



**ВЕСТНИК
ДОНЕЦКОЙ АКАДЕМИИ
АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА**

**№2
2017**

**VESTNIK
DONESKOJ AKADEMII
AVTOMOBIL'NOGO
TRANSPORTA**

Научный журнал

Транспортные технологии

Транспорт и двигатели внутреннего сгорания

Надежность и долговечность механизмов машин

Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог

Выходит 4 раза в год

Издается с января 2004 года

Донецк
2017

Учредитель:
ДОНЕЦКАЯ АКАДЕМИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

<i>ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА</i>	Энглези И.П., ректор Академии, к.т.н., доцент
<i>ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА</i>	Сунцов Н.В., д.х.н., профессор
<i>ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ</i>	Белов Ю.В., к.т.н., доцент

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Александров В.Д., Балабин И.В. (Российская Федерация), Белов Ю.В., Белоусов В.В., Братчун В.И., Власов В.М. (Российская Федерация), Гасанов Б.Г. (Российская Федерация), Доля А.Г., Зырянов В.В. (Российская Федерация), Кондрахин В.П., Макаров В.А. (Республика Беларусь), Мельникова Е.П., Миротин Л.Б. (Российская Федерация), Мищенко Н.И., Паламарчук Н.В., Пенчук В.А., Сильянов В.В. (Российская Федерация), Солнцев А.А. (Российская Федерация), Чепцов М.Н., Шамота В.П., Шатров М.Г. (Российская Федерация)

Рекомендовано к печати ученым советом Донецкой академии автомобильного транспорта
Протокол № 10 от 29.06.2017 г.

Свидетельство о государственной регистрации: серия КВ № 15 936-4408 ПР от 02.12.2009 г., выдано Министерством юстиции Украины.

Издание зарегистрировано и обрабатывается в международных наукометрических системах РИНЦ (Российская Федерация), «Index Copernicus» (Польша), «Google Scholar».

Электронная версия издания предоставляется в свободный доступ на собственном сайте журнала «Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта», на платформе Научной электронной библиотеки eLibrary.ru и на сайте Национальной библиотеки Украины имени В.И. Вернадского.

Издание отображается в реферативной базе данных «Україніка наукова».

В журнал вошли статьи сотрудников, магистрантов, аспирантов и докторантов Донецкой академии автомобильного транспорта и других учебных заведений

За достоверность фактов, цифр, точность имен и фамилий несут ответственность авторы статей.

Материалы номера печатаются на языке оригинала

Издатель: ЧП «Рекламно-издательская фирма «Молния»
Адрес: ул. Октября, 22 а, г. Донецк, 83030

Адрес учредителя и редакции: пр. Дзержинского, 7, г. Донецк, 83086
тел.: +38 (062) 345-21-90; e-mail: nauka@diat.edu.ua, rector@diat.edu.ua;
сайт журнала: <http://journal.diat.edu.ua/>

Издание публикуется с 2004 г.:

2004-2009 гг. – Вестник Донецкого института автомобильного транспорта
с 2009 г. – Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта

УДК 629.3:629.4

ГУЩИН А.М., к. т. н., доцент,
Донецкий институт железнодорожного транспорта;
ВОЛОДАРЕЦ Н.В., к. т. н.; ПРИЛЕПСКИЙ Ю.В., к.т.н., доцент,
Донецкая академия автомобильного транспорта;
БОНДАРЬ Е.А., к.т.н.; БОНДАРЬ А.А., инженер,
Донецкий национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УТЕЧЕК ВОЗДУХА В ТОРМОЗНОЙ МАГИСТРАЛИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Предложен способ определения утечек воздуха в тормозной магистрали по данным измерений давления и температуры в главном резервуаре, из которого производится подпитка тормозной магистрали для компенсации утечек воздуха в элементах тормозной системы.

Ключевые слова: утечка воздуха, тормозная магистраль, состояние газа, температура, давление.

Постановка задачи

Утечки воздуха из тормозной системы поезда, помимо увеличенного расхода топлива или электроэнергии на дополнительную работу компрессора или насоса, вызывают замедление зарядки и отпуска тормозов, преждевременный отпуск, заклинивание колесных пар вследствие самоторможения.

