см раздел 2.6 [11]) (соответствует действующему).

Динамическая вязкость.

**Динамическая вязкость воды.**

Динамическая вязкость воды определяется аппроксимацией данных таблицы 3 ГСССД 6-89 в функции температуры и давления по формуле

 (2.6.1.1 [11])

Где  - абсолютное давление (см. п.2.2 [3])

- температура, градусов Цельсия.

Значения коэффициентов А0 – А3 аппроксимации сведены в таблицу 6. [11]

Таблица 6. [11]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон температуры градусов С | Коэффициенты аппроксимации | | | |
| А0 | А1 | А2 | А3 |
| 0.1<Pa<=0.5Мпа | | | | |
| 0…25  25…50  50…75  75…100  100…150  150…200 | 1793.25  1234.075  855.225  1676.8125  -109.613  -160.358 | -36.109  -13.742  -6.765  -17.3195  0.54475  0.88305 | -2.5  -0.75  -0.25  -2020.225  1180.63  1685.38 | 0.09  0.02  0.01  26.943  -5.066  -8.431 |
| 0.5<Pa<=1.0Мпа | | | | |
| 0…25  25…50  50…75  75…100  100…150  150…200 | 1793.0  1234.0  855.6  665.7  480.3  480.3 | -36.10  -13.74  -6.772  -3.84  -1.986  1.986 | -2.0  -0.6  -1.0  2.0  0.8  0.8 | 0.072  0.016  0.024  -0.016  -0.004  -0.004 |
| 1.0<Pa<=2.5Мпа | | | | |
| 0…25  25…50  50…75  75…100  100…150  150…200 | 1793.7  1234.1  854.8  666.9  480.8  919.1 | -36.124  -13.743  -6.756  -3.851  -1.99  -4.912 | -2.667  -0.733  -0.2  0.8  0.267  -263.353 | 0.096  0.0187  0.008  -0.0053  0.0  1.5775 |
| 2.5<Pa<=5.0Мпа | | | | |
| 0…25  25…50  50…75  75…100  100…150  150…200 | 1793.0  1233.7  883.1  670.7  481.1  327.2 | -36.104  -13.732  -6.72  -3.888  -1.992  -0.966 | -2.4  -0.56  0.48  -0.72  0.16  0.4 | 0.088  0.0144  -0.0064  0.0096  0.0008  -0.0008 |

**Динамическая вязкость пара сухого перегретого и насыщенного.**

Динамическая вязкость любого вида пара определяется в соответствии с [10] по формуле

 (2.6.2.1 [11])

Где - приведенная температура (см. формулу 2.5.1.2 [11])

- приведенное давление (см. формулу 2.5.1.1 [11])

**Природный газ.**

Расчет динамической вязкости (мкПа\*с [1 c12]) при р < 0,5 Мпа

 (2.6.3.1 [11])

Где – плотность при стандартных условиях

 – температура газа абсолютная см. формулу 2.3.1.1

- молярная доля компонентов в газовой смеси

Расчет динамической вязкости при 0,5 < р < 12 Мпа

 (2.6.3.2 [11])

Где  - см. формулу 2.6.3. [3]

 - поправочный коэффициент см. формулу 2.6.3.3 [11]

 (2.6.3.3 [11])

Где - приведенная температура см. формулу 2.5.1.2 [3]

- приведенное давление см. формулу 2.5.1.1 [3]

**Аргон, азот, кислород, воздух.**

Расчет динамической вязкости производится согласно [7] по формуле

 (2.6.4.1 [11])

где , (2.6.4.2 [11])

для азота *Δiμ* = -4, *Nμ*= 2,

для аргона *Δiμ* = -1, *Nμ*= 1,

для кислорода *Δiμ* = -4, *Nμ*= 2,

для воздуха *Δiμ* = -1, *Nμ*= 1

Значения коэффициентов *аμi* приведены в [7]

 (2.6.4.3 [11])

где для азота *Δ’’iμ* = 0, *Δjμ*= -1,

для аргона *Δ’’iμ* = 0, *Δjμ*= -2,

для кислорода *Δ’’iμ* = 0, *Δjμ*= -2,

для воздуха *Δ’’iμ* = 0, *Δjμ*= -2.

