электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
издатель ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

Регулятор давления прямого действия для подачи псевдоожиженного металлического горючего (ПМГ) в газогенератор

77-48211/482664

10, октябрь 2012

Шацкий О. Е.

УДК 536.248.2 629.78.064

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
E1@power. bmstu.ru

Массовый расход ПМГ ($\dot{m}_{ПМГ}$) является функцией перепада давления, аналогично зависимости массового расхода обычной капельной жидкости. При этом, как показали исследования, устанавливается вполне определенное соотношение между расходами ПМГ и несущего газа. Найти аналитическую связь между этими расходами практически невозможно из-за сложности физической картины течения такой двухфазной смеси в режиме заторможенного плотного слоя. В этом случае единственным путем является экспериментальное исследование с обобщением результатов с помощью теории подобия. Исходя из анализа физических величин, определяющих такой режим течения двухфазного потока и используя анализ размерностей, можно представить в общем виде критериальное уравнение, связывающее скорости течения ПМГ и газа, в следующем виде:

$$Fr_т = f\left(Re, \frac{D_{тр}}{d_т}, \frac{D_o}{d_т}, Ar\right),$$

где $Fr_т = \frac{V_т^2}{g \cdot d_т}$ – критерий Фруда; $Re = \frac{V_{г_o} \cdot d_т}{\nu_г}$ – критерий Рейнольдса; $Ar = \frac{g \cdot d_т^3}{\nu_г^2} \cdot \frac{(\rho_т - \rho_{г_o})}{\rho_{г_o}}$ – критерий Архимеда; $V_т$ – скорость твердой фазы (ПМГ), постоянная по всей длине магистрали; $V_{г_o}$ – скорость газа перед тормозящим насадком (форсункой); $d_т$ – диаметр частиц ПМГ; D_o – диаметр сопла форсунки; $D_{тр}$ – диаметр трубопровода; $\rho_т$ – плотность твердых частиц; $\rho_{г_o}$ плотность газа перед форсункой.

Подача псевдоожиженного металлического порошкообразного горючего в газогенератор осуществляется несущим газом. Массовый расход ПМГ ($\dot{m}_{ПМГ}$) зависит от массового расхода несущего газа. Запишем основные зависимости, которые указывают на связь между массовыми расходами ПМГ и несущего газа ($\dot{m}_г$).

$$\dot{m}_г = \dot{m}_{ПМГ} \cdot \frac{0{,}239}{(1-\varepsilon)} \cdot \frac{\varphi^{0{,}33}}{\kappa_2^{0{,}5}} \cdot \left(\frac{D_0}{D_{тр}}\right)^{-0{,}61} \cdot \left(\frac{D_0}{d_т}\right)^{-0{,}6} \cdot \left(\frac{\rho_{г_o}}{\rho_т}\right) + \\ + \dot{m}_{ПМГ} \cdot \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)} \cdot \frac{\rho_{г_A}}{\rho_т} \cdot \left(p_ф - \Delta p_ф\right), \qquad (1)$$

где ε – порозность среды; φ – гидродинамический коэффициент сопротивления слоя; κ_2 – коэффициент, учитывающий влияние угла входа в тормозящий насадок (форсунка), ($\kappa_2 = 1$, если угол $2\alpha = 90^o$ и $\kappa_2 = 2{,}2$, если угол $2\alpha = 30^o$); D_o – диаметр сопла струйной форсунки; $D_{тр}$ – диаметр трубопровода; $d_т$ – диаметр твердых частиц; $\rho_{г_o}$ – плотность газа на входе в форсунку; $\rho_т$ – плотность твердого материала; $\rho_{г_A}$ – плотность газа при нормальных условиях; $p_ф$ – давление окружающей среды на выходе форсунки; $\Delta p_ф$ – перепад давления на форсунке.

В приведенной эмпирической зависимости плотность несущего газа оказывает значительное влияние на массовый расход газа, следовательно, на массовый расход ПМГ.

Традиционные методы изменения массового расхода жидкостей в данном случае малоприемлемы. Эти методы основаны на изменении проходного сечения регулирующего клапана.

Подача ПМГ по трубопроводу может быть осуществлена с помощью эффекта псевдоожижения каким-либо газом. Энергетическая эффективность системы подачи псевдоожиженного ПМГ характеризуется высокой объемной концентрацией частиц металла и малым массовым расходом несущего газа. Эти обстоятельства влияют на выбор режима течения псевдоожиженного ПМГ по трубопроводам системы подачи.

Такой режим может быть осуществлен при подаче псевдоожиженного ПМГ заторможенным плотным слоем (ЗПС), при этом величина объемной концентрации движущихся твердых частиц близка к значению статической порозности ПМГ в расходном баке.

В случае течения ПМГ в режиме заторможенного плотного слоя (ЗПС) очень важно сохранять постоянным отношение диаметра сопла форсунки и диаметра трубопровода, поэтому пережатие проходного сечения может нарушить режим ЗПС. Нарушение режима ЗПС повлечет за собой неустойчивую подачу ПМГ в газогенератор.