Утечки в тормозной магистрали включают в себя утечки в аппаратах тормозной системы, объединяемых тормозной магистралью [1-3]. Величина этих утечек определяет в значительной степени эффективность работы тормозов в поезде и, соответственно, безопасность движения на железной дороге. В связи с этим контроль плотности тормозной магистрали и значение величины утечек воздуха в ней является важным вопросом.

В тормозной магистрали утечки воздуха можно определять путем прямых измерений расхода воздуха или путем измерения параметров состояния воздуха в резервуаре с последующим пересчетом скорости изменения количества воздуха в нем, что соответствовало бы расходу воздуха на компенсацию утечек в тормозной магистрали. В первом случае необходима установка датчиков скорости в тормозной магистрали, разработка и установку прибора, показывающего расход воздуха в тормозной магистрали.

Во втором случае в главном резервуаре достаточно измерять давление, которое фактически измеряется, и температуру воздуха в резервуаре, а затем по этим данным пересчетом определять интенсивность уменьшения количества воздуха в резервуаре, что соответствовало бы расходу воздуха в тормозной магистрали.

Цель работы

В рамках данной работы разрабатывался способ определения утечки воздуха в тормозной магистрали по данным измерения давления и температуры в главном резервуаре.

Основная часть

В период между включениями компрессора знание текущих значений, например, давления и температуры однозначно определяет массу воздуха в главных резервуарах. Это следует из уравнения состояния газа (уравнения Клапейрона) [4-5]

$$P \cdot V = G \cdot R \cdot T, \quad (1)$$

где P и T – давление и температура воздуха в главном резервуаре;
 G – масса воздуха в нем;
 R – удельная газовая постоянная для воздуха, равная 287 Дж/(кг·К).

Из приведенного уравнения следует, что в любой момент времени по замеренным величинам давления и температуры можно определить массу воздуха в главном резервуаре

$$G = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}, \quad (2)$$

По двум измерениям давления и температуры воздуха в резервуаре можно определить количество воздуха, вышедшего из главного резервуара за время $\Delta \tau$

$$\Delta G = G_1 - G_2 = \frac{P_1 \cdot V}{R \cdot T_1} - \frac{P_2 \cdot V}{R \cdot T_2} = \frac{V}{R} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right), \quad (3)$$

Интенсивность потерь воздуха в главном резервуаре, а, следовательно, и интенсивность утечек в тормозной магистрали определяется по соотношению

$$G_{ym} = \frac{\Delta G}{\Delta \tau} = \frac{V}{R \cdot \Delta \tau} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right), \quad (4)$$

где $\Delta \tau$ – интервал времени между двумя измерениями давления и температуры в главном резервуаре.

Объемный расход утечек газа ($\text{м}^3/\text{с}$) определяется по формуле

$$Q_{ym} = G_{ym} \cdot \mathcal{G}_{ym}, \quad (5)$$

где \mathcal{G}_{ym} – удельный объем газа в утечках.

Из уравнения состояния воздуха в форме $P_{ym} \cdot \mathcal{G}_{ym} = RT_{ym}$ значение удельного объема будет составлять

$$\mathcal{G}_{ym} = \frac{R \cdot T_{ym}}{P_{ym}}, \quad (6)$$

где P_{ym} и T_{ym} – давление и температура воздуха в тормозной магистрали.

Тогда объемный расход воздуха в утечках составит

$$Q_{ym} = \frac{V}{\Delta \tau} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) \frac{T_{ym}}{P_{ym}}, \quad (7)$$

Значение утечек по массе можно определять и иным способом.

Значение массы воздуха в резервуаре, определяемое по формуле (2) в отдельные моменты времени наносят на диаграмму $G-\tau$. Получим некоторую кривую, характеризующую величину утечек в тормозной магистрали.

Схематическое изображение такой кривой показано на рисунке 1.

