



**А. И. ВОЛОШИН,**  
чл.-корр. НАН Украины  
(ИГТМ НАН Украины)



**С. Н. ПОНОМАРЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(ИГТМ НАН Украины)



**Д. И. ГУБЕНКО,**  
инж.  
(ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля)

На предприятиях отрасли сжатый воздух, вырабатываемый шахтными компрессорными станциями, поступает к потребителям энергии по пневматическим сетям, основные элементы которых – магистральные и распределительные трубопроводы. В реальных условиях ведения горных работ герметичность соединенных трубопроводов шахтной

УДК 622.457.2:620.165.29

## Техника и технология контроля герметичности элементов шахтных пневматических сетей

Представлены результаты работ по созданию техники и технологии контроля герметичности элементов шахтных пневматических сетей. Приведена схема устройства контроля герметичности по методу фиксированных объемов. Описана технология оперативной оценки степени негерметичности объектов контроля с использованием разработанного и апробированного на практике устройства контроля герметичности.

**Ключевые слова:** устройство контроля герметичности, метод фиксированных объемов, утечка, степень негерметичности.

**Контактная информация:** worldlab.eg@gmail.com

пневматической сети значительно нарушается. Вследствие этого на действующих предприятиях отрасли пневматические сети – место наибольших потерь энергии при транспортировании сжатого воздуха [1, 2].

Исследования по проблемам снабжения пневмоэнергией шахтных потребителей показали, что работоспособность сжатого воздуха во время его транспортирования теряется за счет утечек – до 60–70 % подачи компрессорной станции [2–4]. Данную проблему на шахтах решают, как правило, выявляя «шипуну», воспринимаемые на слух. Поэтому, как показывает практика, меры по уменьшению потерь сжатого воздуха не обеспечивают существенное снижение непроизводительных потерь, а общий КПД пневмосистем на многих шахтах составляет менее 6 % [4]. В связи с этим возникает необходимость разработки техники и технологии систематического контроля состояния шахтной пневмосети для своевременного обнаружения и устранения утечек сжатого воздуха в случае нарушения герметичности труб и их соединений.

Существуют разные методы и способы контроля герметичности полых объектов (в том числе шахтных трубопроводных систем), которые можно применить на предприятиях отрасли. Наиболее распространен метод оперативного контроля – манометрический или метод «спада давления», основанный на определении спада давления контрольного газа за единицу времени [5, 6]. Основной его недостаток – существенные погрешности, вызванные влиянием градиентов параметров окружающей среды на результаты определения утечек контрольного газа.

Для оценки степени негерметичности шахтных трубопроводов и повышения эффективности их использования Институтом геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины совместно с НИЦ «Экология-Геос» созданы техника и тех-

нология контроля герметичности элементов шахтных пневматических сетей, в частности трубопроводов подачи сжатого воздуха [7]. В основе выполненных работ – метод фиксированных объемов, в котором герметичность контролируется в закрытом объеме термостата с размещением в нем компенсационной и эталонной емкостей одинакового объема и дифференциального датчика давления [7–9]. Устройство контроля герметичности, разработанное по методу фиксированных объемов (УКГФ), и его структурная схема представлены на рис. 1 и 2.

Основной элемент УКГФ – *пневмоблок* (рис. 3), размещенный в термостате, состоит из эталонной 15 и измерительной 7 емкостей, датчика перепада давления 6, соединительных трубопроводов и трех запорных вентилей 10, 11, 12 (см. рис. 2). Все элементы собраны на направляющих. Эталонная емкость 15 (см. рис. 2) предназначена для фиксирования параметров рабочей среды (давления и температуры) в начале испытаний и сохранения этого состояния в процессе выполнения измерений. Она представляет собой сосуд Дюара из меди с двумя штуцерами для подсоединения объекта испытаний и для установки в ее внутреннюю полость датчика температуры. Измерительная емкость (см. рис. 2), предназначенная для фиксирования параметров контрольной среды (давления и температуры) в объекте контроля в процессе выполнения измерений, аналогична эталонной емкости.

