

# Экспериментальная оценка влияния числа воздухораспределителей объектов машиностроения на скорость распространения тормозной волны

Г. И. Петров, В. Н. Филиппов, А. А. Кулага, И. К. Сергеев

Рассмотрены вопросы функционирования системы управления тормозами объекта машиностроения (грузового поезда).

Предложена гипотеза возможности улучшения текущей тормозной системы при изменении ее конфигурации. Приведены практические рекомендации по улучшению действующей тормозной системы грузовых вагонов.

Рассмотрена возможность внедрения приборов-ускорителей газодинамических процессов в станкостроительную промышленность.

**Ключевые слова:**

тормозная система вагона, автоматические тормоза, безопасность движения, тормозная волна, газодинамика, системы автоматического управления

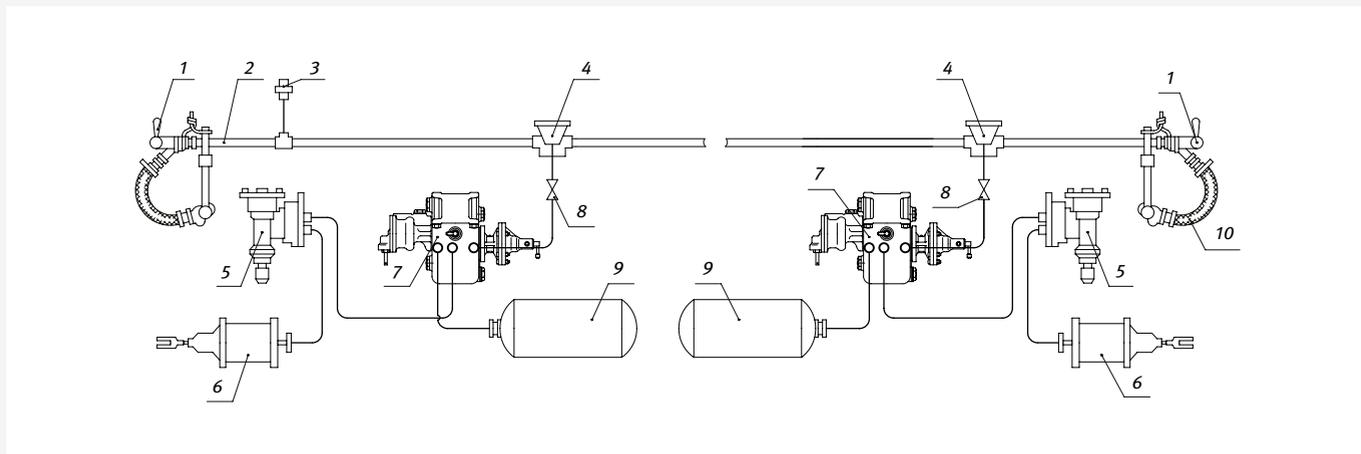
УДК 656.2/629.4.064 | ВАК 2.5.2

DOI: 10.22184/2499-9407.2023.30.1.74.78

Для управления объектами машиностроения широко используются тормозные системы. Например, на железнодорожном транспорте для управления движением поездов применяются тормозные системы, состоящие из блока управления, расположенного на локомотиве, и исполнительных блоков на вагонах. Передача информации от блока управления вдоль состава осуществляется с использованием пневматического трубопровода. Фактически управление осуществляется за счет изменения давления в тормозной магистрали. На это изменение реагируют исполнительные механизмы единиц подвижного состава, которые, помимо принятия сигнала, осуществляют регулирование давления в тормозных цилиндрах и выполняют роль усилителя при

передаче информации через тормозную систему. Для этой цели имеется специальный орган, обеспечивающий дополнительную разрядку тормозной магистрали.

В связи с тем, что блок управления и исполнительные блоки могут находиться на большом удалении (от одного до двух километров), функционирование такой системы зависит от качества передачи сигнала по тормозной магистрали. При этом следует иметь в виду, что качество передачи управляющего сигнала зависит, в свою очередь, как от плотности тормозной магистрали, характеризуемой величиной снижения давления в тормозной магистрали в единицу времени, так и от помех, обусловленных дросселированием. Процесс дросселирования имеет особенно



**Рис. 1.** Схема пневматической части тормозной системы вагона при установке двух воздухораспределителей : 1 – концевой кран; 2 – тормозная магистраль; 3 – стоп-кран; 4 – тройник-пылеловка; 5 – авторежим; 6 – тормозной цилиндр; 7 – грузовой воздухораспределитель; 8 – кран разобщительный; 9 – запасный резервуар; 10 – рукав соединительный

интенсивный характер в таких элементах, как концевые краны, соединительные рукава и другие места соединений магистрального трубопровода.

