

СЧИТАЕМ ПРАВИЛЬНО. Плотность газа в расчетах пропускной способности

А.В. Пушкарёв (ООО «Эмерсон»)

Показано, что одной из распространенных ошибок при расчете трубопроводной арматуры является некорректное значение плотности газа. Приведен пример расчетов, подтверждающий этот тезис.

Ключевые слова: плотность газа, пропускная способность, трубопроводная арматура.

Одна из распространенных ошибок при расчете трубопроводной арматуры — некорректное значение плотности газа. Перед расчетом требуемой пропускной способности для сжимаемых сред, в частности, для газов, первым шагом нужно определиться с правильными техническими единицами. Бывает, что заказчик в опросном листе указывает расход в $\text{Нм}^3/\text{ч}$, а плотность в $\text{кг}/\text{м}^3$. И что еще больше может усугубить ситуацию, если указывается, что это удельная плотность (Specific Gravity). В результате, если, не задумываясь, верить указанным данным, то вероятность ошибки высокая.

Рассмотрим следующий реальный пример из практики. Рабочие условия из опросного листа представлены на рисунке.

При использовании этих данных в расчетах получаем, что молекулярный вес (MW) приблизительно равен 163.

Но почему столько? Такой молекулярный вес углеводородного газа, содержащего водород, это всегда большой повод задуматься, — а правильно ли выполнен расчет? С одной стороны, температура действительно высокая, но достаточно ли этого, чтобы углеводороды с молекулярным весом 163 ($C_{12}H_x$) были в газообразном состоянии при таком давлении? И могут ли быть на данной технологической установке производства водорода такие специфические углеводороды?

Такие результаты вызывают сомнения, поэтому выполним проверку.

Плотность газа определяется по формуле:

$$\rho = \frac{MW \cdot P}{R \cdot T \cdot Z} \quad (1)$$

(Это немного измененное уравнение Менделеева-Клапейрона, $\rho = m/V$, и присутствует коэффициент, учитывающий отклонение от уравнения для идеального газа, сжимаемость Z), где ρ — плотность при указанных условиях, MW — молекулярный вес газа; P — давление абсолютное; T — температура абсолютная; Z — сжимаемость газа при P и T , R — универсальная газовая постоянная (значение зависит от выбранных технических единиц P и T).

Соответственно, зная нужные параметры, можно посчитать и молекулярный вес MW :

$$MW = \frac{\rho \cdot R \cdot T \cdot Z}{P} \quad (2)$$

Все требуемые параметры имеются в опросном листе. Но в формуле присутствует одна, не совсем удобная константа — универсальная газовая постоянная R .

Если переписать (2), но для нормальных условий, то получим:

$$MW = \frac{\rho_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot Z_0}{P_0} \quad (3)$$

где ρ_0 — плотность при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{Нм}^3$, MW — молекулярный вес газа, P_0 — давление абсолютное = 0,101325 МПа; T_0 — температура абсолютная = 273,15 К; $Z_0 = 1,00$ — сжимаемость газа при P_0 и T_0 .

Тогда

$$\frac{\rho \cdot R \cdot T \cdot Z}{P} = \frac{\rho_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot Z_0}{P_0} \quad (4)$$

или

$$\rho_0 = \rho \frac{T \cdot Z \cdot P_0}{P \cdot T_0 \cdot Z_0} \quad (5)$$

Рабочие условия								
4								
5	Единицы	Давление	МПа ■			Избыточное ■	Абсолютное □	
6		Температура	°С		Плотность $\text{кг}/\text{м}^3$ ■	Вязкость сСтokes □	сПуаз ■	
7		Расход	Газ — $\text{Нм}^3/\text{ч}$ (G)	Водяной пар - т/ч (S)	Жидкость - $\text{м}^3/\text{ч}$ (L)	Пары жидкости $\text{Нм}^3/\text{ч}$ (V)		
8	Природа среды	Состояние			HC+H ₂		G	Изм.
9	Расход	Минимал.	Номинал.	Максимал.	15400	30650	33710	
10	Давление перед клапаном	При миним. расходе	При номин. расходе	При макс. расходе	2,94	2,94	2,94	
11	Давление после клапана				2,75	2,75	2,75	
12	Температура перед клапаном				375	375	375	
13	Газ, пар	Коэффициент сжимаемости			1,0088	1,0088	1,0088	
14		C_p / C_v			1,177	1,177	1,177	
15		Плотность до клапана			9,375	9,375	9,375	
16	Упругость пара		kPa(a)		-	-	-	

