

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Ляпота А.А., доц.

Точное измерение быстроменяющегося давления в замкнутых полостях представляет как практический, так и теоретический интерес. Имеется множество систем, в которых газы заключены в полости постоянного или переменного объема, например, поршневые машины. Информация о характере поведения газа в цилиндрах поршневого компрессора (ПК) чрезвычайно важна как на этапе экспериментального исследования ПК, так и на этапе его эксплуатации при диагностировании технического состояния.

Условия эксплуатации датчиков давления, установленных в цилиндре ПК, существенно отличаются от условий эксплуатации других датчиков. В цилиндре на чувствительный элемент датчика воздействуют глубокие пульсации давления и высокая пульсирующая температура. Вследствие этого с течением времени повышается вероятность ухода метрологических характеристик от номинальных значений.

Применение защитно-предохранительных мероприятий (охлаждение и др.) затруднительно из-за сложности и малых размеров датчиков. Структурные методы повышения точности требуют или обратного преобразования электрического сигнала в давление, или полной информации о влияющих факторах, или наличия образцового источника пульсирующего давления. Все эти требования практически невозможно осуществить по различным причинам: высокая стоимость, сложность технической реализации и пр.

Теория использования априорной информации о функциональных связях между измеряемыми величинами [1] дает математический инструмент для решения задач данного типа.

Пусть априори известно, что измеряемые величины x_1, x_2, \dots, x_n связаны между собой линейной зависимостью

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = b,$$

которую можно записать в векторной форме

$$\bar{a} \bar{x} = b, \quad (1)$$

где $\bar{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ - вектор коэффициентов;

$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - вектор измеряемых величин.

Соотношение (1) может быть известно не точно, а с некоторой погрешностью ϵ :

$$\bar{a} \bar{x} + \epsilon = b. \quad (2)$$

При этом имеется в виду, что известна дисперсия σ_ϵ^2 погрешности ϵ .

Результаты измерения величин x_1, x_2, \dots, x_n также можно записать в векторной форме:

$$\bar{y} = B \bar{x} + \gamma, \quad (3)$$

где $\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ - вектор результатов измерений;

$\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$ - вектор погрешностей измерений в отдельных каналах измерительной системы; B - матрица коэффициентов преобразования сигналов в измерительных каналах.

При неточном измерении одной величины и априори, известном ее математическом ожидании b , выражения (2), (3) упростятся:

$$\left. \begin{aligned} x + \gamma &= y \\ x + e &= b \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

По теории использования априорной информации [1] оценка значения измеренной величины x :

$$\tilde{x} = \frac{\sigma_e^2 y + \sigma_\gamma^2 b}{\sigma_e^2 + \sigma_\gamma^2}, \quad (5)$$

где σ_e^2 - дисперсия погрешности e ;

σ_γ^2 - дисперсия погрешности γ .

Дисперсия погрешности самой оценки:

$$\sigma_{\tilde{x}}^2 = \frac{\sigma_e^2 \sigma_\gamma^2}{\sigma_e^2 + \sigma_\gamma^2}. \quad (6)$$

Преобразуем выражение (6) в следующее:

$$\frac{\sigma_{\tilde{x}}}{\sigma_\gamma} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_e^2 / \sigma_\gamma^2 + 1}} \quad (7)$$

и представим его графически (рис.1) в координатах $\sigma_{\tilde{x}}/\sigma_\gamma$, σ_e/σ_γ .

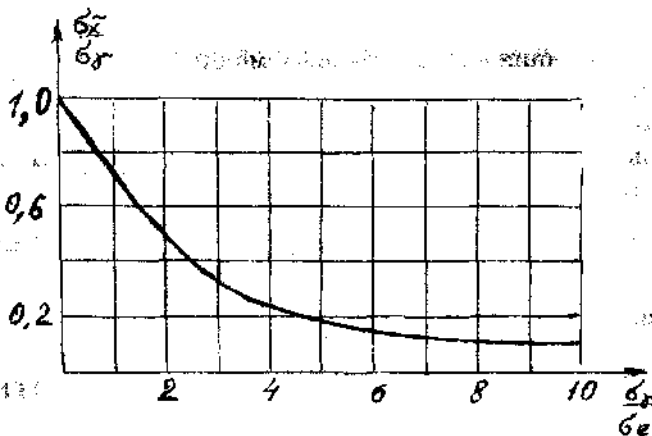


Рис.1. Зависимость погрешности оценки результата измерения от погрешности априорной информации

Из приведенного графика видно, что погрешность оценки результата измерения \tilde{x} всегда будет меньше погрешности самого результата измерения x и уменьшается с увеличением отношения σ_e/σ_γ .