Значения коэффициентов *qij* приведены в таблице 7 [7].

Таблица 7. [11]

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Азот |  |  |  |  |  |  |
|  | *I* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | -2.468300E+01 | 3.091800E+02 | -5.310790E+02 | 2.935090E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | 0.000000E+00 | 3.644020E+02 | -3.872930E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | 9.776770E+01 | -7.522430E+02 | 1.064330E+03 | -2.769170E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | 0.000000E+00 | 2.432570E+02 | -4.168360E+02 | 9.433880E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | -9.972320E+00 | 0.000000E+00 | 3.138750E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Аргон |  |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 4.739587E+01 | 3.323888E+01 | -2.185887E+01 | -5.426919E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | 1.299229E+02 | -2.580038E+01 | -2.051297E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | -1.585039E+02 | 2.366549E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | 1.470009E+02 | -2.280069E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | -3.618617E+01 | 6.611337E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Кислород | |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 6.464877E+01 | 0.000000E+00 | -3.811928E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | 0.000000E+00 | 1.190839E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | 2.918977E+02 | -6.130107E+02 | 2.665476E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | -2.694236E+02 | 6.432500E+02 | -3.318987E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | 4.797377E+01 | -1.325039E+02 | 7.983568E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Воздух | |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 3.476628E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | 3.821307E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | 1.749329E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | -6.352986E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | 1.099739E+03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | -1.016989E+03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | 5.209927E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | -1.390129E+02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 1.511329E+01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |

### Расчет коэффициента сжимаемости .

Исходные данные для расчета:

* давление приведенное  (см. п. 3.2.6),
* давление абсолютное  (см. п. 3.2.4),
* температура приведенная  (см. п. 3.2.7),
* температура абсолютная  (см. п. 3.2.5),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет коэффициента сжимаемости  (см раздел 2.7 [11]) (соответствует действующему).

Коэффициент сжимаемости.

**Газ природный.**

Фактор сжимаемости.

Расчет фактора сжимаемости по методу NX19 производится по формуле

 (2.7.1.1 [11])

Где  (2.7.1.2 [11])

 (2.7.1.3 [11])

 (2.7.1.4 [11])

 см. формулу 2.7.11

 см. формулу 2.7.12

Где  (2.7.1.5 [11])

 (2.7.1.6 [11])

F - корректирующий множитель см. формулы 2.7.1.7 - 2.7.1.9. [11]

Расчет корректирующего множителя при    (2.7.1.7 [11])

Расчет корректирующего множителя при  

 (2.7.1.8 [11])

Расчет корректирующего множителя при  

 (2.7.1.9 [11])

Где  (2.7.1.10 [11])

 (2.7.1.11 [11])

 (2.7.1.12 [11])

Где  - давление абсолютное (см.п.2.2 [3])

 - давление псевдокритическое (см. формулу 2.5.3 [11])

 - температура абсолютная (см. формулу 2.3.1 [11])

 - температура псевдокритическая (см. формулу 2.5.4 [11])

Расчет фактора сжимаемости при стандартных условиях

 (2.7.1.13 [11])

Где - плотность при стандартных условиях

 - молярная доля азота и углекислого газа в смеси соответственно.

Коэффициент сжимаемости определяют по формуле

 (2.7.1.14 [11])

Где - фактор сжимаемости

- фактор сжимаемости при стандартных условиях

**Азот, аргон, кислород, воздух.**

Коэффициент сжимаемости для азота, аргона, воздуха, кислорода рассчитывается согласно [7].

 (2.7.2.1 [11])

Где  - плотность в нормальных условиях указана в таблице 8 [11],

 - давление абсолютное (см. п 2.2 [11]),

 - давление приведенное (см. п 2.5.1.1 [11]),

 - температура абсолютная (см. п 2.3 [11])

Таблица 8. [11]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Плотность в нормальных условиях (при Tn=293,15 K , Pn=0,101325 Мпа) | | |
| Азот | 1,889000 | кг/м3 |
| Аргон | 1,662000 | кг/м3 |
| Кислород | 1,331160 | кг/м3 |
| Воздух | 1,204450 | кг/м3 |

### Расчет плотности в рабочих условиях .

Исходные данные для расчета:

* давление приведенное  (см. п. 3.2.6),
* давление абсолютное  (см. п. 3.2.4),
* температура приведенная  (см. п. 3.2.7),
* температура абсолютная  (см. п. 3.2.5),
* коэффициент сжимаемости  (см. п. 3.2.5),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет коэффициента сжимаемости  (см раздел 2.8 [11]) (соответствует действующему).