Рабочие условия из опросного листа

Если рабочая температура t в ($^{\circ}\text{C}$), давление рабочее в (МПа), то

$$\rho_0 = \frac{\rho \cdot (273,15 + t) \cdot Z \cdot 0,101325}{(P_1 + 0,101325) \cdot 273,15 \cdot 1,00}$$

Тогда для примера сверху получим:

$$\rho_0 = \frac{9,375 \cdot (273,15 + 375) \cdot 1,0088 \cdot 0,101325}{(2,94 + 0,101325) \cdot 273,15 \cdot 1,00} = 0,747661.$$

Молекулярный вес $MW = \rho_0 \cdot 22,4 = 16,748$.

Таким образом, ошибка в молекулярном весе почти в 10 раз!

При повторных расчетах пропускной способности для нового значения MW видна разница в значении C_v в 3 раза. Все верно, так как MW под корнем, а квадратный корень из 10 приблизительно равен 3.

В результате, вместо предварительного выбранного клапана номинальным диаметром DN200 здесь подойдет модель клапана с внутренним портом 100 мм и расширенными соединительными патрубками DN150.

А это большая разница, в том числе в стоимости.

Часто говорят, что цифры управляют миром; но крайней мере нет сомнения в том, что цифры показывают, как он управляется.

И.Герте

Отметим, что универсальную газовую постоянную R для конкретных технических единиц несложно и рассчитать, исходя из формулы (4): $MW = 22,4 \cdot \rho_0$. Из (3) видно, что

$$22,4 = \frac{R \cdot T_0 \cdot Z_0}{P_0}$$

тогда

$$R = \frac{22,4 \cdot P_0}{T_0 \cdot Z_0}$$

При нормальных условиях объем одного моля идеального газа составляет 22,41399639 литра (следствие из закона Авогадро), для инженерных расчетов принято ограничиваться значением 22,4 литра. Для $P_0 = 0,101325$ МПа, $T_0 = 273,15$ К получаем $R = 8,314472 \cdot 10^{-3}$ Дж/моль·К· 10^{-3} .

Пушкарев Алексей Васильевич — эксперт по ТПА ООО «Эмерсон». Контактный телефон +7 (495) 995-95-59.

Удаленный контроль и диагностика позиционеров, контуров регулирования и КИП

В.О. Верева (Компания Yokogawa)

Представлены два программных пакета от компании Yokogawa — PRM (Plant Resource Manager) для централизованного управления большими объемами данных от КИП, исполнительных устройств и производственного оборудования и ISAE (InsighSuiteAE) для диагностики контуров регулирования и клапанов. Показано, что совместная работа этих пакетов позволяет снизить эксплуатационные расходы, связанные с нарушением ТП и внеплановыми остановами, позволяет оптимизировать и систематизировать информацию, получаемую от полевого оборудования для более строгого и тщательного контроля состояния активов.

Ключевые слова: контроль, диагностика, КИП, исполнительные устройства, клапаны, эксплуатационные расходы, состояние активов.

В условиях современного рынка производственные компании серьезно задумываются об увеличении производительности и снижении расходов на эксплуатацию. Мировой опыт использования инновационных решений, предназначенных для контроля за активами, показывает, что состояние контуров регулирования существенно влияет на эффективность производства и затраты на эксплуатацию [1, 2].

Зачастую причинами некорректной работы ПИД-регулятора являются неверные настройки регулятора, неисправное состояние связанных с регулятором КИП и регулирующих клапанов. Вышедшие из строя клапаны, находящиеся в составе контура регулирования, могут привести к серьезным нарушениям процесса или к аварийному останову и незапланированным простоям производства. В связи с этим компания Yokogawa предлагает комплексное решение, состоящее из двух пакетов:

— PRM (Plant Resource Manager) для централизованного управления большими объемами данных от КИП, исполнительных устройств, а также производственного оборудования, что позволяет контролировать статус этих устройств и осуществлять оперативную диагностику в режиме реального времени;

— ISAE (InsighSuiteAE) для диагностики контуров регулирования и клапанов.

Указанные программные пакеты могут использоваться отдельно друг от друга. Но их совместное применение повышает качество и эффективность решения задачи (рис. 1). Комплексное решение PRM+ISAE призвано помогать оперативному персоналу в осуществлении более детального контроля за состоянием КИП, контуров регулирования и клапанов и, как следствие, минимизировать риски, связанные с внезапным выходом оборудования из строя.