В условиях эксплуатации в тормозной магистрали подвижного состава могут накапливаться грязь, снег, наледь и т. д., что негативно сказывается на качестве ее работы в качестве основного канала управления тормозами поезда. В этой связи возрастает необходимость повышения чувствительности тормозной системы к исполнительным командам от блока управления за счет использования свойств воздухораспределителей – исполнительных органов, обеспечивающих дополнительную разрядку магистрали.

Исследование этого вопроса является предметом настоящей работы. Результаты такого исследования могут быть использованы и в других системах управления, основанных на пневматических или гидравлических процессах. Например, разработка устройств-ускорителей, аналогичных воздухораспределителям вагонов, позволит повысить устойчивость процессов технологии обработки деталей на различных станках.

В последнее время на отечественных железных дорогах заметна тенденция роста массы и длины грузовых поездов. При этом применяемое тормозное оборудование проектировалось с учетом ряда ограничений, и его эффективность может быть обеспечена на поездах, длина которых не превышает величины, определяемой особенностями конструкции тормозных систем. Учитывая сказанное, возникает необходимость усовершенствования тормозных систем длинно-составных поездов с целью обеспечения высокой эффективности торможения и соблюдения должного уровня безопасности движения. Это приобретает особую актуальность при учете расширения эксплуатации цистерн для опасных

грузов и возможных последствий нарушения безопасности движения в случае применения этих типов вагонов [6].

К числу возможных модификаций может быть отнесена концепция установки двух воздухораспределителей (ВР) на вагон (по одному прибору на каждую тележку), схема такой тормозной системы представлена на рис. 1.

Гипотеза, лежащая в основе данной концепции, заключается в том, что в процессе торможения за счет дополнительной разрядки каждого воздухораспределителя скорость тормозной волны должна повышаться, так как было увеличено число воздухораспределителей. Гипотеза нуждается в подтверждении. В этих целях при помощи тормозной лаборатории кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ(МИИТ) был проведен эксперимент.



**Рис. 2.** Фотоснимок групповой тормозной станции кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ(МИИТ)

Таблица 1. Исходные данные для эксперимента с тормозной станцией

Доля ВР	Включение ВР на вагоне																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
100%	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
50%	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-

Тормозная система грузового поезда имитировалась на групповой тормозной станции. Полная длина воздухопровода составляет 600 м и содержит 20 комплектов тормозных приборов вагонов, в которые входит автоматический воздухораспределитель ВР № 483. (рис. 2).

Учитывая имеющиеся материально-технические мощности, было целесообразно провести эксперименты, указанные в табл. 1. Целесообразно на каждый режим включения проводить несколько опытов, чтобы нивелировать статистическую погрешность. Во всех опытах определялось время по сдвигу манометра на хвостовом вагоне. Испытывались режимы полного служебного и экстренного торможения.

Отметим, что длина трубопровода испытательной станции составляет 600 м. При этом на эту длину предусмотрена расстановка только 20 воздухораспределителей, что связано с габаритами лаборатории, в которой находится станция. Этот факт требует проведения линейной интерполяции для получения значений, соответствующих удвоенному числу воздухораспределителей на составе (40 вагонов на длине 600 м). Только в этом случае экспериментальные данные могут сравниваться с ранее проведенными исследованиями других ученых. Результаты

Таблица 2. Интерполированные результаты экспериментальных данных

Процент включения ВР в тормозной системе		Время по сдвигу манометра на хвостовом вагоне, с
100%	ПСТ	4,1
	ЭТ	3,9
50%	ПСТ	5,1
	ЭТ	4,9
Процент включения ВР в тормозной системе		Скорость распространения тормозной волны, м/с
100%	ПСТ	272
	ЭТ	289
50%	ПСТ	216
	ЭТ	223

экспериментов с учетом процедуры линейной интерполяции представлены в табл. 2.