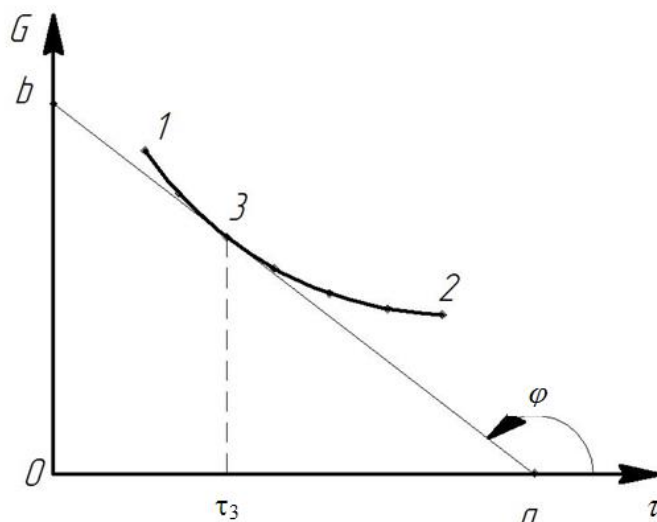


Рис.1. Характер изменения массы воздуха в главном резервуаре

Интенсивность потери массы воздуха в главном резервуаре, а, соответственно, интенсивность утечек в тормозной магистрали, с использованием графика на рисунке 1 может быть определена как тангенс угла наклона к оси τ касательной к кривой $G=f(\tau)$.

Например, для момента времени τ_3 интенсивность утечек $dG/d\tau$, будет соответствовать углу наклона касательной к линии $G-\tau$ в точке 3.

Применительно к приведенному рисунку тангенс угла наклона касательной ab к абсциссе 0τ будет равен

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{dG}{d\tau} = \frac{0b}{0a} = G_{ym} \quad (8)$$

Далее по формулам (5 - 7) определяются объемные утечки в тормозной магистрали.

Для расчетов по формуле (7) необходимо знать отношения P_1/T_1 и P_2/T_2 , при этом отношение T_{yt}/P_{yt} можно принимать равным отношению T_2/P_2 , если определяется объемный расход, например, тормозной магистрали недалеко от главных резервуаров.

Отношение P_2/T_2 , если определяется объемный расход, например, тормозной магистрали недалеко от главных резервуаров.

Отношение P_2/T_2 зависит в основном от характера процесса теплообмена воздуха в главных резервуарах с атмосферным воздухом. Характер этого теплообмена зависит в данном случае от температуры наружного воздуха и от условий теплообмена, которые в свою очередь определяются условиями обдува главных резервуаров, коэффициента теплопередачи.

Такие закономерности в настоящее время не изучены, это требует проведения специальных исследований.

В настоящей работе сделана попытка оценить объемные утечки в тормозной магистрали для двух крайних случаев: при изотермическом и при адиабатном изменении состояния воздуха в главных резервуарах. При этом изотермическое состояние воздуха может иметь место при медленном истечении, то есть, при малых утечках, когда снижение температуры воздуха при

понижении давления воздуха в главных резервуарах компенсируется теплообменом с атмосферным воздухом.

Адиабатное изменение состояния воздуха в главных резервуарах будет иметь место при совершенной теплоизоляции упомянутых резервуаров.

Рассмотрим изометрическое состояние воздуха в процессе его истечения.

Для двух моментов времени истечения можно записать два уравнения состояния газа:

$$P_1V = G_1RT \text{ и } P_2V = G_2RT \quad (9)$$

Из этих уравнений следует:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{G_1}{G_2}. \quad (10)$$

Соотношение (10) можно записать в иной форме

$$\frac{G_1}{G_1 - \Delta G} = \frac{P_1}{P_1 - \Delta P}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) находим потерю массы воздуха в главных резервуарах ΔG

$$\Delta G = G_1 \frac{\Delta P}{P_1}. \quad (12)$$

Начальную массу воздуха G_1 можно выразить по одному из уравнений (9), а величину ΔG через изменение объема ΔV , равное суммарной утечке воздуха ΔV по соотношению

$$\Delta V = \Delta G \cdot v, \quad (13)$$

где v – удельный объем воздуха.

