

# Метод расчета величины утечки сжатого воздуха из систем на основе анализа переходных процессов

Г. В. ГОГРИЧАНИ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

**Аннотация.** Важной задачей, стоящей перед промышленностью, и в том числе перед железнодорожным транспортом, является возможное сокращение затрат на электрическую энергию. В этом отношении обращается внимание на работу компрессорных блоков и станций, направленную не только на обеспечение потребителя сжатым воздухом, но и на компенсацию утечки масс воздуха через неплотности в сетях и технологическом оборудовании. В статье предлагается инженерный метод определения величины утечек в любых технических комплексах в единицу времени и возможность обоснования необходимых затрат, направляемых на устранение этого вредного для производства процесса.

**Ключевые слова:** пневматические сети и системы; сжатый воздух; компрессор; давление воздуха; неплотность системы; утечки

**Введение.** Известно, что пневматические системы и сети сжатого воздуха характеризуются различными величинами утечек через неплотности [1, 2]. Это относится как к сетям различных заводов и депо, так и к тормозным системам железнодорожного транспорта. Устранение утечек в ряде случаев является важной практической задачей для повышения техники безопасности [3, 4, 5], и в том числе безопасности движения. Кроме этого, утечки влияют на режим работы компрессорного блока, увеличивая частоту его включения, что ведет к неоправданным затратам электроэнергии.

Устранение утечек является нередко непростой [6] и дорогостоящей задачей, в связи с чем перед

организацией такой работы полезно определить величину утечки воздуха в системе или сети, рассчитать экономические затраты по их уменьшению, а затем уже по этим затратам оценить целесообразность проведения соответствующих работ.

Для лучшего понимания приведенных ниже рассуждений воспользуемся графиком на рисунке. На нем изображен один полный автоматический цикл работы компрессорного блока на пневматическую сеть [7], где рабочее давление поддерживается в диапазоне  $P_1 - P_2$ . Существо изложенного ниже исследования состоит в определении массы сжатого воздуха, поступающего в пневматическую систему от компрессорного блока и расходуемого на восполнение утечек при работе его в диапазоне времени  $t_2 - t_3$ . При этом будет определяться полная масса сжатого воздуха в диапазоне давлений  $P_2 - P_1$  и вычитаться масса, поступающая на восполнение утечек, или, что одно и то же, масса величины утечки сжатого воздуха. Отметим, что процесс, показанный на рисунке в диапазоне времени  $t_1 - t_2$ , и есть естественная утечка сжатого воздуха через неплотности системы при отключенных потребителях.

Определим массу  $m_n$  сжатого воздуха при наполнении системы от давления  $P_1$  до давления  $P_2$  (интервал  $t_2 - t_3$ ). Для этого рассчитаем [8, 9] массу  $m_2$  при давлении  $P_2$  и массу  $m_1$  при давлении  $P_1$  (давления  $P_1$  и  $P_2$  заданы по условию задачи):

$$m_n = m_2 - m_1;$$

$$m_2 = \rho_2 V;$$

$$m_1 = \rho_1 V,$$

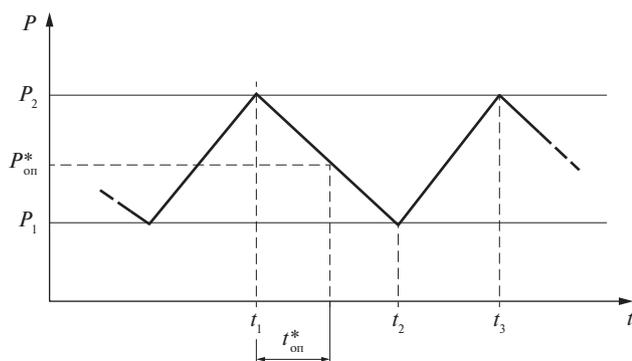
где  $\rho_2, \rho_1$  — значения плотности сжатого воздуха соответственно при давлениях  $P_2$  и  $P_1$ :

$$\rho_2 = \frac{P_2}{RT}, \rho_1 = \frac{P_1}{RT};$$

$R$  — газовая постоянная;  $T$  — температура сжатого воздуха в системе, К;  $V$  — объем пневматической системы.