Согласно полученным данным достигаемый эффект составляет около 20% для ПСТ и 23% для ЭТ при сокращении числа воздухораспределителей состава вдвое (ПСТ – полное служебное торможение, ЭТ – экстренное торможение). Полученные значения натурального эксперимента по определению скорости распространения тормозной волны нуждаются в верификации. Необходим дополнительный источник, подтверждающий истинность выводов из проведенного эксперимента. В качестве такого источника могут выступить ранее проведенные исследования, основной или дополнительной целью которых являлось изучение процессов распространения тормозной волны по длине состава.

Большой вклад в исследование тормозных процессов и разработку тормозных приборов внес известный советский ученый В. Г. Иноземцев [1, 3]. В списке его многочисленных работ особого внимания заслуживает пособие, в котором был предложен ряд эмпирических зависимостей, характеризующих основные тормозные процессы [1]. В указанной работе была представлена расчетная формула времени разрядки тормозной магистрали до достижения в ней определенного давления:

$$t = \frac{2\alpha Kl}{\pi c} \sqrt{Y \frac{\Delta p \lambda l}{2d_0(p_H + p_K)}}, \tag{1}$$

где:  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий величину разрядки запасных резервуаров при торможении;  
 $K$  – отношение общего объема тормозной сети к объему тормозной магистрали;  
 $l$  – длина тормозной магистрали, м;  
 $c$  – скорость звука в воздушной среде, м/с;  
 $Y$  – показатель степени экспоненциальной функции, описывающей характер протекания процесса изменения давления в тормозной магистрали;  
 $\Delta p$  – величина разрядки тормозной магистрали крайнем машиниста, МПа;  
 $\lambda$  – коэффициент сопротивления единицы длины тормозной магистрали;  
 $d_0$  – диаметр трубопровода тормозной магистрали, мм;

$p_H$  – давление на головном участке тормозной магистрали состава, МПа;

$p_K$  – давление на хвостовом участке тормозной магистрали состава, МПа.

Используя выражение (1), можно провести верификацию полученных данных. Известно, что для случая полного служебного торможения воздухораспределители состава срабатывают на торможение при величине разрядки тормозной магистрали на  $\Delta p = 0,04$  МПа. Таким образом, можно оценить время наступления установившегося процесса в магистрали после торможения, что будет сопоставимо со временем по сдвигке манометра хвостового вагона в проведенном опыте. При выполнении расчета были использованы рекомендованные значения коэффициентов и параметры трубопровода из [1]:

$$t = \frac{2 \cdot 5 \cdot 1100}{3,14 \cdot 330} \sqrt{4,5 \cdot \frac{0,04 \cdot 0,066 \cdot 1110}{2 \cdot 31,75(0,55 + 0,52)}} = 4,08 \text{ с.}$$

Отметим, что полученное значение отличается от экспериментально полученной величины, указанной в табл. 2 для случая ПСТ менее чем на 1%, что подтверждает достоверность полученных экспериментальных данных. Как было указано в начале, на величину скорости распространения тормозной волны влияет также плотность тормозной магистрали. Тормозные процессы в составе, магистраль которого не обладает достаточной плотностью, сложно контролировать, также при их протекании возникает вероятность самопроизвольного срабатывания тормозов. Исследования целого ряда ученых свидетельствуют, что скорость распространения тормозной волны для составов с меньшей плотностью уменьшается, негативно сказываясь на безопасности



Рис. 3. Испытательный стенд тормозной системы грузового вагона, собранный с применением гибких труб (МКУТ)

движения [4, 2]. В связи с этим, в данной работе целесообразно отметить основные способы повышения плотности тормозной магистрали.

Первое предложение относится к конструкции концевого крана. На текущий момент на подвижном составе используется концевой кран с клапаном пробкового типа. Такая конструкция проста в изготовлении, но подвержена дросселированию, что способствует возникновению утечек и снижает общую плотность трубопровода. В настоящее время в смежных сферах промышленности широко применяются шаровые клапаны, обеспечивающие высокую герметичность закрытия соединения. Таким образом, разработка и применение концевых кранов с клапанами шарового типа позволит снизить общий уровень утечек и повысить плотность магистрали.