Плотность в рабочих условиях.

**Вода.**

Плотность воды в рабочих условиях , кг/м3 , определяется в соответствии с [9] по формуле:

 (2.8.1.1 [11])

Где  - приведенная температура см. формулу 2.5.1.2. [11]

**Пар сухой перегретый.**

Плотность сухого перегретого пара , кг/м3 , определяется в соответствии по формуле [10]:

 (2.8.2.1 [11])

Где - привденное давление (см. Формулу 2.5.1.1 [11])

- приведенная температура (см. Формулу 2.5.1.2 [11])

– коэффициент сжимаемости перегретого пара, вычисляемый по формуле

 (2.8.2.2 [11])

**Пар сухой насыщенный.**

Плотность сухого насыщенного пара , кг/м3, определяется в соответствии с 10 по формуле

 (2.8.3.1 [11])

Где  (2.8.3.2 [11])

Где – приведенная температура (см. Формулу 2.5.1.2 [11])



**Газ природный.**

Плотность газа природного , кг/м3 , при рабочих условиях определяется по формуле

 (2.8.4.1 [11])

Где - плотность при стандартных условиях

- температура при стандартных условиях

- давление при стандартных условиях

- давление среды абсолютное (см. п. 2.2 [3])

- температура среды абсолютная (см. формулу 2.3.1.1 [3])

- коэффициент сжимаемости (см. формулу 2.10.14 [3])

**Азот, аргон, кислород, воздух.**

Плотность азота, аргона, кислорода и воздуха.

Плотность газов определяется из уравнения состояния следующего вида согласно [7]

, (2.8.5.1 [11])

Где  - приведенное давление,

 - приведенная плотность,

 - коэффициент, значение коэффициентов  приведено в таблице 10. [11]

Приведенная плотность Азота, аргона, кислорода и воздуха.

Приведенная плотность согласно [7] определяется по формуле

 (2.8.5.2 [11])

Где  - приведенная плотность

 - плотность среды

 - критическая плотность

Решение уравнения состояния (2.8.7 [11]) проводят итерационным методом методом бисекции. Начальные приближения для поиска корня уравнения (2.8.7 [11]) методом бисекции приведены в таблице 9 [11].

Таблица 9. [11]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Газ |  |  |
| Азот | 3,22 | 0,00001 |
| Аргон | 2,70 | 0,00001 |
| Кислород | 3,25 | 0,00001 |
| Воздух | 3,09 | 0,00001 |

Метод бисекции реализуется по формуле

 (2.8.5.3 [11])

На каждом шаге итерации проверяется условие

 (2.8.5.4 [11])

Если условие выполняется, то для следующего шага итерации принимают , в противном случае принимают 

Условие окончания итераций

 (2.8.5.5 [11])

Итерационная формула Ньютона имеет вид

 (2.8.5.6 [11])

Где - коэффициент, значение коэффициентов  приведено   
в таблице 10. [11]

- коэффициент, значение коэффициентов  приведено в таблице 11. [11]

Таблица 10. [11]

|  |  |
| --- | --- |
| Газ | Коэффициент ,Дж/кг К |
| Азот | 296,800 |
| Аргон | 208,130 |
| Кислород | 259,835 |
| Воздух | 287,100 |

Таблица 11. Значение коэффициентов . [11]