*Трубопроводы* служат для соединения элементов пневмоблока между собой и с объектом контроля. Они сварные и оснащены уплотнительными элементами, обеспечивающими герметичность соединений. Степень негерметичности соединений на стадии изготовления – не более  $1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ .

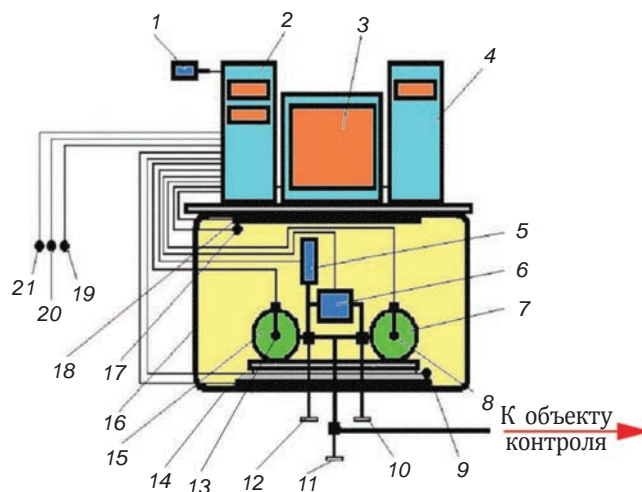
Благодаря запорным вентилям 10–12 открывают (закрывают) соединительные трубопроводы эталонной 15 и измерительной 7 емкостей и всего пневмоблока от объекта контроля (см. рис. 2). Степень негерметичности закрытых вентилей должна быть не более  $1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ .

*Термостат* 16 – медный цилиндр с крышками, двумя нагревательными элементами 14 и 18 сопротивлением 5 Ом (см. рис. 2) установлен с зазором в корпусе, заполненном утепли-

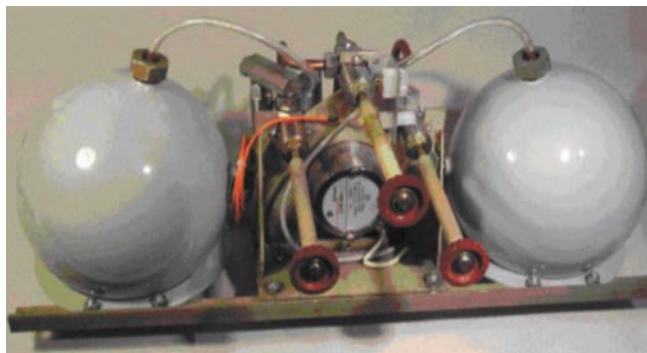


**Рис. 1.** Устройство контроля герметичности УКГФ.

телем из минеральной ваты. Прибор должен поддерживать заданную температуру постоянной во внутренней полости корпуса с точностью  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Термостат работает в автоматическом режиме, управляют им с помощью электронного блока измерения 2 (см. рис. 2), состоящего из блоков измерения температуры и давления, управления термостатом, обработки и анализа информации с дальнейшей



**Рис. 2.** Структурная схема УКГФ: 1 – датчик барометрического давления RPT 410F; 2 – электронный блок измерения; 3 – монитор ПК; 4 – системный блок ПК; 5 – датчик абсолютного давления RPT 200 STANDART; 6 – дифференциальный датчик перепада давления LPM 9481; 7 – компенсационная или измерительная емкость; 8, 9, 13, 17, 19, 20 и 21 – датчики температуры пьезокварцевых частотных термометров; 10, 11 и 12 – запорные вентили; 14, 18 – нагревательные элементы; 15 – эталонная емкость; 16 – термостат.