Возвращаясь к экспериментальной зависимости (1) можно предложить регулируемый режим подачи за счет изменения массового расхода несущего газа ($\dot{m}_г$). Такие функции могут выполнить пневматические регуляторы прямого действия. Эти регуляторы выполнены по схеме автоматического регулятора прямого действия, у которого чувствительный элемент 5 непосредственно соединен с клапаном (шарик) 2 (рис. 1).

Этот регулятор имеет следующие основные элементы конструкции:

1) запорно-дросселирующий элемент, выполненный в виде клапана (шарик) 2, взаимодействующего с седлом 4;

2) чувствительный элемент, выполненный в виде мембраны 5 с жестким центром;

3) задающее устройство, включающее в себя задающую пружину 6;

4) вспомогательная пружина 1, обеспечивающая контакт клапана 2 и толкателя 3, связанного с чувствительным элементом, при расходе рабочего тела и герметизацию клапана на седле при отсутствии расхода к потребителю;

5) настройка регулятора осуществляется изменением затяжки задающей пружины 6 с помощью регулировочного болта 7.

В газовых редукторах и регуляторах давления «перед собой» чувствительный элемент сравнивает усилия от регулирующего клапана с усилием задающей (настроечной) пружины, а в стабилизаторах на чувствительный элемент со стороны задающей пружины дополнительно воздействует задающее давление. В зависимости от уровня регулируемого давления по сравнению с настроечным уровнем чувствительный элемент управляет открытием или закрытием проходного сечения запорно-дросселирующего элемента, обеспечивая непрерывное автоматическое поддержание регулируемого давления.

Массовый расход ($\dot{m}_{г}$) несущего газа при подаче заданного расхода ПМГ ($\dot{m}_{ПМГ}$), определяется перепадом давления на форсунке в соответствии с ее расходной характеристикой (1), где $\rho_{г_о} = \rho_{г_А} \cdot (\Delta\rho_{ф} + 1)$ – плотность газа в трубопроводе перед форсункой; $\rho_{г_А}$ – плотность газа при атмосферном давлении; $\Delta\rho_{ф}$ – перепад давления на форсунке.