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Азот | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 3.975526E-01 | 1.855514E-01 | -2.011402E-01 | 4.390253E-01 | -2.895013E-01 | 2.412197E-02 | 1.978643E-02 | 5.228906E-02 | 5.215002E-03 | 7.925797E-04 |
| 2 | -2.705628E-01 | 1.251586E-01 | 2.126380E-01 | -2.435610E-02 | 6.526003E-02 | 4.203559E-01 | -2.167127E-01 | 7.813518E-03 | 1.394557E-02 | -2.349710E-03 |
| 3 | -2.956163E+00 | 5.964582E-01 | -8.113148E-01 | -1.179467E+00 | -1.179467E+00 | 3.041304E-01 | -1.345965E-02 | 1.870709E-04 | 1.889096E-03 | -2.509582E-04 |
| 4 | 3.066081E+00 | 1.284639E+00 | -1.120779E+00 | -4.640865E-01 | -4.640865E-01 | 9.062116E-02 | 6.390886E-02 | -4.644895E-02 | 3.741580E-03 | 4.146276E-04 |
| 5 | -1.877000E+00 | -2.557264E+00 | 3.545519E-01 | -1.429483E-01 | -1.429483E-01 | 1.011631E-01 | 1.649284E-02 | -2.800780E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | 7.416446E-01 | 2.063303E+00 | 4.458802E-01 | -6.222610E-02 | -6.222610E-02 | -1.738903E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | -3.944179E-01 | -8.252342E-01 | 1.533152E-01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | 1.301370E-01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Аргон | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 4.490500E-01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 5.119712E-01 | -8.821397E-01 | 7.318449E-01 | -3.142430E-01 | 5.603963E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | -1.175555E+00 | 1.377079E+00 | -1.572446E+00 | 1.632562E+00 | -1.077765E+00 | 4.042607E-01 | 0.000000E+00 | -3.480020E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | 0.000000E+00 | -2.829279E+00 | 1.460255E+00 | -4.060175E-01 | 0.000000E+00 | -8.808195E-02 | 7.958478E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | -6.016872E-01 | 3.043363E+00 | -1.089789E+00 | 0.000000E+00 | 4.676451E-02 | -6.116359E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | 1.830645E-01 | -1.095771E+00 | 5.440868E-01 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Кислород | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 5.003616E-01 | 1.280217E-01 | -1.913846E-01 | 5.240760E-01 | -3.962116E-01 | 1.067042E-01 | 4.463061E-03 | -4.612808E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | -1.101003E+00 | 1.920127E-01 | 2.632636E-01 | -7.494169E-01 | 5.797930E-01 | -5.225285E-02 | -7.658060E-02 | 2.105995E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | -6.223903E-01 | -3.183172E-01 | -1.683686E-01 | 4.697109E-01 | -3.705044E-01 | 7.333023E-02 | 3.643325E-02 | -1.560455E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | 1.675656E-01 | 8.324700E-01 | -4.604221E-01 | 5.554044E-02 | -1.481088E-01 | 9.576734E-02 | -5.490344E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | -6.652177E-02 | -2.974850E-01 | 3.828505E-01 | 5.593279E-02 | -1.711550E-01 | 3.030303E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | -2.169624E-02 | -1.625295E-01 | 2.180327E-01 | -4.078490E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | -9.781135E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Воздух | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | *i* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *j* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 3.668120E-01 | 1.409790E-01 | -7.902020E-02 | 3.132470E-01 | -4.449780E-01 | 2.857800E-01 | -6.365880E-02 | 1.163750E-04 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 2 | -2.527120E-01 | -7.243370E-02 | -2.134270E-01 | 8.857140E-01 | -7.345440E-01 | 2.584130E-01 | -1.058110E-01 | 3.619000E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 3 | -2.849860E+00 | 7.808030E-01 | -1.251670E+00 | 6.345850E-01 | 1.995220E-02 | 7.497900E-02 | -3.451720E-02 | -1.950950E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 4 | 3.601790E+00 | -1.435120E-01 | -1.649700E-01 | -1.629120E-01 | -1.760070E-01 | 8.594870E-02 | 4.298170E-02 | -3.795830E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 5 | -3.186650E+00 | 6.331340E-01 | 6.848220E-01 | -2.179730E-01 | -9.984550E-02 | -8.840710E-04 | 6.313850E-03 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 6 | 1.540290E+00 | -8.910120E-01 | 2.211850E-01 | 9.252510E-02 | -6.209650E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 7 | -2.609530E-01 | 5.825310E-02 | 6.340560E-02 | 8.938630E-04 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 8 | -3.910730E-02 | 1.729080E-02 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 9 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |
| 10 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 | 0.000000E+00 |

### Расчет показателя адиабаты .

Исходные данные для расчета:

* давление приведенное  (см. п. 3.2.6),
* давление абсолютное  (см. п. 3.2.4),
* температура приведенная  (см. п. 3.2.7),
* температура абсолютная  (см. п. 3.2.5),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет показателя адиабаты  (см раздел 2.9 [11]) (соответствует действующему).