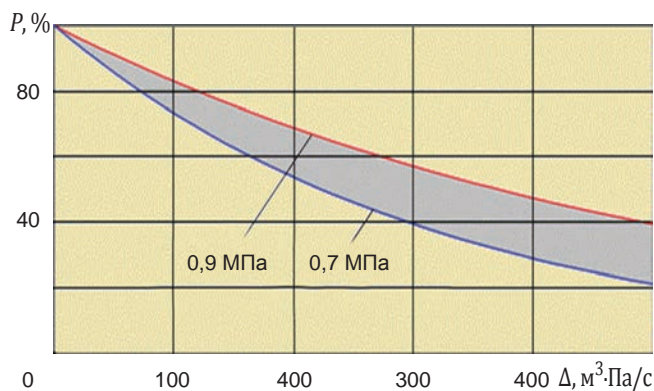
**Рис. 3.** Пневмоблок УКГФ.

ее передачей на жесткий диск ПК. Электронный блок измерения работает в автоматическом режиме, им управляют устройством приема, обработки и анализа информации.

Блок измерения температуры обеспечивает измерение температуры внутри эталонной 15 и измерительной 7 емкостей на нагревательных элементах 14, 18 (см. рис. 2), а также температуры рабочей среды на входе в пневмоблок и в двух точках на объекте контроля.

Для измерения температуры в УКГФ используются пьезокварцевые частотные термометры (ПКЧТ), которые представляют собой кварцевый термочувствительный резонатор с базовой частотой 5–10 МГц и аналого-цифровой преобразователь. Абсолютная погрешность измерений (при доверительной вероятности 0,95) в диапазоне температур от 0 до +500 °С не превышает  $\pm 0,03$  °С при разрешающей способности до  $10^{-5}$  °С.

Электронный блок измерения температуры прошел метрологическую аттестацию в На-



**Рис. 4.** Зависимость надежности  $P$  воздухопоснабжения шахтных потребителей от суммарной негерметичности  $\Delta$  шахтной пневматической сети.

циональном научном центре «Институт метрологии» и получил свидетельство.

Блок измерения давления (см. рис. 2) состоит из трех устройств измерения: абсолютного давления, барометрического и перепада давления, имеет табло, на котором текущие значения температуры отображаются в градусах Цельсия, а измеренного давления – в паскалях.

Низкопределительный датчик дифференциального давления мембранного типа серии LPM 9481 (фирма DRUCK, Англия) и аналого-цифровой преобразователь предусмотрены для измерения перепада давления между эталонными емкостями. Диапазон измерения перепада давления  $\pm 500$  Па при точности измерений  $\pm 0,1$  % верхнего предела измерений (ВПИ) в диапазоне температур от  $-20$  до  $+80$  °С.

Измерение барометрического и избыточного давления основано на использовании резонансного контура, в котором чувствительный элемент выполнен на кристалле кремния. В состав блока измерения входят два резонансных датчика давления повышенной точности серии RPT фирмы DRUCK и аналого-цифровой преобразователь.

Чтобы измерить барометрическое давление, применяют датчик RPT 410F с диапазоном измерения абсолютного давления до 110 кПа и точностью до  $\pm 50$  Па при температуре от  $-10$  до  $+50$  °С. Для измерения избыточного (рабочего) давления используют датчик RPT 200 с диапазоном измерения абсолютных давлений до 0,35 МПа и точностью  $\pm 0,01$  % ВПИ при температуре от  $-25$  до  $+60$  °С.

Электронный блок измерения давления прошел входной метрологический контроль в Национальном научном центре «Институт метрологии».

Технология определения степени негерметичности элемента шахтной пневматической сети с использованием УКГФ (см. рис. 2) заключается в следующем:

выбирают участок трубопровода, расположенный между двумя задвижками;

стравив воздух из выбранного участка контроля, к нему подсоединяют УКГФ;

заполняют сжатым воздухом исследуемый участок трубопровода (при закрытом на одном и открытом на другом конце участка контроля) и емкости 7 и 15 при открытых вентилях 10–12;

выдерживают время, необходимое для выравнивания давления во всей системе;

перекрывают один из вентилях (10 или 12) устройства УКГФ, а после непродолжительной паузы – другой и сравнивают параметры воздуха в емкостях.