Во-вторых, исследования газодинамических процессов в трубопроводах показали, что снижение значения шероховатости внутренней поверхности труб увеличивает скорость течения по ним частиц среды на 15% [2]. В настоящее время магистральный трубопровод подвижного состава при изготовлении не подвергается дополнительной обработке с целью улучшения качества его внутренней поверхности. В итоге, с учетом введения дополнительных процедур обработки труб при изготовлении тормозных систем вагонов, возможно достичь эффекта увеличения скорости распространения тормозной и отпусковой волн в составе, что положительно скажется на безопасности движения. В московском колледже железнодорожного транспорта одним из авторов этой работы был собран стенд на гибких трубах, имитирующий оборудование вагона (рис. 3).

Такие трубы обладают гораздо меньшим значением шероховатости, чем их стальные аналоги, массово применяемые в эксплуатации. Испытания стенда свидетельствуют о возможности применения различных материалов при конструировании тормозных систем грузовых вагонов.

В-третьих, обратим внимание на соединение магистральных труб между вагонами – на узел соединительного рукава. Этот узел отличается низкой герметичностью из-за большого числа соединений и применения резиновых материалов. Кроме того, резина обладает свойством старения, и герметичность соединительных рукавов непрерывно падает с течением времени. Применение гибких трубок в узле межвагонного соединения позволит значительно повысить плотность тормозов по всей длине состава.

Подведем итоги работы, сделав следующие выводы:

- к числу возможных модификаций тормозной системы грузового вагона относится концепция применения двух воздухораспределителей на одном вагоне;
- проведение натурного эксперимента подтверждает гипотезу о влиянии числа воздухораспределителей на скорость распространения тормозной волны: применение удвоенного числа воздухораспределителей на вагоне (по одному прибору на каждую тележку

четырёхосного вагона) увеличивает скорость распространения тормозной волны по длине состава на 20% для режима полного служебного и на 23% для режима экстренного торможения;

- достоверность полученных экспериментальных результатов подтверждается ранее проведенными исследованиями по соответствующей тематике; расхождение между экспериментальными и теоретическими данными не превышает 1%;
- повышение скорости распространения тормозной волны возможно за счет увеличения плотности тормозной магистрали и устранения утечек по всей ее длине.

К числу возможных модификаций тормозного оборудования с целью повышения плотности тормозной магистрали относится применение шаровых клапанов в концевых кранах вагонов, снижение шероховатости внутренней поверхности трубопровода путем механической обработки, а также применение гибких трубок в узлах межвагонных соединений.

Развитие изложенных концепций, проектирование и изготовление натурных образцов внесет значительный вклад в улучшение безопасности движения поездов, а применение устройств-ускорителей газодинамических процессов может быть использовано в иных системах управления, основанных на законах гидравлики. Сформулированные рекомендации могут быть учтены и реализованы в сфере станкостроения, что позволит повысить качество работы основных узлов широкого модельного ряда станков.

## Литература

1. **Иноземцев В. Г.** Тормоза железнодорожного подвижного состава. М.: Транспорт, 1979. 424 с.
2. **Кулага А. А., Тельно И. В., Шаманов А. Н.** Методика расчета газодинамических процессов в тормозной магистрали // Транспортное дело России. 2018. № 3. С. 120–124. EDN XRCUIN.
3. **Кулага А. А., Кулага Ю. А., Шаманов А. Н.** Снижение продольных усилий тяжеловесных грузовых поездах при торможении // Наука в современном информационном обществе: Материалы XIII международной научно-практической конференции, North Charleston, USA, 03–04 октября 2017 года / н.-и. ц. «Академический». North Charleston, USA: CreateSpace, 2017. С. 42–44. EDN ZQZSZF.
4. **Блохин Е. П., Иноземцев В. Г., Крылов В. В., Стамблер С. Л., Урсуляк Л. В.** О торможении поезда массой 20 тысяч тонн // Вестник ВНИИЖТ. 1984. № 5. С. 1–4.
5. **Попов В. Е.** Повышение эффективности тормозных систем подвижного состава на основе совершенствования процессов управления автотормозами грузовых поездов: автореф. дисс. ... д-ра т. техн. наук: 05.22.07. Моск. ин-т инж. железнодорож. транспорта. М., 1992. 48 с.
6. **Филиппов В. Н., Петров Г. И., Шебеко Ю. Н. и др.** Пути повышения пожаровзрывобезопасности эксплуатации цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 6. С. 75–83. DOI 10.22227/PVB.2020.29.06.75–83. EDN IAKSNG.