Показатель адиабаты.

**Пар сухой перегретый и насыщенный.**

Показатель адиабаты для любого вида пара рассчитывается по формуле, разработанной ВНИИЦ СМВ ГСССД Госстандарта России

 (2.9.1.1 [11])

Где - приведенная температура (см. формулу 2.5.1.2 [3])



**Газ природный.**

Показатель адиабаты для природного газа согласно [ 4 с.11 ] рассчитывается по формуле:

 (2.9.2.1 [11])

Где  – плотность при стандартных условиях,

 – абсолютное давление, МПа (см. п. 2.2 [11]),

 – молярная доля азота в газовой смеси.

**Азот, аргон, кислород, воздух.**

Показатель адиабаты для азота, аргона, кислорода и воздуха рассчитывается согласно [7] по формуле

, (2.9.3.1 [11])

где

 (2.9.3.2 [11])

 (2.9.3.3 [11])

 (2.9.3.4 [11])

 (2.9.3.5 [11])

 (2.9.3.6 [11])

для азота *Δiα* =-7,

для аргона *Δiα* =-1,

для кислорода *Δiα* =-5,

для воздуха *Δiα* =-7.

Значения коэффициентов *αi* приведены в таблице 12. [11]

Таблица 12. [11]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Кэффициент | Значение коэффициента для расчета *αi* | | | |
| Азот | Аргон | Кислород | Воздух |
| 1  2  3  4 | 4,22296е-01  -3,421122  1,16418е+01  -2,17731е+01 | 2.5  0  0  0 | -4,677496е-02  4,438072е-01  -1,754985  3,793554 | 1,257179е-02  -2.337579е-01  1.339808  -3,728648 |
| 5  6  7  8 | 2,46205е+01  -1,71654е+01  1,13129е+01  -2,1596 | 0  0  0  0 | -1,437798  4,03804  -2,105577  7,024159е-01 | 5,851708  -5,491689  6,617378  -1,058848 |
| 9  10  11  12 | 3,52761е-01  3,21705е-02  1,6769е-03  -4,67965е-05 | 0  0  0  0 | -1,511074е-01  2,166922е-02  -2,101182е-03  1,363906е-04 | 2,016498е-01  -1,969299е-02  1, 64599е-03  -3,032837е-05 |
| 13  14  15  16 | 5,42603е-07  0  0  0 | 0  0  0  0 | -5,683852е-06  1,375421е-07  -1,469623е-09  0 | 3,558609е-07  0  0  0 |

### Расчет коэффициента расширения .

Исходные данные для расчета:

* давление приведенное  (см. п. 3.2.6),
* давление абсолютное  (см. п. 3.2.4),
* температура приведенная  (см. п. 3.2.7),
* температура абсолютная  (см. п. 3.2.5),
* тип измеряемой среды (конкретно вода, газ природный, газ аргон, пар перегретый и т.д. для определения физических свойств среды).

Расчет коэффициент расширения  (см раздел 2.10 [11]) (соответствует действующему).

Коэффициент расширения.

**Вода.**

Коэффициент расширения для воды равен 1.

**Пар и газ.**

Для пара и газа (любого) коэффициент расширения определяется согласно [ 2 с.10] по формуле:

 (2.10.2.1 [11])

Где  – показатель адиабаты среды,

 – давление среды абсолютное,

 - перепад давления на диафрагме.