В нашем случае имеются предпосылки для практического использования приведенной выше теории.

Рассмотрим на развернутой индикаторной диаграмме (рис.2) взаимосвязь двух измеряемых процессов: давления газа во всасывающем трубопроводе $p_{ок}$ и давления в цилиндре $p_{ц}$. В течение одного периода вращения

коленчатого вала имеется два момента времени (t_1, t_2), когда выполняется равенство $p_{ox} = p_u$. Сравнение измеряемых величин p_{ox} и p_u в моменты времени t_1, t_2 и определение разности $\Delta p_1 = p_{ox}(t_1) - p_u(t_1)$, $\Delta p_2 = p_{ox}(t_2) - p_u(t_2)$ дают информацию о погрешностях измерительных каналов.

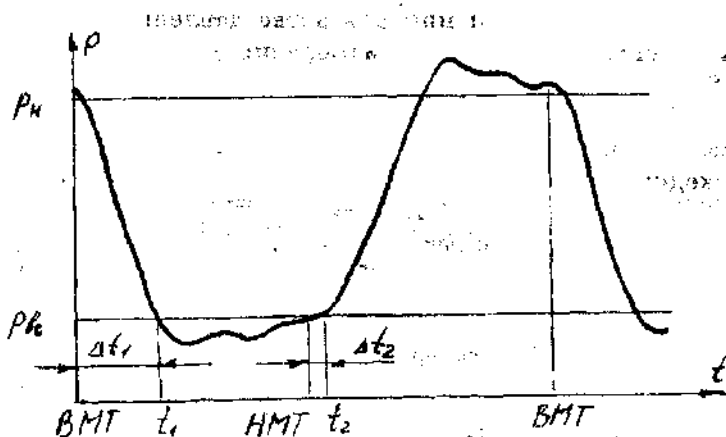


Рис.2. Развернутая индикаторная диаграмма ПК

Датчики давления, установленные в межступенчатых трубопроводах, работают в сравнительно благоприятных условиях: невысокая постоянная температура и практически постоянное давление. Кроме того, здесь можно установить заведомо более точные датчики, так как нет ограничений ни по габаритным размерам, ни по посадочным местам. Наиболее приемлемым в этом смысле является всасывающий трубопровод, где более низкий температурный режим. По вышеизложенным причинам величину измеренного давления можно принять за образцовое значение, по которому с помощью периодической коррекции увеличить точность измерения p_u .

Для практической реализации коррекции необходимо устройство, которое бы определяло моменты времени t_1, t_2 . Лучшим решением было бы наличие специального индикатора равенства давлений p_{ox}, p_u . Если же требуется обойтись без дополнительного оборудования, то можно использовать имеющийся в измерительной системе отметчик нижней мертвой точки (НМТ) и верхней мертвой точки (ВМТ) поршня.

Как видно из рис.2, точки t_1 и t_2 следуют после достижения поршнем ВМТ и НМТ со сдвигом по времени Δt_1 и Δt_2 . Величины сдвигов определяются статическими и динамическими свойствами запорных органов клапанов (нагнетательного и всасывающего) и для каждого цилиндра постоянны при условии исправности клапанов. При этом имеются два соображения в пользу выбора точки t_2 . Во-первых, точка t_1 отстоит от реперной точки ВМТ на значительную часть периода. При незначительных нарушениях работы компрессора, например, увеличении перетечек, точка равенства давлений будет плавать. Во-вторых, в точке t_1 скорость изменения давления в цилиндре выше, чем в точке t_2 . В результате ошибка определения времени сдвига Δt_1 приводит к более высоким погрешностям сравнения давления по сравнению с аналогичной процедурой в точке t_2 .

Исходя из изложенного выше, было разработано устройство автоматической коррекции сигнала измерителя давления газа в цилиндре по измеренному значению давления всасывания (рис.3).