## Авторы

**Петров Геннадий Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ (МИИТ)

**Филиппов Виктор Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта РУТ (МИИТ)

**Кулага Андрей Анатольевич** – кандидат технических наук, преподаватель Московского колледжа транспорта ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

**Сергеев Иван Константинович** – ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского Университета Транспорта РУТ(МИИТ)

ЭЛЕКТРОНИКА
НАНОИНДУСТРИЯ
ФОТОНИКА
ПЕРВАЯ МИЛЯ
Аналитика
СТАНКОИНСТРУМЕНТ

ИНФОПРОСТРАНСТВО  
ФЕССИОНАЛОВ

Мы на YouTube

ТЕХНОСФЕРА

Подписывайтесь

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

- Правительство Омской области
- Администрация города Омска
- ОРО ООО «Союз машиностроителей России»
- Омская Ассоциация промышленников и предпринимателей Омской области
- Представительство ГК «Ростех» в Омской области
- Союз «Омская Торгово-промышленная палата»

 **ИнтерСиб**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

**ОМСК-ЭКСПО**  
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

**21-22 марта**  
**ОМСК**  
**2023**

**XXII СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ**

**ПРОМТЕХЭКСПО**

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**СВЯЗЬ • IT - ТЕХНОЛОГИИ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

**ИЗМЕРЕНИЯ • СВАРКА • ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ**

**ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ • ИНЭКСПО ЭНЕРГОСИБ, СИБМАШТЭК**



(3812) 23-23-30



e-mail: [expoomsk@yandex.ru](mailto:expoomsk@yandex.ru), [gd.intersib@yandex.ru](mailto:gd.intersib@yandex.ru)



РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ЛИТЕЙЩИКОВ (РАЛ)  
АССОЦИАЦИЯ ЛИТЕЙЩИКОВ СПб и ЛО  
(ЛенАЛ, региональное отделение РАЛ)  
Консорциум «ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС»  
ООО «ТАХТЕХ РУС»

При поддержке:  
КОМИТЕТА ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКЕ,  
ИННОВАЦИЯМ И ТОРГОВЛЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



проводят

# XIV

Международную научно-практическую  
конференцию

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Место проведения конференции – Санкт-Петербург, ул. Аэродромная,  
д. 4, литер А, СПб филиал АНО ДПО «Техническая академия Росатом»  
в 5-ти минутах ходьбы от ст. метро «Пионерская».

### 1. Международное сотрудничество

Научно-техническое и торгово-экономическое сотрудничество  
Санкт-Петербурга и Ленинградской области с Республикой Беларусь

### 2. Общие вопросы

Опыт успешно работающих литейных предприятий. Концепция разви-  
тия литейных производств. Энергосберегающие технологии.  
Диагностика, сертификация и управление качеством отливок.  
Импортозамещение

### 3. Сплавы

Состав, свойства, области применения литейных сплавов.  
Шихтовые материалы. Плавка и плавильное оборудование.  
Обработка сплавов в жидком состоянии.

### 4. Формообразование

Формовочные материалы. Формовочное оборудование.  
Теория и практика формообразования.

### 5. Специальные способы литья

### 6. Термические агрегаты для литейного производства.

### 7. Цифровые технологии в литейном производстве

Системы автоматизированного проектирования технологических  
процессов литья (САПР ТПЛ). Системы компьютерного проектирования  
и прототипирования литейной оснастки. Опыт промышленного  
применения цифровых технологий. «Индустрия 4,0»

### 8. Экономика и организация производства

### 9. Экология и охрана труда

### 10. Подготовка кадров в литейном производстве

22  
24  
июня  
2023

К началу мероприятия планируется выпуск сборника трудов. По результатам конференции  
будет опубликована тематическая подборка статей в профильных журналах. Более подробную  
информацию об участии можно получить в оргкомитете конференции.

Председатель оргкомитета, д.т.н., прездиент ЛенАЛ – С.С. Ткаченко