Формула 2.10.2.1 [3] применима при условии:

*  (2.10.2.2 [11])
* Для диаграмм с угловым и трехрадиусным отбора давления имеют место следующие ограничения [2 c.9]:  
    
   м (2.10.2.3 [11])  
    
  м (2.10.2.4 [11])  
    
   (2.10.2.5 [11])  
    
   при  (2.10.2.6 [11])  
    
   при  (2.10.2.7 [11])
* Для диаграмм с фланцевым способом отбора давления имеют место следующие ограничения:  
    
   (2.10.2.8 [11])  
    
   (2.10.2.9 [11])  
    
   (2.10.2.10 [11])  
    
   и  (2.10.2.11 [11])

### Расчет перепада давления на СУ .

Если в систему приходит рабочий расход, то необходимо произвести расчет перепада давления на СУ.

Исходные данные для расчета:

* перепад давления на СУ  или текущий расход ,максимальный перепад на диафрагме , максимальный расход , минимальный расход  (см паспорт расходомерного узла).

Расчет (соответствует действующему) произвести по формуле



Где  - максимальный перепад давления на диафрагме (см паспорт расходомерного узла), =0.

 - показания прибора в единицах расхода,

и- шкала прибора

Формула преобразования при получении рабочего расхода

, здесь ток прямо пропорционален перепаду давления и есть соответствие = =.

### Расчет числа Рейнольдса .

Расчет числа Рейнольдса производится итерационным методом согласно [1 с19] (порядок расчета изменен!!!).

#### Расчет коэффициента истечения при .

Исходные данные для расчета:

* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1),
* метод отбора перепада давления на СУ (угловой, трехрадиусный или фланцевый).

Расчет коэффициента истичения  (см. п.2.4.5 формулу 2.4.5.2 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

 (2.4.5.2)[2c.10]

Где - относительный диаметр отверстия СУ





 при 



0 при 

Значения  и  принимают

 - для углового способа отбора давления

  - для трехрадиусного способа отбора давления

 - для фланцевого способа отбора давления

#### Расчет поправочного коэффициента на шероховатость ИТ при .

Исходные данные для расчета:

* диаметр ИТ (см. результат расчета п. 3.2.1),
* диаметр СУ  (см. результат расчета п. 3.2.1),
* шероховатость ИТ ,
* число Рейнольдса ,
* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1).

Расчет поправочного коэффициента на шероховатость ИТ  (см. п. 2.11 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

Коэффициент поправки на шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода рассчитывается согласно [2 с10].

Расчет значения .

Рассчитываем значение по формулам

 при  (2.11.1.1 [11])

  при  и  (2.11.1.2 [11])

 при  и  (2.11.1.3 [11])

Где    - коэффициенты, зависящие от числа , рассчитывают по формуле

 (2.11.1.4 [11])

Где  - постоянные коэффициенты, значения которых приведены в таблице 14.

Если в результате расчета полученное значение , то принимают .

Значение -  округляют до двух значащих цифр.

Рассчитываем значение  по формулам

 при  (2.11.2.1 [11])



 при  (2.11.2.2 [11])

Если в результате выполненного расчета получено значение  или , то принимают . Значение  округляют до трех цифр после запятой.

Значение среднеарифметического отклонения профиля шероховатости  выбирают из таблицы 13 согласно [1 c.27].

Таблица 13. [11]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид труб и материал | Состояние поверхности стенки ИТ и условия эксплуатации | Значение | | |
| м | М |  |
| Цельнотянутые трубы из латуни, меди,алюминия, пластмассы | Технически гладкая без отложений | 0,03 | 0,01 | 100 |
| стеклянные | Чистая | 0,01 | 0,003 | 100 |
| Трубы из нержавеющей стали | Новая | 0,03 | 0,01 | 100 |
| Цельнотянутые стальные: | |  |  |  |
| холоднотянутые | Новая | 0,03 | 0,01 | 100 |
| горячетянутые | 0,10 | 0,03 | 100 |
| Прокатные | 0,10 | 0,03 | 100 |
| Цельносварные сталные | |  |  |  |
| Прямошовные | Новая | 0,10 | 0,03 | 100 |
| со спиральным швом | 0,10 | 0,03 | 100 |
| Стальные трубы | С незначительным налетом ржавчины | 0,15 | 0,045 | 33 |
| Ржавая | 0,25 | 0,08 | 20 |
| Покрытая накипью | 1,25 | 0,375 | 60 |
| Сильно покрытая накипью | 2 | 0,6 | 100 |
| Битуминизированная, новая | 0,04 | 0,0125 | 20 |
| Битуминизированная, бывшая в эксплуатации | 0,15 | 0,045 | 33 |
| Оцинкованная | 0,13 | 0,04 | 100 |
| Чугун | Новая, не бывшая в эксплуатации | 0,25 | 0,08 | 100 |
| Ржавая | 1,25 | 0,4 | 25 |
| Покрытая накипью | 1,5 | 0,5 | 100 |
| Битуминизированная, новая | 0,04 | 0,0125 | 20 |
| Асбестоцемент | Покрытая и непокрытая, новая | 0,03 | 0,01 | 100 |
| Непокрытая, бывшая в эксплуатации | 0,05 | 0,015 | 100 |