Работает устройство следующим образом. Сигналы с датчиков Д1, Д2, установленных в цилиндре ПК и во всасывающем трубопроводе соответственно, усиливаются на операционных усилителях ОУ1 и ОУ2. Коэффициент $K_{ДН}$ преобразования делителя напряжения ДН выбирается из следующих соображений. Уровни сигналов, сравниваемые на ОУ3, должны быть одинаковыми при равенстве давлений $p_ч$ и $p_{вс}$. Уровни выходных сигналов каналов измерения давлений $U_{вых1} = K_{Д1} \cdot K_{ОУ1}$, $U_{вых2} = K_{Д2} \cdot K_{ОУ2}$, где $K_{Д1}, K_{Д2}$ - коэффициенты преобразования датчиков соответственно Д1 и Д2; $K_{ОУ1}, K_{ОУ2}$ - коэффициенты усиления усилителей соответственно ОУ1 и ОУ2. Для наблюдения равенства сигналов при $p_ч = p_{вс}$ необходимо условие $K_{Д1} \cdot K_{ОУ2} = K_{Д2} \cdot K_{ОУ2} \cdot K_{ДН}$ или

$$K_{ДН} = \frac{K_{Д2} \cdot K_{ОУ2}}{K_{Д1} \cdot K_{ОУ1}} \quad (8)$$

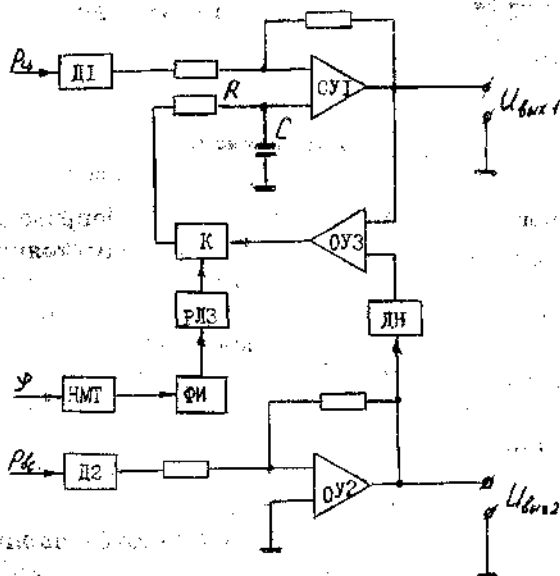


Рис.3. Устройство автоматической коррекции сигнала измерителя давления газа в цилиндре ПК

Сравнивающее устройство, выполненное на ОУ3, вырабатывает напряжение, величина и полярность которого пропорциональны разности напряжений $U_{вых1}$ и $K_{Д1} \cdot K_{ОУ1}$. Импульс с отметчика НМТ, проходя через формирователь импульсов ФИ и регулируемую линию задержки РЛЗ, открывает ключ К. Конденсатор С заряжается через ограничительный резистор R до уровня, компенсирующего смещение напряжения $U_{вых1}$ относительно $K_{ДН} U_{вых2}$. Время задержки Δt импульса сравнения (рис.2) определяется экспериментально во время

монтажа и настройки системы на компрессоре и устанавливается на РЛЗ. Подразумевается при этом, что в момент настройки системы коэффициенты, входящие в (8), имеют свои номинальные значения.

В данном устройстве не учитывается погрешность измерения давления $p_{вс}$, т.е. давление $p_ч$ "жестко" приводится к давлению $p_{вс}$. При значительных величинах отношений погрешностей измерения $p_ч$ и $p_{вс}$ это вполне оправдано (см. рис.1). Если погрешности измерения $p_ч$ и $p_{вс}$ одного порядка, то для действительного уменьшения погрешностей необходимо реализовать схему с учетом формулы (6).

ВЫВОДЫ

1. Выявлена необходимость применения качественно нового метода повышения метрологической надежности измерителя давления газа в цилиндре ПК.
2. Искомый метод найден в теории использования априорной информации

о функциональных связях между измеряемыми величинами.

3. Исходя из априори, известной связи величин давления во всасывающем трубопроводе и цилиндре ПК, разработано устройство для повышения метрологической надежности измерителя давления газа в цилиндре.

SUMMARY

Precise measuring of gas pressure in cylinder of piston machine is difficultly by hard work conditions of transducer that is placed in piston. Theory of using apriori information of function connections between measuring dates point the way of encreasing of metrology reliability of gas pressure gauge. The device for automatic correction of gas pressure gauge in cylinder was elaborated from theory searches. More precise measuring of gas pressure in absorb pipeline of piston machine is used for this purpose. The device is protected by auther's certificate.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реаник Л.К., Солопченко Г.Н. Использование априорной информации о функциональных связях между измеряемыми величинами для повышения точности измерений // Измерения, контроль, автоматизация, 1984, № 1 (49), с.3-13.
2. А.с. 1275242. Измеритель давления газов поршневого компрессора /А.А. Ляпота А., С.А. Пыжов ; Оpubл.07.12.86, Бюл.№45.

Поступила в редколлегию 7 декабря 1995 г.