Если принять, что параметры состояния воздуха соответствуют давлению P_2 , то

$$v = \frac{RT}{P_2}. \quad (14)$$

С учетом соотношений (12...14) суммарные утечки ΔV определяются по уравнению

$$\Delta V = \frac{P_1V}{RT} \cdot \frac{\Delta P}{P_1} \cdot \frac{RT}{P_2} = V \frac{\Delta P}{P_2} = V \frac{\Delta P}{P_1 - \Delta P}, \quad (15)$$

Объемный расход воздуха в тормозной магистрали при известном времени истечения τ определяется по формуле

$$Q'_{ym} = \frac{\Delta V}{\tau} = \frac{V}{\tau} \cdot \frac{\Delta P}{P_1 - \Delta P} = \frac{V}{\tau} \cdot \frac{\Delta P / P_1}{1 - \Delta P / P_1}, \quad (16)$$

Далее рассмотрим второй (крайний) случай изменения состояния воздуха в главных резервуарах в процессе истечения (адиабатное).

Из уравнений (9) для адиабатного процесса вытекает соотношение:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{G_1 T_1}{G_2 T_2}. \quad (17)$$

Для последнего уравнения необходимо найти отношение температур T_1/T_2 .

Для адиабатного процесса имеет место соотношение

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (18)$$

Из соотношений (17) и (18) следует:

$$\frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (19)$$

В уравнении (19) сделаем замены:

$$G_2 = G_1 - \Delta G; P_2 = P_1 - \Delta P, \quad (20)$$

тогда из уравнения (20) можно получить выражение для определения ΔG

$$\Delta G = G_1 \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1} \right)^{1/k} \right]. \quad (21)$$

Согласно соотношениям (13) и (14) изменение массы газа в резервуарах ΔG можно заменить объемным расходом ΔV

$$\Delta V = \frac{RT_2}{P_2} G_1 \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1} \right)^{1/k} \right]. \quad (22)$$

После замены $G_1 = \frac{P_1 V}{RT_1}$ уравнение (22) переписется в форме

$$\Delta V = V \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1} \right)^{1/k} \right]. \quad (23)$$

Отношение температур T_2 / T_1 в уравнении (23) заменяем по (18)

$$\begin{aligned}\Delta V &= V \cdot \frac{P_1}{P_2} \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1}\right)^{1/k}\right] = V \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/k} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1}\right)^{1/k}\right] = \\ &= V \cdot \left[\left(\frac{P_1}{P_1 - \Delta P}\right)^{1/k} - 1\right] = V \cdot \left[\left(\frac{1}{1 - \Delta P/P_1}\right)^{1/k} - 1\right].\end{aligned}\quad (24)$$

Объемный расход в утечках тормозной магистрали составит

$$Q_{ym} = \frac{\Delta V}{\tau} = \frac{V}{\tau} \cdot \left[\left(\frac{1}{1 - \Delta P/P_1}\right)^{1/k} - 1\right]. \quad (25)$$

В работе [6] сказано, что допустимое время снижения давления в главных резервуарах равно времени снижения давления в них на 0,5 атм от давления $P_1=8$ атм. Используя эти данные можно рассчитать допустимые утечки воздуха для разной длины поезда для двух крайних условий изменения состояния воздуха в главных резервуарах в процессе истечения воздуха из них.

Значения расхода воздуха в этих случаях можно определять по формулам (16) и (25).

В формуле (16) вычислим значение величины

$$F_1 = (\Delta P/P_1)/(1 - \Delta P/P_1). \quad (26)$$

Значение $\Delta P/P_1$ вычислим при условии, что давление P_1 - это избыточное (манометрическое) давление

$$F_1 = \frac{0,5/(8+1)}{1 - 0,5/(8+1)} = 0,05882. \quad (27)$$

Тогда формула (16) для определения расхода воздуха в тормозной магистрали при изотермическом процессе в главных резервуарах выразится соотношением

$$Q'_{ym} = 0,05882 \frac{V}{\tau}. \quad (28)$$

В формуле (25) обозначим величину $F_2 = \left[\left(\frac{1}{1 - \Delta P/P_1}\right)^{1/k} - 1\right]$, тогда

$$F_2 = \left[\left(\frac{1}{1 - \Delta P/P_1}\right)^{1/k} - 1\right] = \left[\left(\frac{1}{1 - 0,5/9}\right)^{1/k} - 1\right] \quad (29)$$

Для воздуха показатель адиабаты $k=1,4$. Тогда F_2 составит 0,04167 и формулу (25) можно представить в виде

$$Q''_{ym} = 0,04167 \frac{V}{\tau}. \quad (30)$$

Используя формулы (28) и (30) определим значения расходов воздуха в тормозной магистрали для различной длины поезда.

