

УДК 681.53

И. Г. Сухорукова, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей
Белорусский государственный технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПРОТЕЧЕК ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

В статье рассматривается возможность повышения чувствительности диагностики запорной арматуры. Для этого авторами модифицирован метод измерения величины протечек на линии высокого давления на дифференциальной схеме. В отличие от существующей схемы предлагается отказаться от использования в дифференциальной схеме сравнительного анализа величины протечек двух элементов запорной арматуры с одинаковыми геометрическими размерами. Дифференциальная схема строится путем установки промежуточного электронного клапана, который приводит к образованию двух объемов. Работа алгоритма требует применения датчиков контроля избыточного, дифференциального давления на промежуточном клапане и температуры, а также активной схемы воздействия на замкнутые объемы. Объем между входным клапаном, который отделяет установку от источника давления, и промежуточным клапаном определяется заранее с высокой точностью. Объем свободного пространства между промежуточным клапаном и тестируемой арматурой измерялся путем нахождения перепада давления промежуточным клапаном после симметричного одномоментного воздействия на объемы до и после промежуточного клапана. Были произведены промежуточные расчеты мощности теплового воздействия в зависимости от возможностей чувствительности измерительных приборов и условий испытаний.

Для проверки работоспособности метода была разработана специальная лабораторная установка и проведены испытания. В качестве источников теплового воздействия использовались инфракрасные светодиоды. Чувствительность дифференциального преобразователя лабораторной установки не позволила подтвердить расчетные значения.

Ключевые слова: диагностика, протечка, запорная арматура, дифференциальная схема.

I. H. Suhorukova, D. A. Hryniuk, I. O. Orobei
Belarusian State Technological University

THE INCREASED SENSITIVITY STAND OF INSTRUMENT MEASURING LEAKS OF STOP VALVES

The authors develop a method for increasing the sensitivity of the test stop valves. For this purpose the method of measuring the leakage by measuring instruments on the high-pressure differential circuit has been modified. In contrast to the existing scheme it is proposed to abandon the use of a differential system of comparative analysis of the value of two elements leaking shutoff valves with the same geometric dimensions. The modified differential circuit is constructed by installing an intermediate electronic valve. With the aid of the valve two closed volumes are formed. The algorithm requires the use of measuring sensors for monitoring gauge, a differential pressure on the valve and temperature. It also requires active circuitry impact on the closed volumes. The amount of one volume is determined with high accuracy. This volume between the inlet electronic valve and the external valve, which separates the pressure source unit. To measure the amount of free space between the intermediate valve and test stop valves we used a separate step. At this step we performed a simultaneous momentary impact on the volume before and after the intermediate valve. The total amount of leakage is determined by measuring the differential pressure of the intermediate valve for a period of time. Calculations were made of the thermal power requirements depending on the impact sensitivity features of instrumentation and test conditions.

To test the method was developed a special laboratory stand. As a source of heat exposure we used infrared LEDs. The sensitivity of the differential transducer laboratory stand did not allow us to confirm the calculated values.

Key words: diagnostics, leak, stop valves, differential circuit.

Введение. Существует около 30 различных методов испытаний на герметичность [1–3]. Технологические испытания на герметичность занимают не последнее место в комплексе разнообразных испытаний изделий, проводимых

для обеспечения качества создаваемой продукции. Энергетические, экологические, социальные и технологические аспекты диктуют для современных производств повышение требований к точности оценки герметичности. Как

следствие, происходит постоянное развитие методов и устройств испытания изделий на герметичность для удовлетворения потребностей рынка.

Основная часть. Задача испытаний состоит в экспериментальной проверке объекта при действии или моделировании эксплуатационных нагрузок, возникающих внутри трубопровода. Согласно ГОСТ 9544–2005 [4], испытания ведутся при нормальной температуре с соблюдением условий безопасности. Установив давление, равное испытательному, объект подвергают избыточному давлению на регламентированное время.

С учетом технических требований авторами был разработан ряд приборов [5]. Из этого ряда наиболее используемым является прибор на линии высокого давления (рис. 1).