Определим [10] массу  $m_y$  сжатого воздуха, который выходит в атмосферу как утечка из системы в процессе ее опорожнения (интервал времени  $t_1 - t_2$ ), но за время, равное процессу наполнения системы

■ E-mail: [ermolenko.dmitry@vniizht.ru](mailto:ermolenko.dmitry@vniizht.ru) (Г. В. Гогричани)



Цикл работы компрессорного блока  
Operating cycle of the compressor unit

(интервал времени  $t_2 - t_3$ ). Обозначим это время  $t_{\text{оп}}^*$ , т. е. примем  $t_{\text{оп}}^* = t_3 - t_2$ . Отложим эту величину на участке процесса опорожнения системы от давления  $P_2$  до давления  $P_1$  и по графику получим давление  $P_{\text{оп}}^*$ . Физический процесс в системе, характеризующийся в интервале  $P_2 - P_{\text{оп}}^*$  опорожением ее в связи с вытекающей через неплотности массой сжатого воздуха, будет идентичен процессу утечки сжатого воздуха в интервале давлений  $P_1 - P_2$  в процессе наполнения. Иными словами, рассчитав массу  $m_y$  в системе в диапазоне давлений  $P_{\text{оп}}^* - P_2$ , для  $\Delta t_{\text{оп}}^*$  определим тем самым массу утечки воздуха в диапазоне давлений  $P_1 - P_2$  в интервале времени  $t_2 - t_3$  процесса наполнения.

$$\text{Получим } m_y = m_2 - m_{\text{оп}}^*, \text{ где } m_{\text{оп}}^* = \rho_{\text{оп}}^* V = \frac{P_{\text{оп}}^*}{RT} V.$$

По значениям  $m_n$  и  $m_y$  определяется значение массы сжатого воздуха, поступающего в систему в процессе наполнения, без учета массы, поступающей в этом же процессе на восполнение утечек, т. е. это будет «полезная» масса. Эта масса была бы достаточной для повышения давления до значения  $P_2$  при отсутствии утечек за время  $t$ , которое меньше значения  $t_{\text{оп}}^*$ , т. е. при  $t < t_{\text{оп}}^*$ .

Таким образом, по значениям  $m_n$  за время  $t_2 - t_3$  и  $m_{\text{оп}}^*$  определяется полная масса  $M_n$  сжатого воздуха, потребляемая системой на восполнение утечек в одном цикле работы компрессора:

$$M_n = m_n + m_{\text{оп}}^*.$$

По числу  $n$  циклов работы компрессора в сутки получим массу потерь  $M_n n$ . Зная стоимость  $C$  единицы массы сжатого воздуха компрессора, определим затраты  $C_n$  в сутки только на восполнение утечек в пневматической сети:

$$C_n = C M_n n.$$

Затем определяем массу утечки сжатого воздуха в месяц или год.

По полученным данным принимается решение о целесообразности проведения работ по ликвидации утечки воздуха с учетом стоимости этих работ и сроков окупаемости.

**Вывод.** Предложен метод расчета непроизводительных затрат компрессорного блока на восполнение утечек воздуха из пневматической сети, основанный на использовании основополагающих положений термодинамики в сочетании с экспериментальным исследованием конкретной системы по определению в ней изучаемого переходного процесса. Метод позволяет определить величину утечек и целесообразность проведения ремонтных работ с учетом затрат и сроков окупаемости. Метод пригоден для всех систем и сетей без ограничения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 362 с.
2. Евенко В. И. Утечки воздуха в компрессоре свободнопоршневого генератора газа // Изв. вузов. Машиностроение. 1965. № 1. С. 14 – 16.
3. Карабин А. И. Сжатый воздух. М.: Машиностроение, 1964. 165 с.
4. Гогричани Г. В., Крылов В. В., Казаринов А. В. Перспективы развития динамических моделей пневматических тормозных систем поездов // Вестник ВНИИЖТ. 1985. № 5. С. 29 – 32.
5. Герц Е. В. Пневматические приводы. М.: Машиностроение, 1969. 359 с.
6. Гогричани Г. В., Шипилин А. В. Переходные процессы в пневматических системах. М.: Машиностроение, 1986. 160 с.
7. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1974. 447 с.
8. Гогричани Г. В., Казаринов А. В. Повышение точности измерений и регистрации давления сжатого воздуха при испытаниях тормозных систем подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. 2003. № 2. С. 3 – 6.
9. Гогричани Г. В. Теоретические аспекты централизованной автоматизированной разрядки автотормозов // Вестник ВНИИЖТ. 1994. № 6. С. 33 – 36.
10. Еловских Ю. П. К расчету рабочих процессов пневматических машин и механизмов // Вестник машиностроения. 1965. № 10. С. 6 – 8.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**ГОГРИЧАНИ Георгий Венедиктович**,  
д-р техн. наук, руководитель научно-консультационного центра АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 22.04.2016 г., принята к публикации 7.07.2016 г.