Если значение среднеарифметического отклонения профиля шероховатости  не более  и не менее , то поправочный коэффициент принимают равным 1. В противном случае производят расчет поправочного коэффициента по формуле:

 (2.11.3.1 [11])

Где и - коэффициенты трения, рассчитанные при действительном числе  и значениях эквивалентной шероховатости измерительного трубопровода, равных ее действительному значению Rш и условному Rш \* соответственно. Значение  и  рассчитывается по формуле



 (2.11.3.2 [11])

Где , ,  - величины, значения которых рассчитывают в соответствии с таблицей 15.

Таблица 14. [11]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Кэффициент | Значение коэффициента для расчета | | |
| А0 | А1 | А2 |
| При условии 10^4<Re<=10^5 | | | |
| B0  B1  B2  B3 | 8,87  -3,7114  0,41841  0 | 6,7307  -5.5844  0.732485  0 | -10.244  5,7094  0,76477  0 |
| При условии 10^5<Re<=3\*10^6 | | | |
| B0  B1  B2  B3 | 27,23  -11,458  1,6117  -0,07567 | -25,928  12.426  -2,09397  0,106143 | -1,7622  -3.8765  1,05567  -0,076764 |
| При условии 3\*10^6<Re<=10^8 | | | |
| B0  B1  B2  B3 | 176,5416  -6,60709  0,88147  -0,039226 | 322,594  -133,2  17,795  -0,799765 | -92,029  37,935  -5,1885  0,23583 |

Таблица 15. [11]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Величина | Значение величины для расчета | |
|  |  |
|  | или | при  при |
|  |  | при  при |
|  |  | |

#### Расчет .

Исходные данные для расчета:

* диаметр ИТ(см. результат расчета п. 3.2.1),
* диаметр СУ (см. результат расчета п. 3.2.1),
* динамическая вязкость среды  (см. результат расчета п. 3.2.8),
* коэффициент поправки на шероховатость ИТ  при числе Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.14.2),
* коэффициент на притупление входной кромки СУ  (см. результат расчета п. 3.2.2),
* коэффициент истечения  при числе Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.14.1),
* коэффициент скорости входа  (см. результат расчета п. 3.2.3),
* коэффициент расширения  (см. результат расчета п. 3.2.12),
* плотность среды  (см. результат расчета п. 3.2.10),
* перепад давления  (см. результат расчета п. 3.2.13).

Расчитываем  по формуле (В2) [1 с19] (порядок расчета изменен!!!).



#### Расчет коэффициента истечения при .

Исходные данные для расчета:

* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1),
* метод отбора перепада давления на СУ (угловой, трехрадиусный или фланцевый).

Расчет коэффициента истичения  (см. п.2.4.5 формулу 2.4.5.2 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

#### Расчет поправочного коэффициента на шероховатость ИТ при .

Исходные данные для расчета:

* диаметр ИТ (см. результат расчета п. 3.2.1),
* диаметр СУ  (см. результат расчета п. 3.2.1),
* шероховатость ИТ ,
* число Рейнольдса ,
* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1).

Расчет поправочного коэффициента на шероховатость ИТ  (см. п. 2.11 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

#### Расчет первого приближения числа Рейнольдса .

Исходные данные для расчета:

* коэффициент поправки на шероховатость ИТ  при числе Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.14.2),
* коэффициент истечения  при числе Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.14.1),
* коэффициент поправки на шероховатость ИТ  при числе Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.14.5),
* коэффициент истечения  при числе Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.14.4).