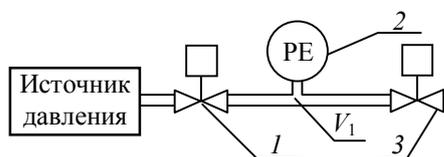


Рис. 1. Схема измерения протечек с чувствительным элементом в линии высокого давления:

- 1 – регулятор задающего давления;
- 2 – преобразователь давления;
- 3 – тестируемый вентиль (задвижка)

Устройство работает следующим образом. Регулятором 1 устанавливается необходимое давление испытания, после чего отслеживается градиент изменения давления в объеме V_1 , возникающий из-за протечек в вентиле 3. Высокая чувствительность обеспечивается при точном определении объема V_1 в линии высокого давления. Расчетное значение протечки V_0 за время Δt находится из выражения

$$V_0 = \frac{V_1}{P_0} (P_1 - \Delta P), \quad (1)$$

где P_0 – атмосферное давление; P_1 – начальное давление в линии высокого давления; ΔP – уменьшение давления за время Δt .

Поскольку V_1 напрямую влияет на точность метода, а запорная арматура имеет сложную геометрию и большое разнообразие, то метод требует доработки. Как вариант, использование дифференциальной схемы, представленной на рис. 2 [2], состоит в оценке величины протечки по разности давления между линиями с эталонной и тестируемой арматурой.

В то же время схема на рис. 2 насыщена большим количеством арматуры, что требует постоянного контроля за ее состоянием и увеличивает вероятность вносимых ею искажений

в процесс измерений, к тому же она удобна только при наличии большого количества клапанов с одним типоразмером.

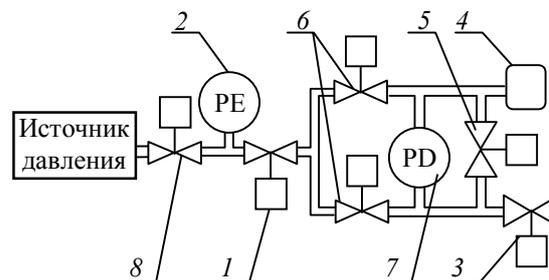


Рис. 2. Схема установки измерения протечки с использованием дифференциальной схемы с эталоном:

- 1 – регулятор задающего давления;
- 2 – преобразователь давления; 3 – тестируемый вентиль (задвижка); 4 – дополнительный объем или сравнительный вентиль (master);
- 5 – управляемый уравнивающий клапан;
- 6 – изолирующие клапаны линий;
- 7 – датчик перепада давления; 8 – регулятор задающего давления

Повысить чувствительность схемы на рис. 1 до уровня или выше схемы на рис. 2 можно путем определения объема V_1 при каждом тестировании запорной арматуры. Для этого используем симметричное (или компенсационное) детерминированное активное воздействие на два объема V_1 и V_2 с определенным заранее V_2 . Один из вариантов такой установки представлен на рис. 3.

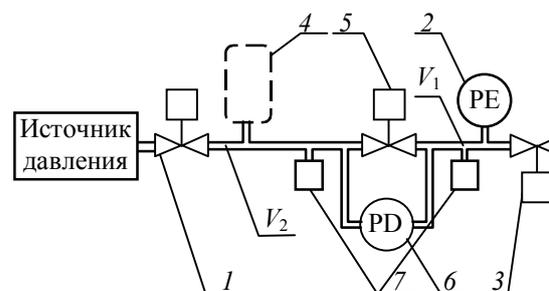


Рис. 3. Модификация схемы, приведенной на рис. 1, для определения объема V_1 :

- 1 – регулятор задающего давления;
- 2 – преобразователь давления; 3 – тестируемый вентиль (задвижка); 4 – дополнительный объем;
- 5 – дополнительный клапан управления;
- 6 – преобразователь перепада давления;
- 7 – источники синхронного воздействия на объемы

Динамическое управление клапаном 5 (рис. 3) в процессе испытания вместе с дифференциальным датчиком перепада давления позволяет получить существенный выигрыш в чувствительности по сравнению с использованием анализа тренда ΔP датчика избыточного давления

(схема на рис. 1) за счет прямого измерения ΔP отдельным измерительным прибором (позиция 6, рис. 3) с более узким диапазоном измерения.