## Method of calculating the amount of leakage of compressed air from the systems based on the analysis of transient processes

G. V. GOGRICHIANI

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** An important task for the industry, including railway transport, is the possible reduction of electricity costs. In this regard, attention is drawn to the work of the compressor units and stations, aimed not only at providing the consumer with com-

pressed air, but also compensating for air mass leakage through leaks in networks and technological equipment. The article suggests an engineering method to determine the value of leakage in any technical complexes per unit of time and the possibility to estimate costs needed to eliminate this process which might be harmful to production.

■ E-mail: ermolenko.dmitry@vniizht.ru (G. V. Gogrichiani)

The essence of the proposed method is to analyze one element of automatic operation cycle of the compressor unit together with the pneumatic network when consumers are switched off, where the operating pressure is maintained within a predetermined range. This is defined by the mass of compressed air supplied to the pneumatic network from the compressor and spent on making-up for the leak, i.e. the quantities of compressed air which get through leakiness of the system.

**Keywords:** pneumatic networks and systems; compressed air; compressor; air pressure; system leakiness; leaks

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-5-318-320>

#### REFERENCES

1. Kasatkin A. G. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii* [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, Khimiya Publ., 1973, 362 p.
2. Evenko V. I. *Utechki vozdukh v kompressore svobodnoporshnevogo generatora gaza* [Air leaks in the compressor free piston gas generator]. *Izv. Vuzov* [Newsletter of Universities]. Moscow, Mashinostroenie [Machinery engineering] Publ., 1965, no. 1, pp. 14–16.
3. Karabin A. I. *Szhatiy vozdukh* [Compressed air]. Moscow, Mashinostroenie [Machinery engineering] Publ., 1964, 165p.
4. Gogrichiani G. V., Krylov V. V., Kazarinov A. V. *Perspektivy razvitiya dinamicheskikh modeley pnevmaticheskikh tormoznykh sistem poezdov* [Prospects for the development of dynamic models of pneumatic brake systems in trains]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1985, no. 5, pp. 29–32.
5. Gerts E. V. *Pnevmaticheskie privody* [Pneumatic drivers]. Moscow, Mashinostroenie [Machinery engineering] Publ., 1969, 359 p.
6. Gogrichiani G. V., Shipilin A. V. *Perekhodnye protsessy v pnevmaticheskikh sistemakh* [Transient processes in pneumatic systems]. Moscow, Mashinostroenie [Machinery engineering] Publ., 1986, 160 p.
7. Kirillin V. A., Sychev V. V., Sheyndlin A. E. *Tekhnicheskaya termodinamika* [Technical thermodynamics]. Moscow, Energia Publ., 1974, 447 p.
8. Gerts E. V., Kreynin G. V. *Dinamika pnevmaticheskikh sistem mashin-avtomatov* [Dynamics of pneumatic systems of automatic machines]. Moscow, Mashinostroenie [Machinery engineering], 1964, 236 p.
9. Gogrichiani G. V. *Teoreticheskie aspekty tsentralizovannoy avtomatizirovannoy razryadki avtotormozov* [Theoretical aspects of centralized automated discharge of auto brakes]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], no. 6, 1994, pp. 33–36.
10. Elovskikh Yu. P. *K raschetu rabochikh protsessov pnevmaticheskikh mashin i mekhanizmov* [On the calculation of work processes of pneumatic machinery]. *Vestnik Mashinostroenia* [Vestnik of machinery engineering], 1965, no. 10, pp. 6–8.

#### ABOUT THE AUTHOR

**GOGRICHIANI Georgiy Venediktovich**,  
Dr. Sci.(Eng.), Head of scientific-consulting center of JSC “VNIIZhT”

Received 22.04.2016

Accepted 07.07.2016

## «Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ.

#### Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: [journal@vniizht.ru](mailto:journal@vniizht.ru).

**Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья** могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства АО «МК-Периодика» ([www.periodicals.ru](http://www.periodicals.ru)).