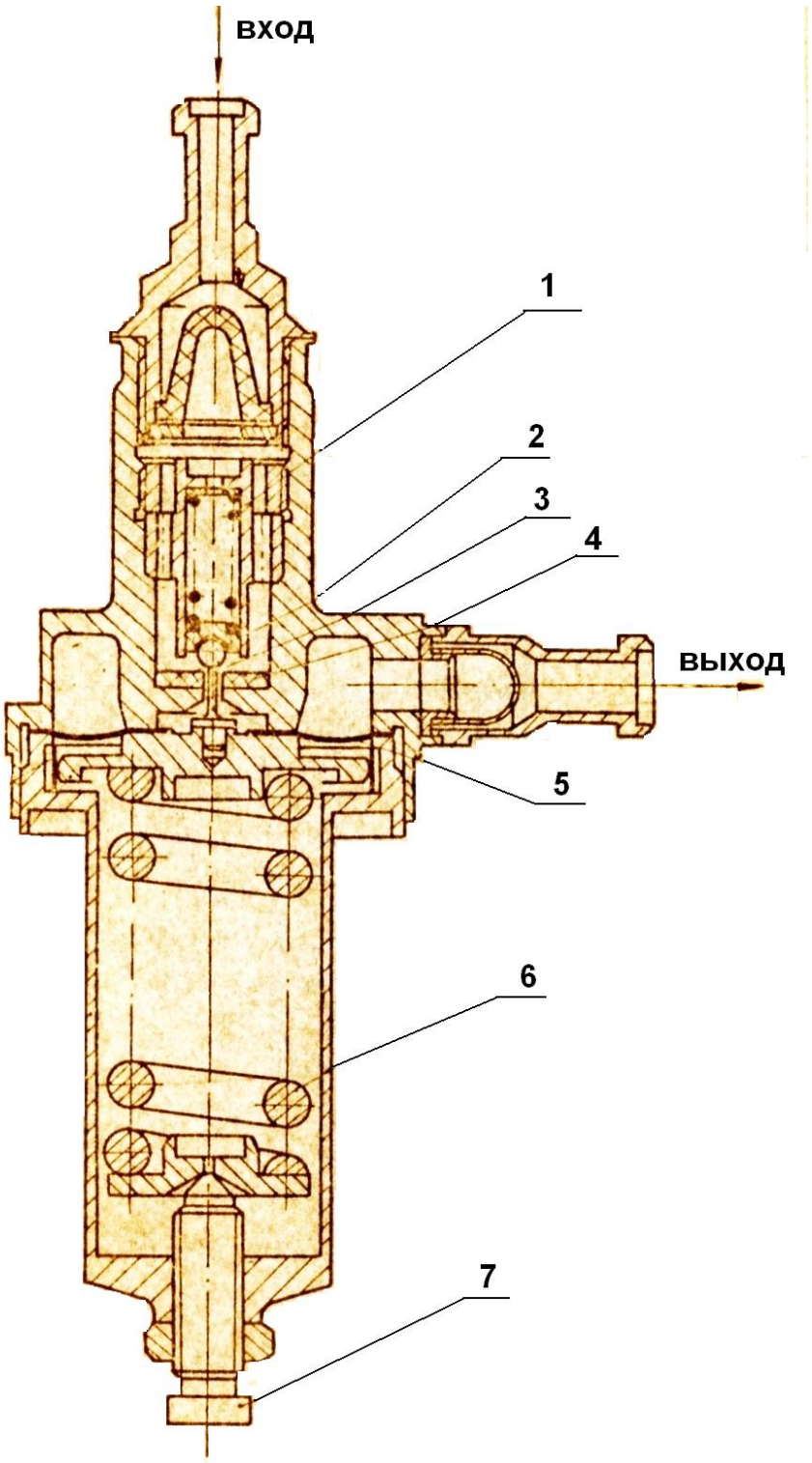


Рис. 1. Чертеж регулятора прямого действия
1 – вспомогательная пружина; 2 – клапан (шарик); 3 – толкатель; 4 – седло;
5 – чувствительный элемент (мембрана); 6 – задающая пружина; 7– регулировочный болт

На рисунке 2 представлена кривая 1, построенная по зависимости (1), и нанесены экспериментальные значения удельных (на единицу площади сопла форсунки) расходов газа. Видно удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных значений

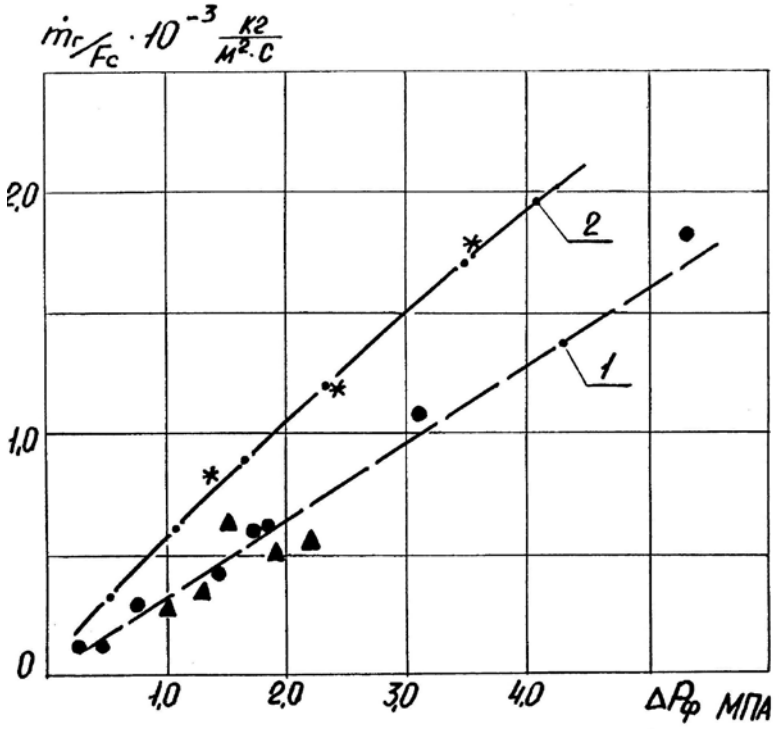
удельных расходов газа при подаче алюминиевых порошков ПА–4 и АСД–1. С увеличением противодавления давление перед форсункой ($p_ф$) будет равняться:

$$p_ф = p_к + \Delta p_ф \qquad (2)$$

где $p_к$ – давление в камере сгорания.

В этом случае расход газа увеличится на величину, определяемую повышением его плотности в «порах» заторможенного плотного слоя порошкообразного материала, в соответствии с уровнем давления в газогенераторе. Второе слагаемое в формуле (1) учитывает наличие противодавления в газогенераторе.

На рисунке 2 показано удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных значений массового расхода ($\dot{m}_г$) при давлении в газогенераторе 3 МПа (кривая 2).



1 – без противодавления: • – (ПА-4), ▲ – (АСД-1);
2 – с противодавлением: ∗ – (ПА-4)

Рис. 2. Зависимость удельного (на единицу площади сопла форсунки) массового расхода газа от перепада давления на форсунке

При регулируемой системе подачи необходимо изменять массовый расход ПМГ ($\dot{m}_{ПМГ}$), подаваемый в газогенератор. Расход ПМГ может быть изменен либо уровнем давления в расходном баке ПМГ, либо изменением числа форсунок (изменением суммарной площади их сопел). При этом, соответственно, увеличивается массовый расход газа потребный для транспортировки ПМГ [1, 2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплофизика процессов горения и окрана окружающей среды. Сб. трудов под ред. Ш.А Пиралишвили.- Рыбинск, 2001.- С. 103-106.

2. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. Учебное пособие. – М.: МГТУ, 1993. – 492 с.