Первое приближение числа Рейнольдса  согласно [1 c19 (B3)] определяется по формуле (порядок расчета изменен!!!):  


#### Проверка условия окончания расчета.

Проверяем выполнение неравенства [1 c19 (B4)].



Если неравенство выполняется,  принимают как решение, если нет, то определяем новое приближенное значение , где и рассчитаны при числе Рейнольдса .



общая формула 

где и рассчитаны для  на n-м цикле вычислений.

Снова проверяем условие



общая формула 

И т.д. до выполнения этого условия, находим число Рейнольдса .

### Расчет коэффициента истечения .

Исходные данные для расчета:

* число Рейнольдса  (см. результат расчета п. 3.2.1),
* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1),
* метод отбора перепада давления на СУ (угловой, трехрадиусный или фланцевый).

Расчет коэффициента истичения  (см. п.2.4.5 формулу 2.4.5.2 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

### Расчет поправочного коэффициента на шероховатость .

Исходные данные для расчета:

* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1),
* диаметр СУ  (см. результат расчета п. 3.2.1),
* шероховатость ИТ ,
* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1).

Расчет поправочного коэффициента на шероховатость ИТ  (см. п. 2.11 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

### Расчет расхода среды.

Исходные данные для расчета:

* диаметр СУ  (см. результат расчета п. 3.2.1),
* относительный диаметр отверстия СУ  (см. результат расчета   
  п. 3.2.1),
* коэффициент скорости входа  (см. результат расчета п. 3.2.3),
* коэффициент расширения  (см. результат расчета п. 3.2.12),
* плотность среды  (см. результат расчета п. 3.2.10),
* перепад давления  (см. результат расчета п. 3.2.13),
* коэффициент поправки на шероховатость ИТ  (см. результат расчета п. 3.2.16),
* коэффициент поправки на притупление входной кромки СУ  (см. результат расчета п. 3.2.14.5),
* коэффициент истечения  (см. результат расчета п. 3.2.15).

Расчет расхода среды (см. раздел 2.13 [11]) (порядок расчета изменен!!!).

Расчет действительного расхода при использовании датчиков перепада давления.

Массовый расход среды.

Массовый расход среды согласно [1 с.7] рассчитывается по формуле

 (2.13.1.1 [11])

Где  - коэффициент поправочный на шероховатость,

 - коэффициент поправочный на притупление кромки,

 - коэффициент скорости входа,

 - коэффициент истечения,

 - действительный диаметр СУ,

 - коэффициент расширения,

 - перепад давления на СУ,

 - абсолютная температура среды,

Связь массового и объемного расхода среды.

Связь массового расхода среды, объемного расхода среды при рабочих условиях и объемного расхода среды, приведенного к стандартным условиям согласно [1 с.7] определяется по формуле:

 (2.13.2 [11])

Где  - объемный расход среды,

 - плотность среды,

 - объемный расход среды при стандартных условиях,

 - плотность среды при стандартных условиях.

# ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.586.1-2005(ИСО 5167-1:2003) Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования.

2. ГОСТ 8.586.2-2005(ИСО 5167-1:2003) Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования.

3. ГОСТ 30319.0-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств.

Общие положения.

4. ГОСТ 30319.1-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств.

Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки.

5. ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств.

Определение коэффициента сжимаемости.

6. ГОСТ 30319.3-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств.

Определение физических свойств по уравнению состояния.

7. Государственный научный метрологический центр. Всероссийский научно исследовательский институт расходометрии (ВНИИР). Алгоритм расчета теплофизических свойств чистых газов. Казань 2002.

8. Модуль ввода аналоговых сигналов AI-O1. Руководство по эксплуатации.

5.121.051 РЭ. ОАО Завод “Теплоприбор” май 2003

9. Модуль ввода аналоговых сигналов AI-O1. Паспорт 5.121.051 ПС. ОАО Завод “Теплоприбор” май 2003.

10. МИ 2451-98. ГСИ. Рекомендация.

Паровые системы теплоснабжения.

Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя.

11. Автоматизированная система учета энергоресурсов «АСУ ЭНЕРГО». Метрологическое обеспечение.