Работа схемы предполагает установку необходимого тестируемого давления по датчику 2 при открытом клапане 5. После чего клапан 1 закрывается. С началом тестирования осуществляется закрытие клапана 5. В случае резкого увеличения перепада давления при некотором значении происходит уравнивание давлений и повторное закрытие клапана 5. Данная процедура может быть повторена несколько раз в течение одного цикла процесса диагностики запорной арматуры. Для пересчета спада давления в величину протечки через объем свободного пространства между клапаном и запорной арматуры предлагается в начале измерения осуществить синхронное воздействие на объемы V_1 и V_2 . Возникший импульс перепада давления на закрытом клапане 5 будет пропорционален разности в объемах.

Чувствительность датчика можно выбирать максимальной, исходя из минимальных протечек, которые будут контролироваться на данном стенде испытания. Если сигнал с датчика перепада давления будет достигать максимального значения, можно будет снова уравнивать давления в областях V_1 и V_2 путем открытия клапана 5, а затем снова его закрыть и фиксировать перепад давления. Тем самым будет осуществляться преобразование перепада давления в интервал времени, который обладает интегральной характеристикой протечки и фиксируется с большей точностью современными измерительными средствами, построенными на микропроцессорах.

Поскольку для интерпретации перепада давления в величину протечки следует знать точное значение объема воздуха V_1 , то предлагается для его определения использовать активную схему определения. Наилучшим решением для этого будет одновременное незначительное механическое изменение объемов до и после клапанов с помощью электродвигателей через редукторы. Давление на закрытом клапане будет изменяться пропорционально в зависимости от отличий объемов. Для исключения переходных явлений изменять объемы до и после клапана можно по рассчитанным законам с плавным изменением и временными выдержками для устранения влияния переходных процессов, как это делается у электромагнитных расходомеров для противодействия трансформаторной ЭДС [6]. Возможна и компенсационная схема перепада давления в скользящем режиме за счет изменений объемов и пересчет в протечку за счет энкодоров на валах двигателей. Данное реше-

ние обладает возможностями варьирования алгоритмов движения для обеспечения высокой точности измерения. Одним из самых простых воздействий является тепловое воздействие на воздух. Его можно осуществить нагревателями или мощными инфракрасными диодами.

Проведем расчеты требуемой мощности для стенда испытаний, исходя из условия не повышать температуру выше 1°C и максимальной длительности 5 с.

Для этого воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона:

$$\frac{PV}{T} = \frac{m}{M}R, \quad (2)$$

где T – температура, К; m – масса; M – молярная масса; R – газовая постоянная.

Поскольку газ для испытаний проходит очистку и обезвоживается, то можно принять удельную газовую постоянную $R/M = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. По условию эксперимента объем не меняется, поэтому в расчетах можно воспользоваться или объемной теплоемкостью $C_V = 0,0072 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ или массовой $C_m = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Требуемое количество энергий для изменения температуры можно рассчитать как

$$Q = mC_m\Delta T. \quad (3)$$

С другой стороны, светодиод мощностью N выделяет за единицу времени Δt количество энергии, равное

$$Q = N\Delta t. \quad (4)$$

Поскольку количество энергии до клапана и после клапана передается одинаковое, то, выразив из уравнения (2) массу и подставив в (3) с учетом (4), получаем выражение

$$\Delta t N = \frac{M}{R} \frac{PV}{T} C_m \Delta T. \quad (5)$$

При изохорном процессе, т. е. при не изменяющемся объеме, согласно второму закону Гей-Люссака, соблюдается условие

$$\frac{P}{T} = \text{const},$$

принимая объем $V_2 = 1 \text{ л}$ и температуру 18°C , задаем изменение температуры и соотношение объемов V_1 / V_2 , вычисляем массу и требуемую мощность и получаем зависимость перепада давления и мощности от соотношения объемов (рис. 4, 5).