Выполнив предварительные операции, оценивают степень негерметичности трубопровода шахтной пневматической сети в соответствии с инструкцией по эксплуатации УКГФ 01 00.000 ИЭ.

Компьютеризация контроля герметичности позволяет не только управлять процессом в автоматическом режиме и контролировать текущие изменения параметров сжатого воздуха, но и определять фактическую степень негерметичности объекта контроля в общепринятых размерностях.

Предлагаемая технология и устройство контроля герметичности прошли промышленную апробацию на изделиях ПО «Южный машиностроительный завод» при проведении сравнительных испытаний с использованием масс-спектрометрического (гелиевого) метода.

Помимо трубопроводов предлагаемую технику и технологию контроля герметичности можно применить для оценки степени негерметичности воздушных ресиверов, задвижек и других элементов пневматических сетей.

Расчеты, результаты которых приведены на рис. 4, показывают, что при подаче в шахтную пневматическую сеть сжатого воздуха давлением 0,7–0,9 МПа повышение степени суммарной негерметичности  $\Delta$  сети на 100 м<sup>3</sup>·Па/с позволяет повысить надежность  $P$  подачи сжатого воздуха шахтным потребителям до 20 %.

**Выводы.** Снижение степени негерметичности шахтных трубопроводов способствует уменьшению прямых энергозатрат и материально-технических ресурсов при использовании сжатого воздуха.

Использование УКГФ для оценки степени негерметичности элементов шахтной пневматической сети позволит минимизировать потери сжатого воздуха и повысить эффективность при снабжении энергией шахтного пневматического оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых* / [В. И. Бондаренко, А. М. Кузьменко, Ю. Б. Грядущий и др.]. – Днепропетровск: Полиграфист, 2002. – 730 с.
2. *Справочник горного инженера угольной шахты с крутым (крутонаклонным) залеганием пластов* / [С. С. Гребенкин, С. В. Янко, В. Н. Павлыш и др.]; под. общ. ред. С. В. Янко и С. С. Гребенкина. – Донецк: ВИК, 2011. – 420 с.
3. *О проблемах пневмоэнергетического комплекса шахт* / [Б.А. Грядущий, Г. В. Кирик, А. Н. Коваль и др.] // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2008. – № 1(11). – С. 2–5.
4. Булат А. Ф. Развитие научно-технических основ разработки и использования шахтного компрессорного оборудования / А. Ф. Булат, Б. В. Бокий, Г. В. Кирик // Геотехнічна механіка. – 2014. – Вип. 114. – С. 3–18.
5. *Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие* / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
6. Левина Л. Е. Манометрический метод контроля герметичности / Л. Е. Левина, С. Г. Сажин // Дефектоскопия. – 1980. – № 11. – С. 45–51.
7. *Свідоцтво* № 51675 про реєстрацію авторського права на твір наукового характеру «Техніка та технологія визначення ступеня негерметичності замкнутого об'єму, що знаходиться під надлишковим тиском» / [О. І. Волошин, А. Ф. Булат, С. М. Пономаренко, Д. І. Губенко та ін.] // Зареєстровано Держслужбою інтелектуальної власності України 10.10.2013 р.
8. *Волошин А. И. Основные достижения в области геотехнологий, систем трубопроводного пневмотранспорта, теплоэнергетики и контроля герметичности полых изделий* / А. И. Волошин // Геотехническая механика. – 2012. – Вып. 100. – С. 79–91.
9. *Bulat A. New-generation technique and technology for leakage tests* / VII International scientific-practical conference «School Underground Mining» / A. Bulat, O. Voloshyn, S. Ponomarenko, D. Gubenko // Mining of Mineral Deposits: Annual Scientific-Technical Collection. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. – P. 1–4.