Расчеты выполним для одной группы локомотивов: ВЛ10, 2ТЭ10, 2ТЭ116, ТЭЗ, ТГ16, ТГ20, ТГ102, ВЛ11^М, ВЛ85. Результаты расчетов при $V=10 \text{ м}^3$ сведем в таблицу 1.

Из приведенной таблицы видно, что расчетные расходы утечек в тормозной магистрали при изотермическом процессе в главных резервуарах ($Q'_{ум}$) в 1,41 раз больше, чем при допущении об адиабатном процессе. Это говорит о том, что для более точного расчета этих утечек при разных технических условиях необходимо проведение специальных исследований для случая полнотропного изменения состояния воздуха в главных резервуарах.

Таблица 1

Значения расходов воздуха в тормозной магистрали при разной длине поезда

Длина поезда, кол. осей	До 100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500
Время испытания, с	90	65	50	45	35	31	28	25	21
$Q'_{ум}$, $\text{м}^3/\text{с}$ (изотермическое истечение)	0,00654	0,00905	0,01176	0,01307	0,01681	0,01897	0,02101	0,02353	0,02801
$Q''_{ум}$, $\text{м}^3/\text{с}$ (адиабатическое истечение)	0,00463	0,00641	0,00833	0,00926	0,01191	0,01344	0,01488	0,01667	0,01984

Однако и эти граничные расчеты позволяют судить о расходе воздуха в тормозной магистрали, что позволяет обоснованно выбирать типоразмеры измерительных приборов для измерений расходов воздуха в тормозной магистрали при проведении экспериментальных исследований.

Выводы

Предложены расчетные зависимости непрямого определения утечек воздуха в тормозной магистрали по данным о значениях давления и температуры воздуха в главном резервуаре машины. Способ может применяться в промежутках между включениями компрессора, поддерживающего давление воздуха в главном резервуаре подвижного состава в заданных пределах.

Список литературы

1. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава: Учебное пособие для ВУЗов ж-д транспорта. М.: Маршрут, 2006. - 392 с.
2. Галай, Э. І. Тармазы цягнікоў: вучэб. дап. для ВНУ / Э. І. Галай; Беларус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелДУТ, 1999. – 100 с.
3. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. М.: Транспорт – Трансинфо, 2002. - 123 с.
4. Беккер Р. Теория теплоты. М.: Энергия, 1974. -574 с.
5. Гиббс Дж. Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука. 1982. — 488 с.

Гущин А.М., Володарець М.В., Прилепський Ю.В., Бондар О.А., Бондар О.О. Визначення параметрів витоків повітря в гальмівній магістралі транспортного засобу

***Анотація.** Запропоновано спосіб визначення витоків повітря в гальмівній магістралі за даними вимірів тиску і температури в головному резервуарі, з якого виконується підживлення гальмівної магістралі для компенсації втрат повітря в елементах гальмівної системи.*

***Ключові слова:** витік повітря, гальмівна магістраль, стан газу, температура, тиск.*

Gushchin A.M., Volodarets M.V., Prylepsyki Yu.V., Bondar O.A., Bondar O.O. Determination of the parameters of air leaks in the brake pipe vehicle

***Abstract.** It is proposed a method for determining air leaks in the brake line from pressure and temperature measurements in the main reservoir, from which the brake line is recharged to compensate for air losses in the elements of the brake system.*

***Keywords:** air leakage, brake line, gas condition, temperature, pressure.*

Стаття надійшла до редакції 27.04.2017 р.