Приведенные графики показывают, что изменения будут достаточными для количественной

оценки современными измерительными приборами. Несомненно, расчетные давления недостижимы, так как есть влияние газовой динамики и теплообмена с металлическими элементами конструкции.

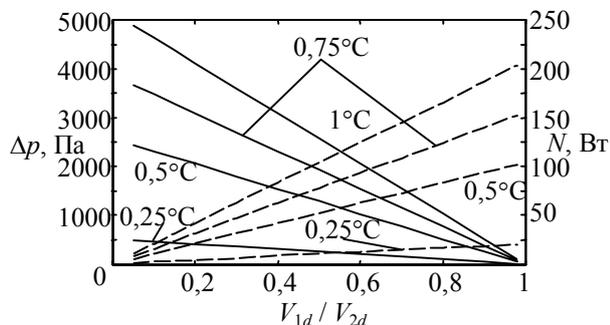


Рис. 4. Зависимость перепада давления Δp на клапане (—) и требуемой мощности N (---) от отношения объемов до и после клапана при разной степени нагрева воздуха и избыточном давлении 1,5 МПа

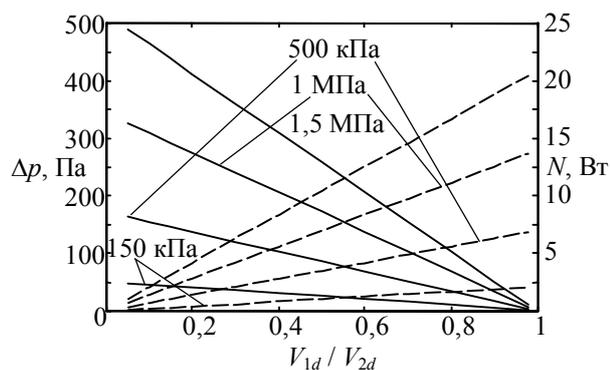


Рис. 5. Зависимость перепада давления Δp на клапане (—) и требуемой мощности N (---) от отношения объемов до и после клапана при разных значениях избыточного давления испытания и нагреве воздуха до 0,1°C

Для проверки выдвинутых предположений был собран лабораторный стенд. В качестве средств измерения служил датчик перепада давления Arlisen с максимальным перепадом давления 10 кПа и датчиком избыточного давления Endress+Hauser Cerabar M с диапазоном 0–200 кПа. Конструкция была собрана из набора сантехнических металлических элементов. В качестве клапанов использовались электромагнитные клапаны SMC с технологией «no leak». Меньший объем имел значение около 0,091 л. Объем пространства менялся за счет смены металлопластиковых труб различной длины.

Литература

1. Сухорукова И. Г. Анализ методов измерения герметичности конструкций для автоматического испытания запорной арматуры // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2009. Вып. XVII. С. 125–129.

Регистрация сигналов и управление клапанов осуществлялась с помощью контроллера Vira 200. Модуль аналогового ввода с 12-bit АЦП на входе. Младшему значащему разряду соответствовало 4,88 Па для дифференциального датчика и 97,65 Па для датчика избыточного давления.

Давление во время испытаний устанавливалось близкое к предельному значению датчика избыточного давления 200 кПа. В качестве нагревателей использовались по три инфракрасных диода IR LED F5 при токе 30 мА, которые обеспечивали выделение мощности 0,135 Вт. Данной небольшой мощности нагревателя и слабой чувствительности измерительного преобразователя оказалось достаточно для обнаружения отклонения на несколько МЗР при 5-секундном воздействии (рис. 6). Время релаксации теплотехнического состояния не превышало 15 с. Для разработки практических рекомендаций требуется увеличить чувствительность дифференциального преобразователя.

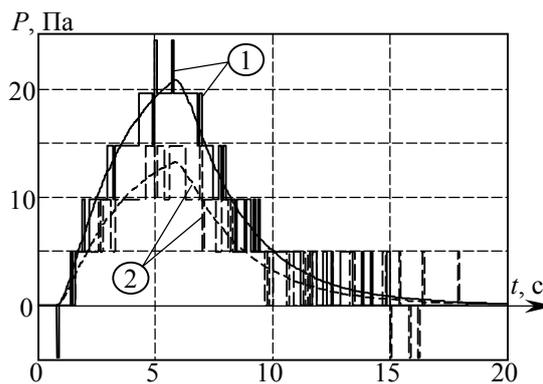


Рис. 6. Изменение перепада давления Δp и аппроксимация экспериментальных данных аperiодическими кривыми при соотношении объемов 1 : 4 до и после клапана (—) и 1 : 2 (---)

Заключение. Разработанные алгоритмы по повышению чувствительности дифференциального метода на линии высокого давления за счет активного воздействия позволяют повысить чувствительность установок испытания запорной арматуры на величину протечек. Для реализации данного алгоритма на существующих установках стендовых испытаний можно обойтись серийными приборами, выпускаемыми для автоматизации и управления.

2. Leak rate measuring device: pat. 7331216 USA, G01M 3/20 (20060101) / L. Gerdau, R. Rolff, R. Kilian; Assignee Inficon GmbH. No. 10/558,164; appl. 12.10.2004; filed 19.01.2008 // The United States Patent and Trademark Office. URL: <http://patft.uspto.gov/> (date of access 25.01.2015).

3. System and method for utility metering and leak detection: pat. 7412876 USA, IPC (20060101) G01M 3/02 (20060101) / L. Kates; Assignee Corona Del Mar. No. 11/761760; appl. 16.12.2007; filed 19.08.2008 // The United States Patent and Trademark Office. URL: <http://patft.uspto.gov/> (date of access 25.01.2015).

4. Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов: ГОСТ 9544–2005. Введ. 04.01.08. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. 14 с.

5. Гринюк Д. А., Оробей И. О., Сухорукова И. Г. Приборы измерения утечек запорной арматуры // *Материалы, технологии, инструменты*. 2009. № 4. С. 107–111.

6. Гринюк Д. А., Оробей И. О., Сухорукова И. Г. Оптимизация параметров алгоритма измерения для электромагнитного расходомера // *Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика*. 2006. Вып. XIV. С. 112–114.

References

1. Suhorukova I.G. Analysis methods for measuring the tightness of designs for automatic test stop valves. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VI, Physical-mathematical sciences and informatics, 2009, issue XVII, pp. 125–129 (In Russian).

2. Gerdau L., Rolff R., Kilian R. Leak rate measuring device. Patent USA, no. 7331216, 2008.

3. Kates L. System and method for utility metering and leak detection. Patent USA, no. 7412876, 2008.

4. GOST 9544–2005. Pipeline stop. Classes and leakproof standards. Minsk, Mezhsudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, Belorusskiy gosudarstvennyy institut standartizatsii i sertifikatsii Publ., 2008. 14 p. (In Russian).

5. Hryniuk D. A., Orobei I. O., Suhorukova I. G. Devices measuring leaks of valves. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials, Technologies, Tools], 2009, no. 4, pp. 107–111 (In Russian).

6. Hryniuk D. A., Orobei I. O., Suhorukova I. G. Optimization of algorithm parameters for measuring electromagnetic flowmeter. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VI, Physical-mathematical sciences and informatics, 2006, issue XIV, pp. 112–114 (In Russian).

Информация об авторах

Сухорукова Ирина Геннадьевна – ассистент кафедры информационных технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: irina_x@rambler.ru

Гринюк Дмитрий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: hryniuk@tut.by

Оробей Игорь Олегович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: orobei@tut.by

Information about the authors

Suhorukova Irina Gennadyevna – assistant, the Department of Information Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: irina_x@rambler.ru

Hryniuk Dmitry Anatolyevich – Ph. D. (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hryniuk@tut.by

Orobei Igor Olegovich – Ph. D. (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: orobei@tut.by

Поступила 02.03.2015